

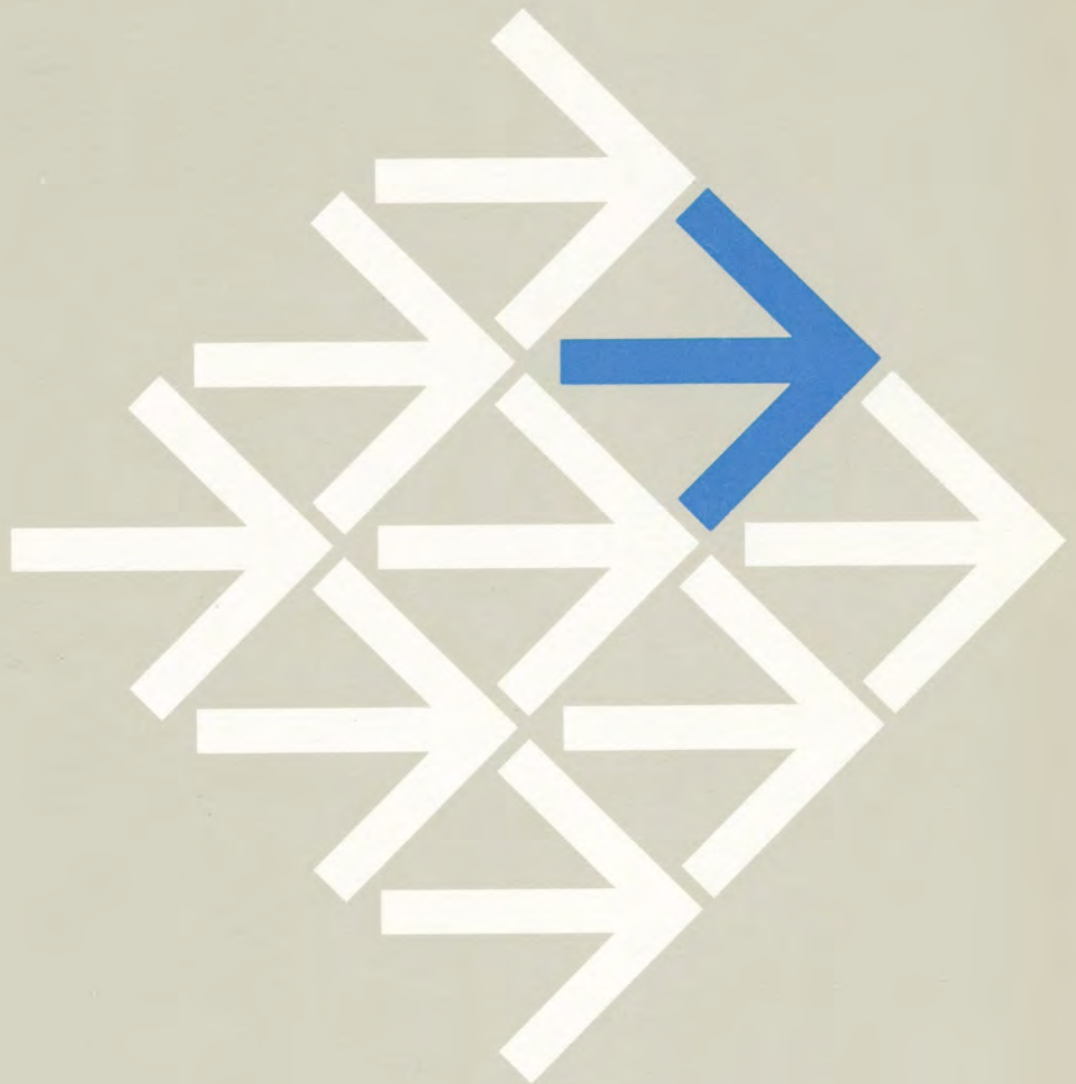
# TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

---

serie toekomststudies uit de ingenieurswetenschappen

## Materialen voor onze Samenleving

redactie ir. J.A. Over



De **STICHTING TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK** is op 6 februari 1968 opgericht door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs met als doelstelling:

het initiëren, begeleiden en ondersteunen van studies die beogen, vanuit verschillende gebieden van de techniek, bij te dragen tot meer integrale visies op de samenleving van de toekomst; voorlichting te geven of mede te werken bij het geven van voorlichting, in het bijzonder aan de Nederlandse samenleving, over de mogelijke toekomstige ontwikkelingen der techniek met het oogmerk hierdoor bij te dragen tot het op harmonische wijze invoegen van die ontwikkeling in de samenleving. De voorlichting, zowel van de Stichting zelf als van de Stichting in samenwerking met andere organisaties, zal geschieden in algemeen toegankelijke wetenschappelijke publikaties.

Een overzicht van reeds verschenen publikaties is gegeven aan de binnenzijde van het achterblad. De publikaties kunnen rechtstreeks bij de Stichting worden besteld.

De Stichting is gevestigd in het gebouw van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Prinsessegracht 23, 's-Gravenhage, tel. 070-646800.

De stuurgroep voor deze studie bestond uit:

**Prof. ir. P. Jongenburger**, Technische Hogeschool Delft  
**Prof. dr. ir. N.W.F. Kossen**, Technische Hogeschool Delft  
**Prof. ir. P.C. Kreiger**, Technische Hogeschool Eindhoven  
**Prof. dr. M.F. Mörzer Bruyns**, Landbouwhogeschool Wageningen  
**Dr. ir. K. Teer**, Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven  
**Prof. dr. P. de Wolff**, Gemeentelijke Universiteit, Amsterdam  
**Ir. J.A. Over**, Stichting Toekomstbeeld der Techniek (secretaris)



# TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

---

Nummer 22

## Materialen voor onze Samenleving

redactie ir. J.A. Over

Preadviezen voor het symposium 17 november 1976





## Voorwoord

De laatste jaren wint het inzicht terrein dat de gebruiksmogelijkheden van natuurlijke hulpbronnen sterk worden bepaald door de samenhang tussen materialen, energie en milieu. De Stichting Toekomstbeeld der Techniek heeft inmiddels in het veld van de milieuzorg een viertal en in dat van de energie een vijftal studies verricht, waarbij inderdaad belangrijke interacties tussen de bovengenoemde drie onderwerpen aan de orde kwamen.

Al vanaf haar oprichting, in 1968, heeft de Stichting op geëigende tijdstippen overwogen, ook het complexe terrein van de materialenvoorziening in studie te nemen. In 1974 meende zij — na het voltooiën van de genoemde studies — dat de tijd daarvoor rijp was. De nu voorliggende publikatie vormt de neerslag van deze eerste studie, die een veelkantig karakter heeft, maar uiteraard niet pretendeert een complete behandeling te bieden.

Op het gebied van de grondstoffenvoorziening beginnen zich op mondiale schaal belangrijke veranderingen af te tekenen. Van oudsher werden technische en materiële vooruitgang sterk bepaald door de materialen waarmee kon worden gewerkt. De indeling van de menselijke geschiedenis in stenen, bronzen en ijzeren tijdperk wijst hier al op. Sinds de industriële revolutie is die samenhang veel ingewikkelder geworden. Een stroom van verbeterde en nieuwe materialen vergroot nog voortdurend de mogelijkheden van de techniek. Hun opkomst is vooral een gevolg van de hoge eisen die vanuit geavanceerde technologieën worden gesteld. Daarnaast speelt het onderzoek naar de bouw van de materie een voorname rol.

Maar de huidige welvaart wordt niet in de eerste plaats bepaald door deze grensverleggende activiteiten. Wel door de toepassing op grote schaal van gewone materialen in gewone constructies en produkten. Handhaving en verdere verbetering van die situatie hangen af van een voldoende beschikbaarheid van grondstoffen voor de zich steeds verder ontvouwende waaier van gebruiksmaterialen. Toekomstprojecties welke zijn gebaseerd op extrapolaties van het verleden vallen het best uit te werken indien zij zijn gebaseerd op de veronderstelling dat de bron voor materialen onuitputbaar is. Andere factoren zoals bevolkingsgroei, gebruikspatronen, mode, produktontwikkeling, enz. bepalen dan de omvang van het toekomstige verbruik. Maar hoeveelheid en verdeling van de grondstoffen in en op de aardkorst verschillen sterk en het patroon van het verbruik staat daarmee niet in een directe relatie. Daarom zullen wij een serie knelpunten kunnen verwachten — die in aard en ernst uiteenlopen — indien te korten aan bepaalde grondstoffen zich zullen gaan aandienen. Uiteraard zullen de door de mens gebruikte grondstoffen nooit allemaal, laat staan tegelijk, uitgeput raken. Maar de behoeften van de mensheid mogen dan van generatie op generatie veranderen, zij blijven nog altijd groeien.

De ruime en probleemloze voorziening van Nederland met grondstoffen en materialen dient dus niet langer als een vanzelfsprekendheid te worden beschouwd. Het is dan ook niet meer alleen het beschikbaar komen van betere en nieuwe materialen waardoor de voortgang van de techniek wordt bepaald. De technische ontwikkeling zal evenzeer moeten worden gericht op die wijzen van toepassing welke optimale kansen bieden voor een redelijke grondstoffenvoorziening op langere termijn.

Er is echter meer. De grondstoffenvoorziening wordt in de eerste plaats internationaal bepaald. Wij zullen er voor moeten zorgen dat er evenwicht is in onze betalingsbalans. Die is thans sterk afhankelijk van de mate waarin wij bij onze exportproductie waarde kunnen toevoegen aan ingevoerde grondstoffen en halffabrikaten. Daarbij zal echter rekening moeten worden gehouden met de groeiende aspiraties en hoop voor de toekomst in grote delen van de wereld waar nu nog — in een aantal gradaties — armoede heerst. De betrekkelijk eenzijdige en uitzichtloze rol van grondstoffenleverancier aan de geïndustrialiseerde landen gaat voor de Derde Wereld geleidelijk veranderen. Er zullen andere werkverdelingen tot stand komen. Bij de oplossing van de problemen die daar voor Nederland uit voortvloeien, zal de techniek een belangrijke inbreng moeten hebben.

Voor deze inleidende studie — waarin de mogelijke bijdragen van de technologie aan de toekomstige materialenhuishouding in onze maatschappij centraal zijn gesteld — kon een team worden samengesteld van medewerkers met overwegend natuurwetenschappelijke, technische en economische achtergronden.

De Stichting brengt deze publikatie als preadvies in op het symposium „Materialen voor onze Samenleving“ op 17 november 1976. Zij wil daarmee bijdragen aan de op gang komende discussie over dit onderwerp in Nederland. In landen als de Verenigde Staten en Engeland, waar nationale commissies voor het materialenbeleid bestaan, is deze discussie verder voortschreden.

Wanneer de Stichting in de genoemde opzet slaagt, zal dat vooral te danken zijn aan de inzet van de vele deskundigen die bereid waren de nodige tijd voor het denken, discussiëren en schrijven in deze studie te investeren, zonder daarvoor anders dan in de vorm van het resultaat te worden beloond.

ir. L. Schepers,  
Voorzitter



# Inhoud

## Voorwoord

door ir. L. Schepers . . . . . III

## Inhoudsopgave

V

### Hoofdstuk 1. De studie—Doelstellingen, achtergronden en opzet

door ir. J.A. Over . . . . .	1
1. Doelstellingen . . . . .	1
2. Enkele overwegingen . . . . .	1
3. Indeling van grondstoffen en materialen . . . . .	2
4. De materialenhuishouding als systeem . . . . .	3
5. Aspecten van de sturing van het systeem . . . . .	6
6. Opzet van de studie . . . . .	8
7. Literatuur . . . . .	9
Appendix 1. Studieprocedures en medewerkers . . . . .	10

### Hoofdstuk 2. De materialenhuishouding vanuit diverse gezichtshoeken

1. Enkele economische en politieke aspecten van de grondstoffenvoorziening door drs. J.M.M. van Kemenade . . . . .	13
1.1. Inleiding . . . . .	13
1.2. Verbanden tussen de voorziening en het verbruik . . . . .	13
1.3. De toekomstige grondstoffenvoorziening . . . . .	15
2. Prijsvorming en prijsbeheersing van de belangrijkste non-ferro metalen . . . . .	17
2.1. Markt en prijsvorming door mr. J.F.L.B. Grupstra . . . . .	17
2.2. De internationale beheersing van de tinprijs door prof. ir. H.J. de Wijs . . . . .	20
2.2.1. De tinmarkt . . . . .	20
2.2.2. Prijsbeheersing . . . . .	21
3. Geologisch-economische aspecten van grondstoffenvoorkomens door dr. J.W. Brinck . . . . .	23
3.1. Belang en aard van minerale afzettingen . . . . .	23
3.2. Prijsontwikkeling op lange termijn van minerale grondstoffen . . . . .	28
4. Betekenis van het bedrijfsleven in het materialsysteem door dr. J. Brug . . . . .	32
4.1. Inleiding . . . . .	32
4.2. Belangrijke factoren en verbanden . . . . .	32
5. Materiaalgebruik door de consument door prof. dr. J.M. Dirken . . . . .	34
5.1. Inleiding . . . . .	34
5.2. Materiaalgebruik . . . . .	35
5.3. De rol van de consument in materiaalbesparing . . . . .	37

5.3.1. De beperkte mogelijkheden tot consumenteninvloed . . . . .	38
5.3.2. Materialenkennis bij leken . . . . .	39
5.3.3. De resterende rol van de consument . . . . .	39
6. Systematische verzameling van gegevens over de Nederlandse materialenhuishouding door W. van Sorge en drs. H.K. van Tuinen . . . . .	40
6.1. Inleiding . . . . .	41
6.2. Statistische gegevens . . . . .	41
6.2.1. Non-ferro-metalen . . . . .	44
6.2.2. Ferro-metalen . . . . .	46
6.2.3. Bouwmaterialen . . . . .	47
6.2.4. Papier en karton . . . . .	47
6.3. Gegevens voor de analyse van de materialenhuishouding . . . . .	49
6.3.1. Inleiding . . . . .	49
6.3.2. Materialenstatistiek . . . . .	49
6.3.3. Overige ter zake dienende statistieken . . . . .	50
6.3.4. Het „economisch belang” van materialen . . . . .	51
6.4. Beleid en statistiek . . . . .	54
7. Literatuur . . . . .	54

### Hoofdstuk 3. De relatie maatschappij-materialensysteem: fundamentele aspecten en beïnvloedingsmogelijkheden

1. Inleiding . . . . .	57
2. Eindigheid van grondstoffenvoorraden door dr. J.W. Brinck . . . . .	57
2.1. Inleiding . . . . .	57
2.2. Het schaarstebegrip . . . . .	58
2.3. Het verband tussen schaarste en verdringing . . . . .	59
2.4. Een optimistischer toekomstbeeld . . . . .	60
3. Energie-analyse in zijn maatschappelijke context door dr. A.A. de Boer . . . . .	63
3.1. Inleiding . . . . .	63
3.2. Energie-analyse als element bij de beleidsontwikkeling . . . . .	63
3.3. Energie- en grondstoffenproblemen tegen de achtergrond van groei en uitputting . . . . .	65
Appendix 1. Begrippen en afspraken in de energie-analyse door drs. W. Smit . . . . .	66
4. Milieubeheer en materialenhuishouding door prof. dr. M.F. Mörzer Bruyns . . . . .	70
4.1. Inleiding . . . . .	70
4.2. Materialen en de praktijk van het milieubeheer . . . . .	72
4.3. Enkele aspecten van de toepassing van milieubeheer bij de materialenhuishouding 4.3.1. Waterbeheer . . . . .	73



4.3.2. Bodembeheer . . . . .	74	2. Tin	
4.3.3. Het belasten van de atmosfeer . . . . .	74	door prof. ir. H.J. de Wijs . . . . .	118
4.3.4. De planten- en dierenwereld . . . . .	75	2.1. Geschiedenis . . . . .	118
4.4. De mens stuurt de materialenhuishouding . . . . .	75	2.2. Voorkomen en reserves . . . . .	119
5. Maatschappelijke waardering van het winnen en toepassen van materialen		2.3. Exploratie en winning . . . . .	120
door dr. J.B. Opschoor en drs. J.H.A. Stapel . . . . .	76	2.4. Produktie van het metaal . . . . .	122
5.1. Inleiding . . . . .	76	2.5. Verbruik, nu en in de toekomst . . . . .	122
5.2. Maatschappelijke kosten en baten: wat houdt het in? . . . . .	76	2.6. Recirculatie en substitutie . . . . .	124
5.3. Maatschappelijke kosten en baten van grondstoffenwinning . . . . .	77	2.7. Energie- en milieuaspecten . . . . .	125
5.4. Maatschappelijke kosten van milieuverandering . . . . .	78	3. Lood	
5.5. Elementen in de ontwikkeling van een beleid . . . . .	79	door ir. J.L. Oudesluys . . . . .	126
5.6. Behoeftte aan studie . . . . .	80	3.1. Geschiedenis . . . . .	126
6. De bijdrage van de ontwerper . . . . .	82	3.2. Voorkomen, reserves en winning . . . . .	126
6.1. De sleutelpositie van de ontwerper		3.3. Produktie van het metaal . . . . .	127
door prof. dr. J.M. Dirken . . . . .	82	3.4. Verbruik en toepassingen . . . . .	128
6.1.1. Het industriële ontwerpen . . . . .	82	3.5. Substitutie en recirculatie . . . . .	132
6.1.2. Het materiaalkeuzeprbleem . . . . .	82	3.6. Energie- en milieu-aspecten . . . . .	132
6.1.3. Het ontwerpproces en materialenkennis . . . . .	83	4. Zink	
6.1.4. Strategieën voor materiaalbesparing . . . . .	83	door ir. B. de Jong, mr. J.L.F.B. Grupstra, ir. L.R.J. Lamers en ir. J.L. Oudesluys . . . . .	133
6.1.5. Een aantal vuistregels . . . . .	85	4.1. Geschiedenis . . . . .	133
6.2. Methodisch ontwerpen voor materiaalbesparing		4.2. Voorkomen, reserves en winning . . . . .	134
door prof. dr. ir. H.H. van den Kroonenberg . . . . .	85	4.3. Produktie van het metaal . . . . .	135
6.2.1. Inleiding . . . . .	85	4.4. Verbruik en toepassingen . . . . .	136
6.2.2. Aangrijpingspunten voor grondstofbesparing . . . . .	87	4.5. Substitutie en recirculatie . . . . .	139
6.2.2.1. Het aantal produkten . . . . .	87	4.6. Energie- en milieu-aspecten . . . . .	140
6.2.2.2. De materiaalhoeveelheid per produkt . . . . .	87	4.6.1. De energie-inhoud van zink . . . . .	140
6.2.2.3. Levensduur . . . . .	88	4.6.2. Milieubelasting . . . . .	142
6.2.2.4. Terugwinning . . . . .	91	5. Aluminium	
6.2.3. Energie- en schaarste aspecten . . . . .	91	door ir. B. de Jong, dipl.ing. P.W. van Maaren en drs. P. Pappenheim . . . . .	142
6.2.3.1. Energie . . . . .	92	5.1. Geschiedenis . . . . .	142
6.2.3.2. Schaarste . . . . .	92	5.2. Voorkomen, reserves en winning . . . . .	143
7. Hergebruik . . . . .	93	5.3. Produktie van het metaal . . . . .	144
7.1. Inleiding		5.4. Verbruik, nu en in de toekomst . . . . .	146
door ir. J.A. van der Kuil . . . . .		5.4.1. Verbruik en toepassingen in Nederland . . . . .	146
7.1.1. Afvalstoffen en hergebruik . . . . .		5.4.2. Het verbruik in de toekomst . . . . .	146
7.1.2. De betekenis van hergebruik . . . . .		5.4.2.1. Internationale situatie . . . . .	146
7.1.3. Belangrijke aspecten van hergebruik . . . . .	93	5.4.2.2. Toekomstig aluminiumverbruik in Nederland . . . . .	147
7.1.4. De rol van de overheid . . . . .	93	5.5. Terugwinning en vervanging . . . . .	149
7.1.5. Waarop moet men letten? . . . . .	94	5.6. Energie- en milieu-aspecten . . . . .	151
7.2. Methoden en technieken van hergebruik		5.6.1. De energie-inhoud van aluminium . . . . .	151
door prof. dr. ir. C. Boelhouwer . . . . .	96	5.6.2. Milieubelasting . . . . .	151
7.2.1. Anorganische materialen . . . . .	97	5.7. Magnesium als legerend metaal voor aluminium . . . . .	152
7.2.2. Organische materialen . . . . .		6. Literatuur . . . . .	154
7.2.3. Gemengde afvalstoffen . . . . .	99		
8. Literatuur . . . . .	99		
	101		
<b>Hoofdstuk 4. Metalen — enkele voorbeeldstudies</b>	105		
	109		
1. Inleiding			
door drs. J.M.M. van Kemenade en ir. J.L. Oudesluys . . . . .	115		
		<b>Hoofdstuk 5. Enkele voorbeeldstudies van bouwmaterialen</b>	
		1. Trends in de bouwnijverheid	
		door prof. ir. P.C. Kreijger en ir. F.J. van Sante . . . . .	157
		1.1. Inleiding . . . . .	157
		1.2. Trends . . . . .	158
		2. Beton	
		door ir. H.A.W. Cornelissen . . . . .	162
		2.1. Inleiding . . . . .	162
		2.2. Cementfabrikage in Nederland . . . . .	163
		2.3. Zand en grind . . . . .	165



2.4. Licht toeslagmateriaal voor beton . . . . .	166
2.5. De waterwinning . . . . .	167
2.6. Bereiding van betonspecie . . . . .	167
2.7. Betonstaal en voorspanstaal . . . . .	168
2.8. Hergebruik van beton. . . . .	169
3. Metselbaksteen	
door ir. H.A.W. Cornelissen . . . . .	169
3.1. Inleiding. . . . .	169
3.2. Grondstoffen . . . . .	170
3.3. Fabrikage en toepassing. . . . .	170
3.4. Energieverbruik . . . . .	171
3.5. Milieubelasting. . . . .	172
3.6. Hergebruik van metselwerk . . . . .	172
Appendix 1. Vergelijking van de energiebe-	
hoefte voor een betonnen en een bakstenen	
gevelement . . . . .	173
4. Hout	
door ir. N.A. den Hartog, ir. E.J. Heidema en ir.	
J.A. Lasschuit . . . . .	173
4.1. Inleiding. . . . .	173
4.2. Trendmatige ontwikkelingen . . . . .	174
4.3. Toepassingen . . . . .	176
4.4. Houtverbruik voor woningen . . . . .	179
4.5. Energie- en milieu-aspecten . . . . .	179
5. Literatuur. . . . .	180

#### Hoofdstuk 6. Een tweetal produktsoorten

1. Materiaalverbruik voor het Nederlandse tele-	
foonnet	
door ir. C. Kramer en ir. E.E.P. Poelman . . . . .	183
1.1. Inleiding. . . . .	183
1.2. Materiaaltoepassing in het telefoonsys-	
teem . . . . .	184

1.3. Mogelijkheden voor vervangende mate-	
rialen . . . . .	186
1.4. Levensduur en mogelijkheden voor herge-	
bruik . . . . .	186
1.5. Energieverbruik . . . . .	187
1.6. Maatschappelijke betekenis van de tele-	
foon. . . . .	187
2. Toepassing van materialen in eengezinshuizen	
door ing. J.J. Belt, ing. A.A.J. Damen, ir. H.	
van Bremen en dr. ir. F.K. Ligtenberg . . . . .	188
2.1. De constructiefase. . . . .	189
2.1.1. Energie . . . . .	189
2.1.2. Energiebesparing in de woningbouw	
192	
2.1.3. Het verhogen van de duurzaamheid	
van woningen. . . . .	192
2.1.4. Schaarste aan grondstoffen . . . . .	193
2.1.5. Milieu-aspecten . . . . .	194
2.2. Energieverbruik in de gebruiksfase . . . . .	194
2.3. Sloop en recirculatie-mogelijkheden. . . . .	195
3. Literatuur. . . . .	196

#### Hoofdstuk 7. Samenvatting . . . . . 197

#### Hoofdstuk 8. Schaarste, economische poli- tiek en economisch bestel

door prof. dr. P. Kuin . . . . .	205
1. Gevolgtrekkingen en probleemgebieden. . . . .	205
2. Overwegingen voor een beleid . . . . .	207
3. Het verband met de economische orde. . . . .	209
4. Literatuur. . . . .	211



# Hoofdstuk 1. De studie: Doelstellingen, achtergronden en opzet

door ir. J. A. Over

## 1. De doelstellingen

Zoals in het vervolg van dit hoofdstuk zal worden aangeduid, zijn veel gegevens en verbanden met betrekking tot de materialenhuishouding niet of onvoldoende bekend. Gericht wetenschappelijk onderzoek kan dus nuttig zijn. Daarnaast zijn er vele feiten en samenhangen die wel bekend zijn, maar niet geordend vanuit bepaalde belangrijke gezichtspunten. Zo'n ordening verdient voorrang omdat daaraan inzicht kan worden ontleend in beleidselementen en in prioriteiten voor onderzoek.

Het in de volgende hoofdstukken gepresenteerde is een inleidende studie, die de weg zou kunnen openen naar meer uitgebreide, systematische aspectenonderzoeken aan meer materialen. Daarnaast is geprobeerd het inzicht te vergroten in de mogelijke rol van wetenschap en techniek in de toekomstige materialenhuishouding. In Nederland zal deze rol zich vooral kunnen afspelen rond het zoeken naar rationeler gebruik van materialen (in de meest ruime zin), het ontwikkelen van andere en betere materialen en het ontwerpen van modellen en systemen die nuttige, voorwaardelijke uitspraken omtrent de werkelijkheid toelaten.

De *doelstellingen* van de studie zijn daarom als volgt gekozen:

1. Het zichtbaar maken van aspecten van een lange termijnbeleid op het terrein van de materialenhuishouding. De studie houdt zich daarbij vooral bezig met de mogelijke schaarste (of eindigheid) van grondstoffen, met het energiegebruik en met de beïnvloeding van het milieu. Dit in de hoop iets op te sporen van de mogelijkheden die de natuur biedt en de beperkingen die zij stelt aan de ontwikkeling van de samenleving. De situatie in Nederland wordt gezien in samenhang met de wereldsituatie.
2. Globaal de aandachtsgebieden en de aard aangeven van wetenschappelijk onderzoek dat in belangrijke mate zou kunnen bijdragen tot het verdiepen en verbreden van het inzicht in de onder 1 aangeduide aspecten.
3. Anderen stimuleren tot het verbeteren van de methoden van aanpak en tot het uitbreiden van het in de studie behandelde, beperkte aantal voorbeelden.

## 2. Enkele overwegingen

De Club van Rome komt de verdienste toe, brede belangstelling voor het vraagstuk van de toekomst van de mensheid te hebben gewekt met de publikatie van o.a. de wereldmodellen van Meadows [1] en Mesarovic en Pestel [2]. De haast onvermijdelijke

consequentie daarvan is echter ook geweest dat bepaalde aspecten tot nu toe beter zijn belicht dan andere. Welke dat zijn mag als genoegzaam bekend worden verondersteld. Het lijkt echter wel nuttig enkele algemene gezichtspunten de revue te laten passeren. Allereerst dient er op te worden gewezen dat veel afhangt van de tijdperiode welke men in beschouwing neemt [3]. Zo stellen Goeller en Weinberg [4], sprekend over materialen en energie, dat verdwijnende minerale hulpbronnen in technisch opzicht geen fundamenteel probleem vormen. De basisgrondstoffen voor de industrieën van de toekomst kunnen hulpbronnen zijn als zeewater, gewone rotsgesteenten, sedimentaire afzetting van kalksteen en fosfaat, en zonlicht. Op basis van uitgebreid studiemateriaal maken zij aannemelijk dat alle bestanddelen voor een hoog geïndustrialiseerde samenleving beschikbaar zijn door combinatie van zulke hulpbronnen, mits er op voldoende schaal nieuwe energiebronnen tot ontwikkeling kunnen worden gebracht. Minder optimistisch zijn zij overigens ten aanzien van de maatschappelijke problemen welke op weg naar zulk een toekomst zullen moeten worden overwonnen. Connelly en Perlman [5] stellen dat natuurlijke hulpbronnen steeds van karakter blijven veranderen en dat onder bepaalde voorwaarden de veronderstelling is gewettigd dat de technische ontwikkeling de thans te verwachten problemen van exploratie, winning, substitutie en milieubeïnvloeding van grondstoffen kan oplossen.

Beide visies stemmen overeen in hun voorwaardelijk optimisme. Hun verschil ligt in de beschouwde tijdhorizon. De tijdschaal van Weinberg is verdeeld in eenheden van eeuwen, wellicht millennia; die van Connelly en Perlman daarentegen in decennia. De beschouwingen in de nu voorliggende Stichtingsstudie bepalen zich tot de meer nabije en enigszins overzienbare toekomst.

Interessant is de vraag, in hoeverre ook hier uit het verleden iets valt te leren over de toekomst. Hueckel [6] laat zien hoe samenlevingen op verschillende plaatsen en in verschillende periodes dikwijls technieken ontwikkelden op basis van de daar en toen beschikbare hulpbronnen. Wanneer het karakter van deze hulpbronnen wijzigde of wanneer sommige ervan uitgeput raakten, werden de gebruikelijke technieken veranderd of aangepast. Dat geschiedde door het invoeren van bijvoorbeeld nieuwe methoden voor exploratie en winning, door de ontwikkeling van vervangingen, of door de toepassing van technieken waarmee de schaarser wordende hulpbron efficiënter kon worden gebruikt. De verminderde beschikbaarheid van bepaalde hulpbronnen leidde veelal tot de ontdekking of ontwikkeling van alternatieve



mogelijkheden, welke niet alleen dezelfde, maar zelfs betere economische perspectieven boden.

Mishan [7] stelt daar tegenover dat de voortgang van de technische en economische ontwikkeling in de westerse landen van de afgelopen 200 jaar best eens zou kunnen worden toegeschreven aan uitzonderlijk gunstige omstandigheden. Er was immers nog weinig sprake van grenzen aan het opnemend vermogen van de biosfeer. En evenmin was de beschikbaarheid van goedkope energie een probleem. In feite blijkt uit deze opmerking van Mishan hoezeer de vraag die hierboven werd gesteld zich aan een strikt wetenschappelijke benadering onttrekt. De toekomst zal anders zijn dan het verleden; over de vraag hoeveel anders en op welke punten, lopen de meningen (en de wensen) uiteen. Ook in deze studie zal de lezer tekenen van deze verschillen in visie kunnen waarnemen in de diverse bijdragen. Daarom volgen ter afsluiting nog een tweetal uitspraken welke zich concentreren op de vraag in welke richting zou moeten worden voortgegaan.

Brooks en Andrews poneren dat de meeste beoordelingen van de voorziening met minerale grondstoffen (incl. energie) — of zij nu optimistisch dan wel pessimistisch zijn — op verkeerde uitgangspunten zijn gebaseerd [8]. Zij vinden het naïef om van de veronderstelling dat minerale hulpbronnen in fysische zin eindig zijn naar de conclusie te springen dat dit hun economische beschikbaarheid beperkt. Maar het is even naïef om, uitgaande van de stelling dat economische beschikbaarheid van minerale hulpbronnen niet eindig hoeft te zijn, te concluderen dat ze in enorme hoeveelheden zouden kunnen worden geproduceerd zonder fundamentele maatschappelijke en politieke problemen. Het echte vraagstuk is daarom naar hun mening niet zozeer of er voldoende hulpbronnen bestaan, maar in welk tempo verschillende voorzieningsbronnen beschikbaar kunnen komen voor de mens, in de betekenis van economisch en maatschappelijk verantwoord winbaar.

Boyd stelt dat zg. grondstoffencrises een gevolg zijn van ons klaarblijkelijke onvermogen om steeds in alle behoeften te voorzien. Dit wekt vaak de indruk van fysische tekorten, maar het is vooral te wijten aan tekortkomingen binnen de politieke, maatschappelijke en economische structuren. Om deze redenen zijn er voor sommige goederen thans onvoldoende reserves voor de verdere economische ontwikkeling [9].

### 3. Indeling van grondstoffen en materialen

Er kunnen twee hoofdgroepen van grondstoffen worden onderscheiden. De eerste hoofdgroep omvat de minerale grondstoffen. Hieronder vallen de metaal-ertsen en de meest gebruikte energiedragers (aardolie, aardgas, steenkool, uranium). De tweede hoofdgroep betreft de kweekbare grondstoffen, zoals hout, vlas, wol, rubber en voedingsgrondstoffen. Ook zou een globale indeling van grondstoffen naar functie kunnen worden gemaakt: grondstoffen voor con-

structiematerialen (in de breedste zin), voor energie-opwekking en voor voeding.

Geen van beide indelingen is waterdicht. Fossiele energiedragers kunnen dienen voor de fabricage van kunststoffen en organische chemicaliën. Kunststoffen kunnen natuurlijke vezels vervangen. Hout en stro kunnen als brandstof worden gebruikt. Uit aardolie en aardgas kunnen eetbare eiwitten worden gemaakt. Minerale grondstoffen worden geput uit een in principe eindige voorraad, waarvan de omvang ons echter niet bekend is. Strikt genomen staat die omvang ook niet vast, daar de processen van vorming en vernietiging van minerale afzettingen nog steeds voortgang vinden (zie ook de bijdrage van dr. Brinck in Hoofdstuk 2). Bij kweekbare grondstoffen behoort er een verband te worden gelegd tussen kweeksnellheid en verbruikssnellheid.

Gezien vanuit de markt is vooral het onderscheid tussen minerale en kweekbare grondstoffen belangrijk. De minerale grondstoffen zijn eigendom van de producerende landen door de aanwezigheid in hun bodem; eens verbruikt, keren ze niet meer terug. De prijs die aan de eigenaren wordt betaald, vormt dus — afgezien van de winningskosten — een vergoeding voor de vernietiging van natuurlijk kapitaal van de betrokken landen. Daarnaast lopen de mogelijkheden voor terugwinning na gebruik uiteen van zeer gunstig (metalen) tot gering (energiedragers).

Bij kweekbare grondstoffen ligt de situatie ingewikkelder. Voor de voornaamste agrarische grondstoffen (graan, rijst, etc.) is de aan de producent betaalde prijs hoofdzakelijk een vergoeding voor zijn arbeid. Daarnaast dienen de technische produktiekosten (meststoffen, landbouwwerktuigen) te worden betaald. Voor de bosbouw is bovendien de productiecyclus erg lang. Bij de visserij kan vaak niet van een kweektechniek worden gesproken. Voorts moet bij kweekbare grondstoffen rekening worden gehouden met klimaatinvloeden.

Overigens is ook de grens tussen kweekbare en niet-kweekbare grondstoffen niet scherp te trekken. Bepaalde minerale grondstoffen, zoals guano en aardolie, zijn van organische oorsprong. Andere — zoals markasiet — zijn uit water afgezet met behulp van de werking van micro-organismen. Microben kunnen betrokken zijn bij het eroderen of uitlogen van minerale afzettingen, hetgeen kan leiden tot interessante concentraties van grondstoffen.

Materialen kunnen globaal worden geclassificeerd op basis van hun fysische en chemische eigenschappen. Het meest principiële verschil schuilt in het type chemische band (soms ontbreekt chemische affiniteit, zoals bij edelgassen) en in het aantal bindingen tussen de atomen waaruit een stof is opgebouwd.

Materialen worden toegepast vanwege de eigenschappen die zij bezitten en die hen geschikt maken voor het vervullen van specifieke functies. De meeste functionele eigenschappen zijn echter niet specifiek voor één materiaal, waardoor substituties en onderlin-



ge verdringing mogelijk zijn. Een grondig onderzoek naar materiaaleigenschappen is belangrijk voor een goede en efficiënte toepassing van materialen. Het werkterrein voor wetenschappelijke onderzoekers, ingenieurs, ontwerpers en gebruikers van materialen is dan ook zeer breed [10].

Uit het voorafgaande blijkt dat het geven van sluitende definities voor hulpbronnen, grondstoffen en materialen een hachelijke onderneming is. Wij zullen ons hier beperken tot een drietal globale begripsbepalingen.

1. Een (natuurlijke) hulpbron wordt in deze studie opgevat als een ruim begrip dat kan omvatten alles in de natuur wat de mens ten eigen nutte kan gebruiken.
2. Een (primaire) grondstof is een type natuurlijke hulpbron, waaruit één of meer gebruiksklare materialen kunnen worden vervaardigd.
3. Een materiaal wordt dan opgevat als een stof welke kan worden gebruikt voor de fabricage van gebruiksgoederen of kapitaalgoederen waaraan een behoefte bestaat.

Het zijn materialen — en uiteraard de grondstoffen daarvoor — in de aldus omschreven betekenis welke in deze studie centraal worden gesteld. Het betreft

materialen welke een functie vervullen vanwege hun mechanische, chemische, optische, elektromagnetische of nog andere natuurkundige eigenschappen. Toepassingen voor doeleinden van voeding en van energieopwekking worden buiten beschouwing gelaten. Wel wordt aandacht besteed aan energie voorzover dit nodig is voor het verkrijgen van de beschouwde materialen.

In de bovenomschreven begripsbepalingen valt een ketengewijze opeenvolging te onderscheiden. De koppeling komt tot stand door winnings-, verwerkings- en bewerkingsprocessen. Als voorbeeld geeft Figuur 1 weer op welke wijze uit ijzererts (een grondstof welke al één of meer bewerkingen heeft ondergaan) via een aantal tussenvormen (die men ook wel halffabrikaten noemt) een component voor een auto ontstaat (waaraan nog verdere bewerkingen worden uitgevoerd).

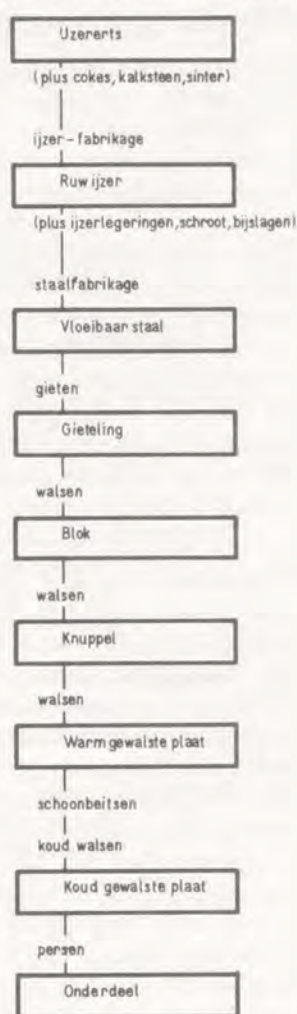
Ter illustratie van de omvang van het aandachtsgebied geeft Tabel 1 een opsomming en een indeling van een aantal grondstoffen en materialen.

Hierbij is uitgegaan van de ietwat andersoortige definitie dat grondstoffen *en* materialen die (natuurlijke) hulpbronnen zijn welke door het bedrijfsleven kunnen worden gebruikt voor de productie van goederen, met uitzondering van voedingsmiddelen. In de tabel staat overigens ook een aantal materialen die van zulke hulpbronnen zijn afgeleid, zoals kunststoffen, synthetische vezels, keramische materialen en papier. Dit zijn nl. materialen die mogelijk andere kunnen vervangen of die op zichzelf moeilijk misbaar zijn. In de tabel worden energiegrondstoffen wel vermeld; zoals al gezegd vormen zij in *deze* studie een afgeleid aandachtsgebied.

#### 4. De materialenhuishouding als systeem

Het materialensysteem staat natuurlijk niet op zichzelf; het maakt als subsysteem deel uit van een omvattend samenspel tussen de natuurlijke omgeving van de mens en zijn voortdurende beïnvloeding daarvan. Dit omvattende systeem wordt elegant — zij het schematisch — in beeld gebracht door Figuur 2, in de vorm van twee in elkaar grijpende ovals, waarvan de ene de processen en bestanddelen van de natuur vertegenwoordigt en de andere de processen en producten van de technische en economische activiteiten van de mens.

Bij de pijl naar „menselijke consumptie“ begint de loop van uit natuurlijke hulpbronnen verkregen materialen door de menselijke samenleving. Materiaaltechnisch gezien is de situatie dan al vrij gecompliceerd. Een gebruiksklaar materiaal bestaat doorgaans uit meerdere grondstoffen (bijv. gelegeerd staal); ook zijn meerdere gebruiksklare materialen uit één grondstof afgeleid (bijv. kunststoffen). Maar gewoon staal bevat toevoegingen (en er zijn hulpstoffen gebruikt bij de vervaardiging), en kunststoffen bevat



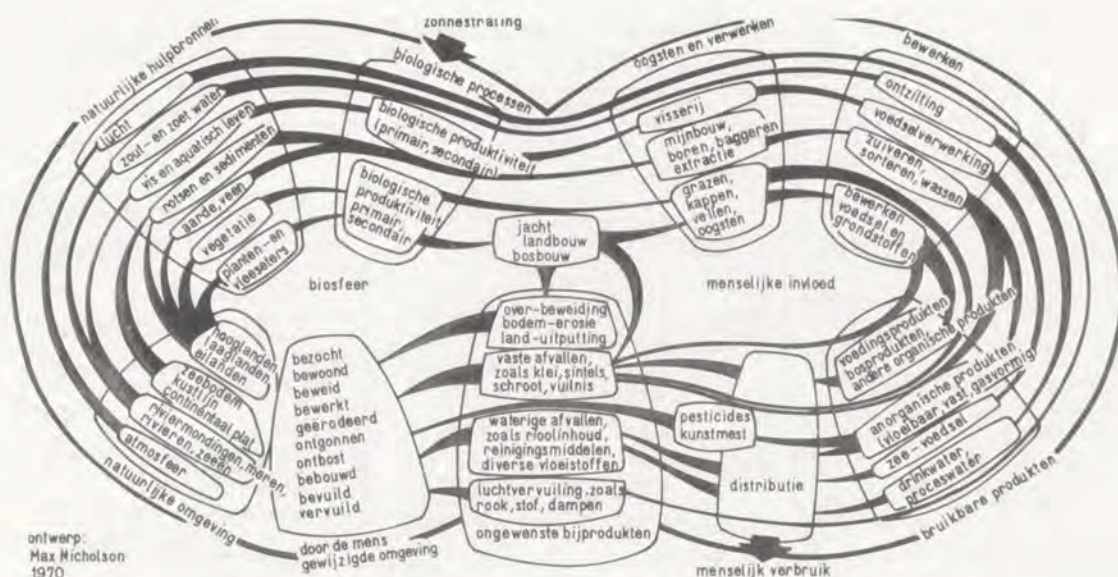
Figuur 1. De stappen van ijzererts tot onderdeel van een autocarosserie [11].



Tabel 1. Classificatie van grondstoffen en materialen volgens de NCMP [12]

MINERALS		Abrasives and Miscellaneous Minerals	
Iron and Ferroalloy Ores		Fuller's earth	Grinding pebbles and tube-mill liners
Iron	Cobalt	High-grade clay:	Grindstone, pulpstones, and other special silica stone products
Manganese	Molybdenum	Bentonite	
Tungsten	Nickel	Kaolin	
Chromium		Ball clay	Quartz, ground sand, and sandstone for abrasive purposes
Other Metal Ores		Miscellaneous high-grade clay	
Gold	Antimony	Feldspar	Tripoli and rottenstone
Silver	Cadmium	Mica sheet	Peat
Copper	Magnesium	Mica scrap	Diatomite
Lead	Platinum-group metals	Pumice and pumicite	Graphite
Zinc	Selenium	Talc and soapstone	Greensand
Bauxite	Tellurium	Emery and garnet	Vermiculite
Titanium	Tin		
Uranium-radium-vanadium			
Mineral Fuels		FOREST PRODUCTS	
Anthracite	Natural gas	Saw logs	Pulpwood
Bituminous coal and lignite	Natural gasoline	Veneer logs	Miscellaneous products
Crude petroleum	Liquefied petroleum gases		Fuel wood
Construction Minerals		PAPER MATERIALS	
Dimension stone:	Sand and gravel:	Paper	Paperboard
Limestone	Construction sand		
Granite	Gravel		
Slate	Glass sand		
Marble	Other industrial sand except for abrasives		
Basalt			
Sandstone			
Miscellaneous stone	Fire clay		
Crushed and broken stone:	Magnesite		
For cement manufacture	Common clay and shale		
For lime manufacture	Gypsum		
Other limestone	Native asphalt and bitumens		
Granite	Asbestos		
Slate	Perlite		
Marble	Shell		
Basalt			
Sandstone			
Chemical and Fertilizer Minerals		NONFOOD AGRICULTURAL PRODUCTS	
Barite	Bromine	Cotton	Oil crops and others
Fluorspar	Calcium and calcium-magnesium chloride	Wool	Rubber
Potash	Magnesium compounds	Fish products	
Borates	Sodium carbonate		
Phosphate rock	Sodium sulfate		
Sodium chloride	Iodine		
Sulfur and pyrites			
Arsenious oxide			
		PLASTICS	
		Polymers	Synthetic fibers
		Elastomers	Other plastic materials
		CERAMICS	
		Construction Ceramics	
		Glass	Cement
		Brick	Tile
		Clay products	Mineral wool
		Consumer Ceramics	
		Glass containers	Pressed glass
		China	Earthenware
		Pottery	Porcelain materials
		Industrial Ceramics	
		Pigments	Oxides
		Refractories	Asbestos products
		Abrasive products	
		Electronic Ceramics	
		Transistors	Semi-conductors
		Capacitors	Ferrites and magnets





Figuur 2. Het samenspel tussen de mens en zijn natuurlijke omgeving [13].

ten vaak minerale vulstoffen. Ieder gebruiksklaar materiaal is eigenlijk een technisch-economisch compromis. Ditzelfde geldt voor producten: die zijn doorgaans uit meerdere materialen opgebouwd. Anderzijds kan één materiaal in meerdere producten worden toegepast.

Toegepaste materialen blijven in gebruik gedurende perioden welke zeer sterk kunnen uiteenlopen. De gemiddelde nuttige levensduur van een bierblikje zal enkele weken zijn: de meeste materialen in een auto gaan ca. 10 jaar mee voor ze worden afgedankt en materialen in een gebouw kunnen decennia, of zelfs eeuwen in gebruik blijven.

Uiteindelijk worden deze materialen deels hergebruikt en deels als afval uit het economische systeem verwijderd. Hoe ouder en volgroeiender een industrieel economisch systeem is, hoe meer materialen er beschikbaar kunnen komen voor hergebruik. Daarmee verandert de verhouding tussen de vraag naar nieuwe grondstoffen en die naar secundaire grondstoffen. In landen waar de industriële ontwikkeling aan het begin staat, moet bijv. vaak schroot worden ingevoerd ten behoeve van de staalproductie.

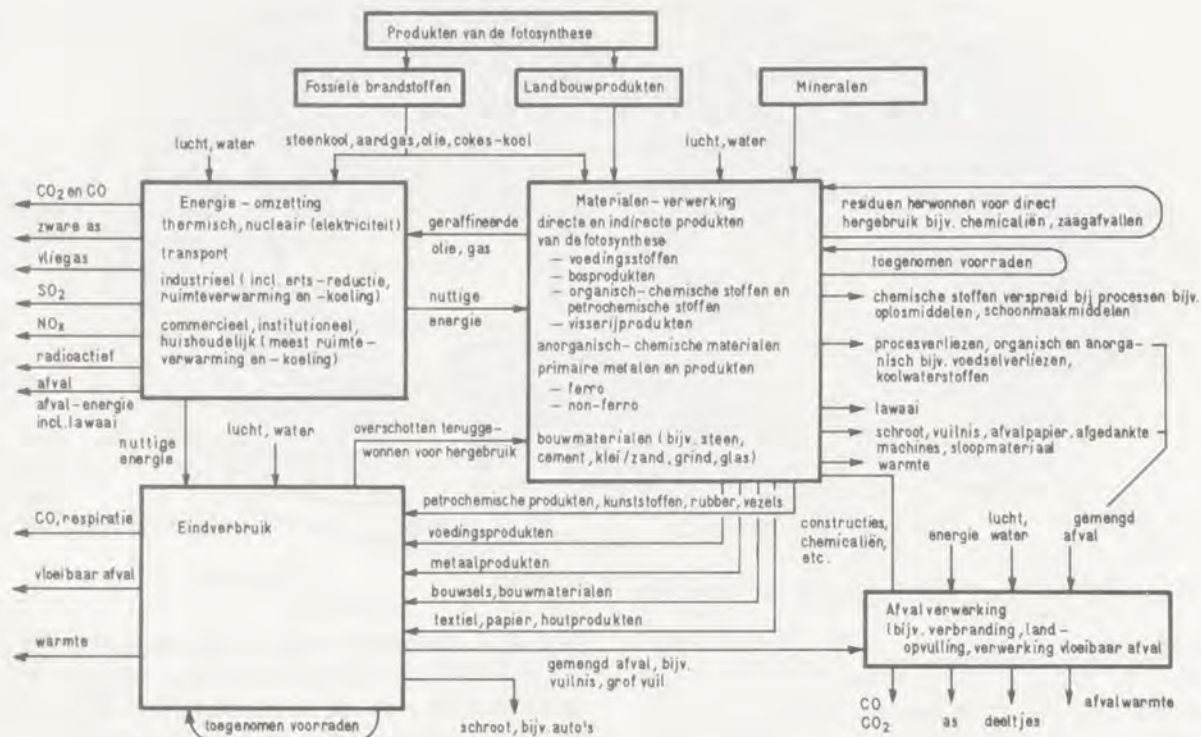
De belangrijkste fysische verbanden tussen het materialensysteem en zijn omgeving liggen in het vlak van energiegebruik en milieubeïnvloeding. Materialen die de cyclus doorlopen, brengen in welhaast iedere fase energiegebruik met zich mee. Dit geldt voor de winning van metalen uit erts en de fabricage van kunststoffen uit aardolie, voor het bewerken en vormen van metalen, kunststoffen en keramische materialen, voor het samenvoegen van onderdelen en subsystemen, voor het transporteren van goederen tijdens de productie en de distributie en voor het gebruiken van producten door consumenten. Tijdens dit gebruik gaat er weer energie verloren door corrosie van metalen of degradatie van kunststoffen, door het afdanken van producten en tenslotte door het terugkeren van allerlei afval naar een staat die correspondeert met een lagere energie-inhoud.

Evenzeer leidt iedere stap in het materialensysteem tot vormen van milieubeïnvloeding. Bijvoorbeeld de watervervuiling en de aantasting van landschappen die bij het winnen van mineralen kan optreden. Maar bovendien door het hiervoor genoemde energieverbruik. Een schema van al deze verbanden in het materialen-energie-milieu-systeem wordt getoond in Figuur 3. Men kan zich dit schema voorstellen als een detailvergroting van datgene wat onderin Figuur 2 bij de pijl wordt omschreven als menselijk verbruik.

Deze figuur laat zien waar de mogelijkheden zijn voor een in fysische zin beter en efficiënter functioneren van het systeem. Hergebruik zal de rol van de afdanking en verwerking van restafval verminderen. Winningsoperaties dienen gepaard te gaan met herstel van het landschap (zie ook Figuur 2). Lucht- en watervervuiling kunnen met technische middelen voor een deel worden vermeden. Zulke maatregelen kunnen leiden tot milieuverbetering en verminderd verbruik van energie en materialen. Maar bij zulke maatregelen moeten vele factoren in beschouwing worden genomen. Ad hoc maatregelen die niet in een totaal beleid passen, kunnen gemakkelijk tot resultaten leiden die tegengesteld zijn aan hetgeen men wil bereiken. Er kan moeilijk teveel nadruk worden gelegd op het feit dat, als gevolg van het ingewikkelde net van relaties binnen het materialensysteem en het materialen-energie-milieusysteem, een gebeurtenis in een onderdeel van het systeem overal elders zijn weerslag kan hebben.

De conclusie moet dan ook luiden dat het zeer noodzakelijk is, methoden te ontwikkelen voor een systematische benadering van de materialencyclus en het materialen-energie-milieusysteem. Niet alleen moeten daarbij allerlei niveaus en vormen van mogelijke repercussies van bepaalde acties worden bestudeerd, maar evenzeer allerlei tijdsfactoren. Uiteraard is op een aantal punten hiermee wel een begin gemaakt, zoals bijv. door de Club van Rome [2], het Amerikaanse Bureau voor Aspectenonderzoek (Office of Technology





Figuur 3. Het materialen-energie-milieusysteem in de menselijke samenleving [13].

Assessment) en het Zweedse Bureau voor Toekomstonderzoek, maar er is behoefte aan een aanzienlijke verfijning van de gebruikte methoden en technieken. De verschillende interacties — zowel direct als indirect — moeten op een zoveel mogelijk objectieve en kwantitatieve basis worden gebracht. Daarbij zal moeten worden bedacht dat de technologie grenzen heeft en dat er tijd nodig is voor technische ontwikkelingen. Dat betekent dat niet alleen moet worden vooruitgekeken, maar dat men ook vanuit toekomstige doelen moet terugkijken om te zien wat er nu moet gebeuren om aan bepaalde gerechtvaardigde menselijke behoeften over bijv. 20 jaar tegemoet te kunnen komen [14, 15].

## 5. Aspecten van de sturing van het systeem

De regeling van de loop van materialen door het systeem ligt natuurlijk niet binnen de fysieke structuren die in de vorige paragraaf werden aangegeven, maar bij menselijke systemen: het bedrijfsleven, consumenten en de overheid. De natuurlijke omgeving levert de materialen en moet onbruikbaar geworden afval opnemen, maar het consumptieproces bepaalt omvang en snelheid van de materiaalstromen. De vraag naar goederen en diensten is de motor die de produktiebedrijven activeert tot het transformeren van materialen in goederen.

De overheid heeft een zekere invloed op aard en tempo van de materialenstroom door — dikwijls met andere oogmerken getroffen — bestuurlijke, economische en fiscale maatregelen. Bedrijfsleven en (in min-

dere mate) overheid verrichten onderzoek en ontwikkeling, wat leidt tot nieuwe kapitaalgoederen en beter technisch kennen en kunnen.

Men kan het materialensysteem verbeteren met behulp van activiteiten zoals het ontwikkelen van nieuwe processen voor exploratie, winning, zuivering en verwerking, van nieuwe materialen en van schone of de vervuiling minimaliserende technieken. Figuur 4 brengt dit gehele samenspel in schema.

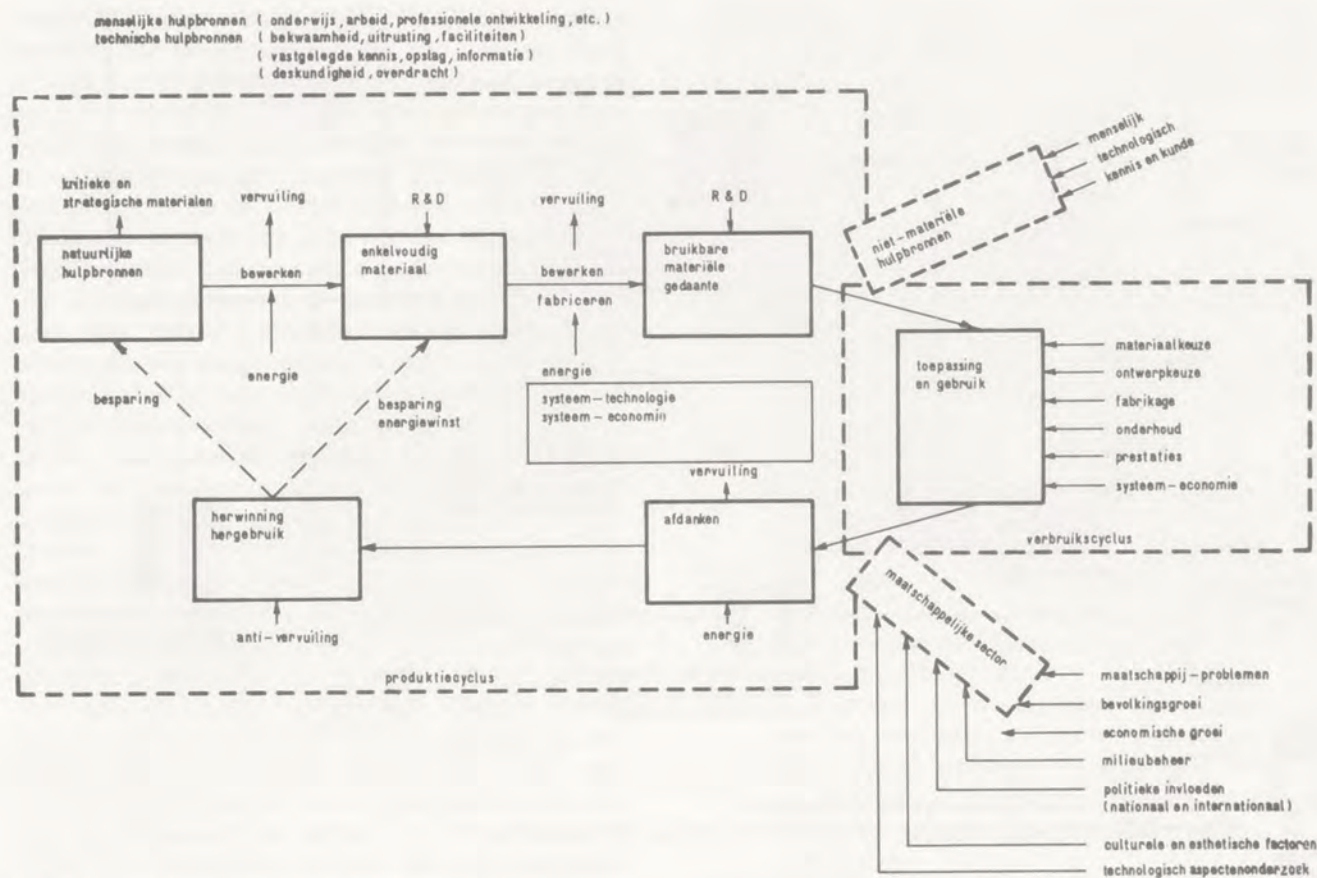
Een aspect waarop, in aansluiting op het voorgaande, de nadruk moet worden gelegd, is het internationale karakter van het materialen-energie-milieusysteem. Werkelijke verbeteringen in het systeem zullen daarom vaak internationaal overleg tussen staten en met het internationale bedrijfsleven vereisen.

Een voorbeeld van de economische betekenis van grondstoffen en energiedragers voor een land als de Verenigde Staten van Amerika is zichtbaar gemaakt in Figuur 5.

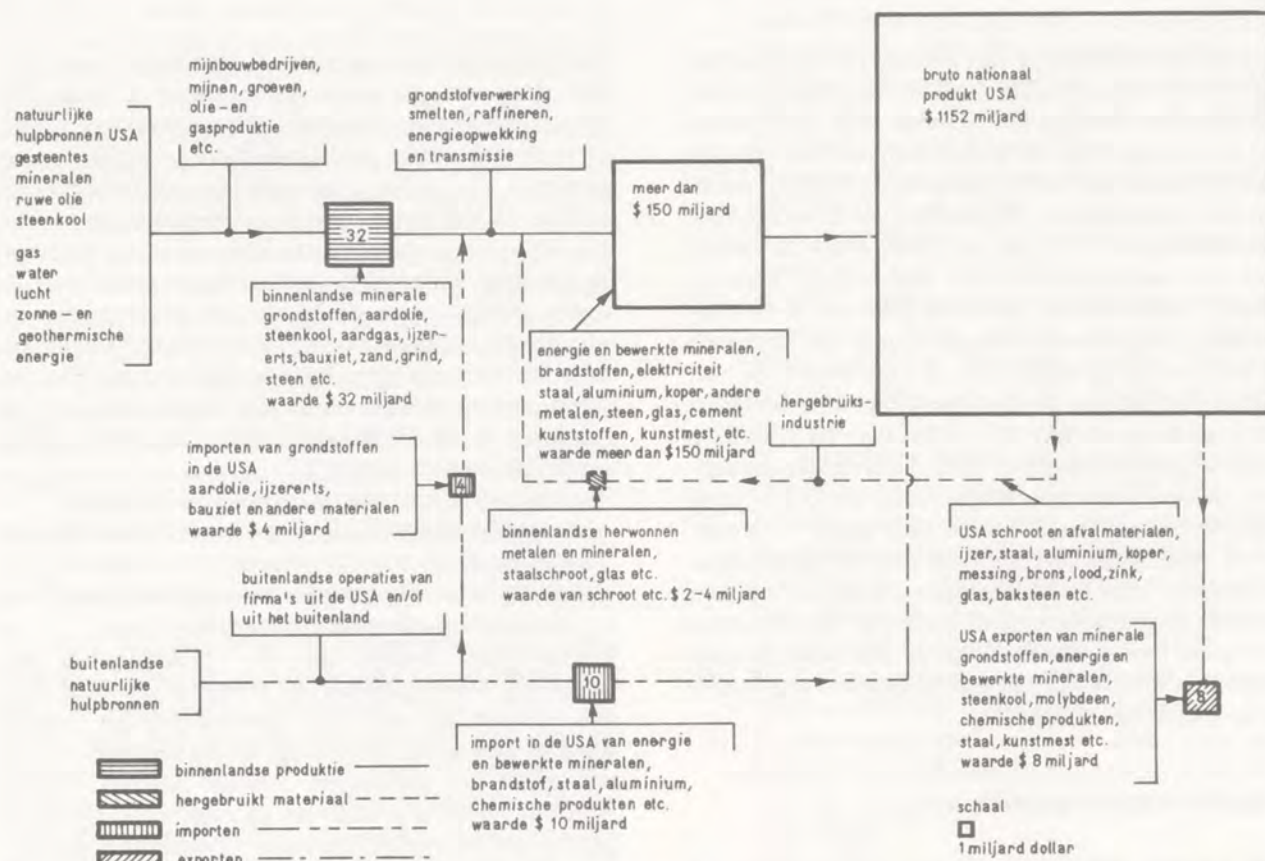
De economische waarde van de primaire grondstoffen en energiedragers te zamen bedroeg in 1972 ca. 3% van het Amerikaanse Bruto Nationaal Produkt (BNP). In bewerkte vorm bleek hun waarde te zijn opgelopen tot bijna 15% van het BNP als gevolg van de arbeid, het kapitaal, het produktie- en ondernemingsvermogen dat er aan was besteed.

In Figuur 6 is een soortgelijke schets gegeven van de economische betekenis van grondstoffen en energiedragers in Nederland. Het blijkt dat hier een veel sterkere mate van afhankelijkheid van buitenlandse grondstoffen bestaat (energie wellicht uitgezonderd), terwijl ook overigens de im- en exportstromen relatief veel groter zijn dan voor het geval van de V.S.



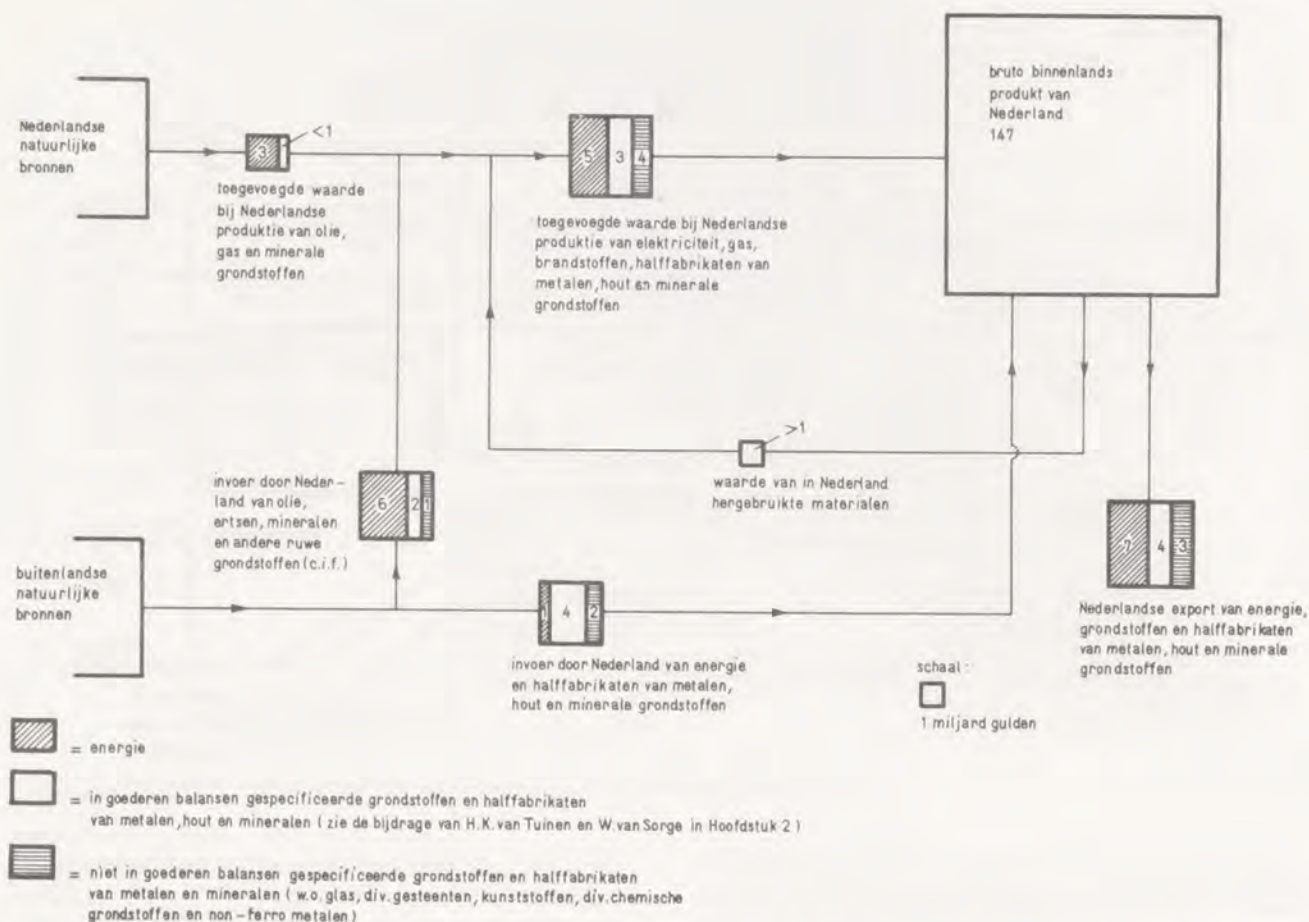


Figuur 4. De levenscyclus van materialen [15].



Figuur 5. De loop en de betekenis van grondstoffen en materialen (incl. energie) in het economisch systeem in de V.S. [12].





Figuur 6. De waarde van de voortbrenging van energie en materialen t.o.v. het Nederlandse productieproces in 1972 (Bron: CBS).

Waar het afhankelijkheid van externe primaire grondstoffen en energie betreft, bestaat ook voor de EEG als geheel een soortgelijke situatie. Hier vormden in 1972 de grondstoffen en basisprodukten (levensmiddelen, grondstoffen van agrarische oorsprong, mineralen en metaalertsen, splijtstoffen en brandstoffen) na bewerking ca. 20% van het BNP, ofwel 90 miljard dollar (te vergelijken met de 150 miljard dollar in Figuur 5, waarin echter de voedingssector buiten beschouwing is gebleven). Uit een studie van Michaelis [16] valt ook af te leiden dat de EEG voor 95% van aardolie van buiten de gemeenschap afhankelijk is; voor ijzererts is dit cijfer 40 á 50%, voor bauxiet 50% en voor koper en kopererts 75%. Soortgelijke percentages gelden voor een lange reeks andere — misschien ieder op zichzelf niet zo belangrijke — grondstoffen, waaronder bijv. cellulose voor de papierindustrie, fosfaten voor de kunstmestfabrikage en uranium voor de nucleaire energieopwekking. De Europese Commissie meent dan ook dat er alle reden is voor ontwerp en uitvoering van een omvattend grondstoffen- en materialenbeleid [17].

## 6. Opzet van de studie

Het resultaat van de studie bestaat in grote trekken uit drie gedeelten. Het eerste gedeelte (de hoofdstukken

2 en 3) is algemeen van aard. In Hoofdstuk 2 zijn terzake dienende gegevens en inzichten omtrent het materialensysteem verzameld. Dit systeem wordt vanuit onderscheidene gezichtspunten in beschouwing genomen. Er ontstaat zo een globaal overzicht over de huidige rol van materialen in de Nederlandse economie en over de belangrijkste fasen daarvan (exploratie, winning, verwerking, toepassing en afdanking). Er wordt gekeken naar de invoer van grondstoffen en naar enkele politieke, sociale, economische en technische factoren die deze kunnen beïnvloeden. De gerichte gegevensverzameling voor de analyse van het handelen in de Nederlandse materialenhuishouding wordt aan de orde gesteld.

Hoofdstuk 3 belicht kennis en inzichten omtrent:

- mogelijke beperkingen in de beschikbaarheid van grondstoffen;
- betekenis en toepassing van energie-analyses;
- milieubeïnvloeding door materiaalstromen.

Verder wordt gezien wat de consequenties van schaarste, energiegebruik en milieubeïnvloeding zouden kunnen zijn voor het materiaalgebruik. Daarbij worden vooral het hergebruik en de bijdrage van de ontwerper van produkten centraal gesteld. Tevens wordt een poging gedaan om de maatschappelijke effecten van het materialensysteem zichtbaar te maken.

Het tweede gedeelte is opgebouwd rond een aantal



voorbeeldstudies van materialen en enkele produktsoorten. De bestudeerde materialen zijn: tin, lood, zink en aluminium (Hoofdstuk 4); baksteen, beton en hout (Hoofdstuk 5). Het betreft dus enkele non-ferro metalen en enkele bouwmaterialen. Alhoewel met deze — noodgedwongen beperkte en enigszins willekeurige — keuze in genen dele een volledig beeld ontstaat<sup>1)</sup>, vertoont het toch wel een zekere schakering. Sommige van de bestudeerde materialen worden grootscheepser en/of gedifferentieerder toegepast dan andere; behalve minerale grondstoffen wordt ook een kweekbare behandeld. De raakpunten met milieubeheer en energie, en de betekenis van hergebruik, duurzaamheid, vervanging, etc. variëren uiteraard van materiaal tot materiaal. Steeds worden zowel de voorziening als het gebruik bekeken: aan beide kanten zijn aanpassingen mogelijk.

In Hoofdstuk 6 worden twee toepassingen behandeld: telefoonsystemen en eengezinshuizen. Uiteraard houdt deze keuze uit duizenden mogelijkheden een element van willekeur in, maar het geheel achterwege laten van voorbeelden van toepassingen leek onjuist. Juist de uiteindelijke toepassingen voldoen immers aan gevoelde behoeften en vormen daarmee de aandrijving van het materialensysteem. De beide voorbeeldstudies bieden dan ook de gelegenheid, iets omtrent overwegingen ten aanzien van ontwerpeisen en levensduur, mogelijkheden voor rationeler materiaalgebruik, hergebruik en materiaalvervanging zichtbaar te maken.

In Hoofdstuk 7 en 8 — het derde en laatste deel van de studie — wordt de balans opgemaakt. Er wordt gekeken naar de waarde van de bereikte resultaten en de gehanteerde benaderingen voor de eerste doelstelling van de studie (het zichtbaar maken van aspecten van een materialenbeleid op langere termijn). Het beziet welke vormen een beleid zou kunnen aannemen en hoe overheid, wetenschap en techniek, producenten en verbruikers daarbij betrokken kunnen zijn.

De vraag wordt behandeld wat er nodig zou zijn voor het opbouwen van een systematische verzameling van gegevens en verbanden ter ondersteuning van een beleid ten aanzien van de materialenhuishouding en het materialen-energie-milieusysteem.

Suggesties worden gegeven over hoe en door wie verdiepende en verbredende studies en onderzoeken zouden kunnen worden gedaan.

Voor de vele bijdragen aan de studie is de medewerking gevraagd en verkregen van een grote groep deskundigen, overwegend met een natuurweten-

schappelijke, technische en economische achtergrond. Een meer gedetailleerde beschrijving van de gevolgde procedure en een volledige lijst van medewerkers zijn in Appendix 1 gegeven.

## 7. Literatuur

- [ 1]. D.L. Meadows et al.; The limits to growth. A Report for the Club of Rome Project on the Predicament of Mankind. Universe Books, New York, 1972.
- [ 2]. M. Mesarovich, E. Pestel; De mensheid op een kruispunt. Tweede rapport aan de Club van Rome. Agon/Elsevier, Amsterdam, 1974.
- [ 3]. T. Price; General Introduction to the Conference on a Strategy for Resources. Fifth Int. Symp. of the Science Policy Foundation, Eindhoven, 18/19 sept. 1975.
- [ 4]. H.E. Goeller en A.M. Weinberg; The age of substitutability, or: What do we do when the mercury runs out? *Science and Public Policy*, 2 (1975), No. 11, 479-92.
- [ 5]. P. Connelly en R. Perlman; The politics of scarcity; resource conflicts in international relations. Oxford University Press, Londen, 1975.
- [ 6]. G. Hueckel; A historical approach to future economic growth. *Science*, 187 (1975), No. 4180, 925-31.
- [ 7]. E.J. Mishan; The economic growth controversy, red. A. Weintraub et al., pag. 12. Int. Arts and Sciences Press, White Plains, N.Y., 1973.
- [ 8]. D.B. Brooks en P.W. Andrews; Mineral resources, economic growth, and world population. *Science*, 185 (1974), No. 4145, 13-9.
- [ 9]. J. Boyd; Energy, materials and the environment. First World Symp. on Energy and Raw Materials, Parijs, 6-8 juni 1974.
- [10]. Materials. Themanummer, *Scientific American*, 127 (1967), No. 3, 68-264.
- [11]. H.J. Pick; Strategy for material success. *New Scientist*, 2 april 1970, 17-9.
- [12]. Material needs and the environment, today and tomorrow. Final report of the National Commission on Materials Policy, US Govt. Printing Office, no. 5203 - 00005, juni 1973, pag. 2-4.
- [13]. M. Nicholson; Report on pollution: framing a reference. *The Engineer*, 7 mei 1970, 32-3.
- [14]. Mineral resources and the environment. Rapport van: Committee on Min. Res. & Env. (COMRATE); Comm. on Natural Resources; Nat. Research Council. Uitgave: US National Academy of Sciences, Wash. D.C., 1975.
- [15]. U. Colombo; Problems of materials resources. Rapport SPT (74)7, OECD, Parijs, 1974.
- [16]. H. Michaelis; Memorandum über eine europäische Rohstoffversorgungspolitik. Commissie van de Europese Gemeenschappen, Brussel, sept. 1972.
- [17]. Mededeling van de Commissie aan de Raad betreffende de voorziening van de Europese Ge-

<sup>1)</sup> Omdat de omvang van de publikatie moest worden beperkt, is besloten de uitgevoerde voorbeeldstudies over de kunststoffen polyetheen, polyvinylchloride, nylon, over glas en over verpakkingen separaat te publiceren. Tevens zullen de gedane studie over papier en de meer omvattende resultaten van de studie over hout worden opgenomen in een voorgenomen Stichtingspublikatie waarin het toekomstbeeld van de grondstof hout centraal staat.



meenschap met grondstoffen. Brussel, doc. COM (75)50, 12 februari 1975 (R/424/75, COMER 72).

## Appendix 1. Studieprocedures en medewerkers

In eerste aanleg is, na voorbereidende bespreking in het bestuur van de Stichting, een aantal geïnteresseerde deskundigen bijeen gebracht in een gespreksgroep „Kentallen Materialen”. De besprekingsresultaten van deze groep maakten het voor de project-ingenieur mogelijk, een gedetailleerd studieprogramma op te stellen. Omdat deze groep daarmee zijn functie had vervuld, werd hij opgeheven. De leden ervan bleven op andere wijze bij de voortzetting betrokken.

Vervolgens werd een stuurgroep samengesteld. Hierin werd het studieprogramma verder besproken en vastgesteld. Dit programma behelsde een voorstel voor de opbouw van de studie en een opsomming van een aantal onderwerpen en vragen, die daarvoor aan de orde dienden te komen. Verdere taken van de stuurgroep waren:

- advies geven t.a.v. bij de studies te betrekken deskundigen en instellingen;
- in overleg bezien hoe en in hoeverre deelstudies dienden te worden verwerkt in de resultaten;
- toezien op het tot zijn recht komen van het explorerend en vergelijkend karakter van de studie;
- adviseren over de verdere presentatie.

Na goedkeuring van het programma door het Stichtingsbestuur is aan deskundigen op de verschillende gebieden gevraagd, de deelstudies te willen uitvoeren. De na verloop van tijd verkregen concepten werden met de auteurs en anderen besproken en, waar nodig, gewijzigd en aangevuld. Daarna werden deze bijdragen geordend tot een concept-publicatie, welke ter hand werd gesteld aan de auteur van het

slothoofdstuk. De beschikbare tijd werd tevens zoveel mogelijk benut voor onderlinge discussie en commentaren en verdere bewerking van de concepten. Als gevolg van het complexe karakter van de studie en door het niet of gebrekkig voorhanden zijn van een deel van de gewenste gegevens en verbanden bleef er veel minder tijd over voor deze tweede ronde dan aanvankelijk was gehoopt. Daarnaast bleek de aanvankelijke verwachting onjuist, dat de studieresultaten op een bepaalde mate van volledigheid aanspraak zouden kunnen maken. Een dergelijke wijze van presenteren zou in feite afbreuk hebben gedaan aan het vele dat de bijdragers en medewerkers in deze eerste inleidende studie hebben weten te bereiken. Voorzover de tijd het toeliet, is er in de tweede ronde wel naar gestreefd zoveel mogelijk de minder wezenlijke verschillen in presentatie en inzicht door overleg te laten verdwijnen, om daarmee de belangrijk geachte verschillen goed over het voetlicht te laten komen. Dit overigens naast de aanzienlijke mate van overeenstemming die over vele aspecten bestaat.

De bijzondere interesse van de TNO-organisatie bleek, naast hun overige medewerking, uit het vanaf 15 oktober 1975 tot aan de afronding van de studie ter beschikking stellen van een toegevoegd project-ingenieur. Dit werd financieel mogelijk gemaakt door de minister van Wetenschapsbeleid.

De rol van de project-ingenieurs was het initiëren, begeleiden en zoveel mogelijk met informatie steunen van de studies en het verzorgen van de integratie, redactie en presentatie van de resultaten.

In de publikatie is steeds aangegeven hoe en door wiens bijdragen bepaalde resultaten tot stand zijn gekomen. Er is niets gepubliceerd dan met instemming van de betrokkenen. Alle medewerkers konden steeds inzage krijgen in al het materiaal dat de Stichting wilde publiceren.

## Stuurgroep en medewerkers

De stuurgroep was als volgt samengesteld:

Prof. ir. P. Jongenburger  
Prof. dr. ir. N.W.F. Kossen  
Prof. ir. P.C. Kreijger  
Prof. dr. M.F. Mörzer Bruyns  
Dr. ir. K. Teer  
Prof. dr. P. de Wolff  
Ir. J.A. Over (secretaris)

Technische Hogeschool, Delft  
Technische Hogeschool, Delft  
Technische Hogeschool, Eindhoven  
Landbouwhogeschool, Wageningen  
Philips Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven  
Gemeentelijke Universiteit, Amsterdam  
Stichting Toekomstbeeld der Techniek

De navolgende personen hebben aan het in de publikatie opgenomen materiaal schriftelijke bijdragen van verschillende aard en omvang geleverd:



Ing. J.J. Belt  
Prof. dr. ir. C. Boelhouwer  
Dr. A.A. de Boer

Ir. H. van Bremen  
Dr. J.W. Brinck  
Dr. J. Brug  
Ir. H.A.W. Cornelissen  
Ing. A.A.J. Damen  
Prof. dr. J.M. Dirken  
Dr. ir. J. den Draak  
Mr. J.F.L.B. Grupstra  
Ir. N.A. den Hartog  
Ir. E.J. Heidema  
Ir. B. de Jong  
Prof. ir. P. Jongenburger  
Drs. J.M. Joosten  
Drs. J.M.M. van Kemenade  
Ir. C. Kramer  
Prof. ir. P.C. Kreijger  
Prof. dr. ir. H.H. van den Kroonenberg  
Ir. J.A. van der Kuil  
Prof. dr. P. Kuin  
Ir. L.R.J. Lamers  
Ir. J.A. Lasschuit  
Dr. ir. F.K. Ligtenberg

Ing. P.W. van Maaren  
Prof. dr. M.F. Mörzer Bruyns  
Dr. J.B. Opschoor  
Ir. J.L. Oudesluys  
Drs. P. Pappenheim  
Ir. E.E.P. Poelman  
Ir. F.J. van Sante  
Drs. W. Smit  
W. van Sorge  
Drs. J.A.A. Stapel  
Drs. H.K. van Tuinen  
Prof. ir. H.J. de Wijs

Bouwcentrum, Rotterdam  
Gemeentelijke Universiteit, Amsterdam  
Wetenschappelijk Adviseur Energie Centrum Nederland, Den Haag  
Bouwcentrum, Rotterdam  
Geologisch Adviseur, Alkmaar  
Philips, Algemeen Bedrijfsbureau, Eindhoven  
Technische Hogeschool, Eindhoven  
Bouwcentrum, Rotterdam  
Technische Hogeschool, Delft  
Technische Hogeschool, Delft  
Billiton, Den Haag  
Landbouwhogeschool, Wageningen  
Hout Voorlichtings Instituut, Amsterdam<sup>1)</sup>  
Technische Hogeschool, Delft<sup>2)</sup>  
Technische Hogeschool, Delft  
Stichting Verwijdering Afvalstoffen, Amersfoort  
OGEM, Rotterdam  
Philips Natuurkundig Lab., Waalre<sup>3)</sup>  
Technische Hogeschool, Eindhoven  
Technische Hogeschool, Twente  
Stichting Verwijdering Afvalstoffen, Amersfoort  
Emeritus, Erasmus Universiteit, Rotterdam  
ESTEL, Nijmegen  
Landbouwhogeschool, Wageningen  
Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies, Delft  
Rijks Universiteit, Utrecht  
Landbouwhogeschool, Wageningen  
Vrije Universiteit, Amsterdam  
Billiton, Den Haag  
Hunter Douglas, Rotterdam  
Dr. Neher Laboratorium PTT, Leidschendam  
Bouwcentrum, Rotterdam  
Centrum voor Energievraagstukken TNO, Apeldoorn  
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg  
Vrije Universiteit, Amsterdam  
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg  
Technische Hogeschool, Delft

De volgende personen hebben — evenals een aantal der bovengenoemden — op andere wijzen (discussie, commentaren, verstrekken van gegevens, aanvullingen, etc., alsmede op andere wijzen te publiceren bijdragen) medewerking aan de studie verleend:

Ir. J.W. Bakker  
Ir. P. Bakker  
Dr. H.J. Beyer  
F. Bloemendaal

Prof. ir. M.M.G.R. Bol  
Mr. A.A. Bouvy  
Ing. D. Eisma

Ir. W.P. Fornerod  
Dr. L. Ginjaar

Ing. J.W. Groeneyck

Nederlandse Zachthoutbond, Amsterdam  
Hollandse Beton Groep, Rijswijk  
AKZO Research en Engineering, Arnhem  
Vereniging van Nederlandse Papierfabrikanten, Haarlem  
Landbouwhogeschool, Wageningen  
Thomassen & Drijver-Verblifa, Deventer  
Min. Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, Den Haag  
TNO Verpakkingsinstituut, Delft  
Studie- en Informatiecentrum TNO voor het onderzoek ten dienste van het Milieubeheer, Delft  
Gemeentewerken, Lienden

<sup>1)</sup> Thans gepensioneerd; woont in Diemen.

<sup>2)</sup> Thans werkzaam in Zambia.

<sup>3)</sup> Thans werkzaam bij Philips Medical Systems, Best.



Ir. A. van Hemert  
Ir. G. Honderd  
Dr. ir. H. Hoog

Dr. R. Hueting  
Prof. dr. ir. F.J. Kievits  
Drs. W.C. Kroft  
A.R. van Liempt  
W.M. Lookman  
Ir. H.A. van der Meiden  
G. van Monsjou  
Mr. A.A. Nijkerk  
Dr. J. Quakernaat  
Ir. S.C. Rademaker  
Dr. ir. L.J. Revallier  
Ing. E.W. Roco  
Prof. ir. H.J. Roorda  
Ir. C.P. Scheepens  
Ir. G.A. Schoonkind  
Dr. G. Schuur  
Dr. ir. J.W.M. Steeman  
Drs. T.I. Tan  
Ir. T. Teeuwen  
Drs. R. Tunteler  
Ir. D. Valstar  
Dr. J.H. van der Veen  
Dr. W. Verwey  
Dr. G.H. Vonkeman  
Drs. J.A. Vriesman  
Ir. E.A. de Wit

*Redactie:*

Drs. ing. H.J. Munter (toegevoegd project-ingenieur,  
belast met het prepareren van de hoofdstukken 4 t/m  
6)  
Ir. J.A. Over (eindredacteur)

*Typewerk:*

Mevr. A. Kronenberg-Lens  
Mej. W. Wilbers

Dow Chemical Nederland, Terneuzen  
Technische Hogeschool, Delft  
Shell Internationale Research Mij (adviseur), Den  
Haag  
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg  
Technische Hogeschool, Delft  
OGEM, Rotterdam  
Billiton, Den Haag  
Financieel Dagblad, Amsterdam  
Stichting Industriebout, Wageningen  
Informatiecentrum voor Zink, Den Haag  
Billiton, Den Haag  
Centrum voor Energievraagstukken TNO, Apeldoorn  
Philips H.I.G. Glas, Eindhoven  
Centraal Laboratorium DSM, Geleen  
Dow Chemical Nederland, Terneuzen  
Technische Hogeschool, Delft  
Metaalinstituut TNO, Apeldoorn  
Van Gelder Papier, Amsterdam  
Kon/Shell Plastics Laboratorium, Delft<sup>1)</sup>  
Centraal Laboratorium DSM, Geleen  
Algemeen Verbond Bouwbedrijf, Den Haag  
Stichting Verwijdering Afvalstoffen, Amersfoort  
Bruynzeel, Zaandam  
Eindhovensche Drukkerij, Eindhoven  
Hoogovens, IJmuiden  
Philips, H.I.G. Glas, Eindhoven  
Stichting Natuur en Milieu, 's-Graveland  
Vereenigde Glasfabrieken, Schiedam  
AKZO Zout Chemie, Hengelo

Centrum voor Energievraagstukken TNO, Apeldoorn

Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag

Centrum voor Energievraagstukken TNO, Apeldoorn  
Stichting Toekomstbeeld der Techniek

<sup>1)</sup> Thans gepensioneerd; woont in Poppel (België).



## Hoofdstuk 2. De materialenhuishouding vanuit diverse gezichtshoeken

Uit het voorgaande is naar voren gekomen hoe veelomvattend het onderwerp van materialenvoorziening en -gebruik is. Omdat de voorziening in het meer recente verleden geen primair probleem vormde, is er begrijpelijkerwijs tot nu toe betrekkelijk weinig aandacht besteed aan het materialensysteem als geheel en de belangrijke samenhangen daarin. In dit stadium is het niet mogelijk op korte termijn een studie te verrichten, die op volledigheid aanspraak kan maken.

In Hoofdstuk 2 wordt daarom — als begin van deze studie — naar het materialensysteem gekeken vanuit een (beperkt) aantal gezichtspunten. Het wordt daarmee mogelijk een betere indruk te krijgen omtrent kwesties zoals:

- de huidige situatie in technisch en economisch opzicht;
- de aard van de gegevens en verbanden welke bekend zijn en van de gegevens welke (nog) ontbreken en die wellicht voor integraler ontwikkeling en beleid nodig zijn;
- de plaatsen waar potentiële knelpunten van diverse aard aanwezig zijn, of juist in mindere mate aanwezig zijn dan soms wordt aangenomen;
- de beperkingen en mogelijkheden voor wellicht noodzakelijke veranderingen.

Facetten zullen worden belicht vanuit bedrijfseconomische en organisatorisch-technische standpunten; vanuit de kant van de geologie en de mijnbouw; en vanuit het oogpunt van de burger, ten behoeve van wiens behoeftenvervulling het systeem functioneert. Tenslotte wordt ingegaan op de beschikbaarheid en het nut van de bestaande gegevens met betrekking tot materialen en de mogelijke behoefte aan andersoortige gegevens.

Zo wordt de weg enigszins geplaveid voor Hoofdstuk 3, waarin o.a. nader wordt ingegaan op enkele fundamentele relaties binnen het materialensysteem en tussen dit systeem en zijn omgeving.

### 1. Enkele economische en politieke aspecten van de grondstoffenvoorziening

door drs. J.M.M. van Kemenade

#### 1.1. Inleiding

Tot voor kort werd vrij weinig aandacht besteed aan de beschikbaarheid van grondstoffen in het algemeen. De grondstoffenprijschausse in 1973/1974, welke zijn weerga in de na-oorlogse jaren niet kent (zie Figuur 1), heeft in samenwerking met het op-

treden van de „energiecrisis” er toe geleid, dat de bevolking in de geïndustrialiseerde landen schoksgewijze werd herinnerd aan de consequenties van de ongebreidelde groei van het grondstoffen- en energieverbruik in de afgelopen decennia.

De dreigende — of althans door velen gevreesde — toeneming van de structurele schaarste aan bepaalde grondstoffen vormt aanleiding om ernstig rekening te houden met de afhankelijkheid van de westerse produktiestrukturen van een onzekere voorziening. De recente energiecrisis toonde deze afhankelijkheid aan ten aanzien van olie; maar ook voor andere grondstoffen is de wereldvoorraad in ieder geval eindig en de feitelijke beschikbaarheid voor vele landen zelfs problematisch.

Velen verwachten, dat als gevolg van het optreden van een algemene grondstoffenschaarste een periode van geringe economische groei zal aanbreken. Men wijst in dit verband op een noodzakelijke heroriëntering van traditionele handels- en produktiepatronen en een even noodzakelijke wijziging van bepaalde consumptie-gewoonten. Sociale spanningen wegens toeneming van structurele werkloosheid en geringere inkomensgroei kunnen met een dergelijk aanpassingsproces gepaard gaan. Het mondiale karakter van de grondstoffenvoorziening voegt daaraan nog een dimensie toe; vooral de positie van de grondstoffen-arme ontwikkelingslanden is in het geding. De noodzaak om tot internationale afspraken en samenwerking te komen dringt zich hierbij op. Wereldwijde regelingen die bij voorkeur moeten gelden voor vrijwel alle producenten en zoveel mogelijk consumenten lijken nodig, om als basis te dienen voor nieuwe economische betrekkingen.

#### 1.2. Verbanden tussen de voorziening en het verbruik

Vanuit economisch oogpunt ligt de onderscheiding van grondstoffen in de navolgende groepen voor de hand:

- Voedings- en genotmiddelen.
- Industriële grondstoffen van kweekbare aard.
- Metaalertsen en andere delfstoffen.
- Energiegrondstoffen.

Zoals al in Hoofdstuk 1 (paragraaf 2) werd opgemerkt, is er een uit marktoogpunt fundamenteel verschil tussen kweekbare en minerale grondstoffen. Na dit onderscheid te hebben gemaakt, dient bij een verklaring van de ontwikkeling van grondstoffenmarkten rekening te worden gehouden met onder meer de mate van behoefte, de technische en economische winbaarheid van reserves, vervangings- en







**Tabel 1.** Produktie en consumptie van enkele tropische produkten [1]

	Het aantal producerende ontwikkelings-landen	Aandeel in de consumptie (%) Ontwikkelde landen	waarvan:	
			USA	EEG
Koffie	23	96	40	37
Cacao	7	96	23	41
Thee	4	79	10	36
Bananen	5	96 <sup>1)</sup>	27	32
Specerijen	2	47	20	21

<sup>1)</sup> Van hetgeen over de markt loopt (bananen zijn tevens volksvoedsel).

#### *Industriële grondstoffen van kweekbare aard [2]*

Hieronder vallen leder en huiden, rubber, natuurlijke textielvezels en hout. Bij deze groep grondstoffen is het aanbod in belangrijke mate afhankelijk van prijzen en kosten, terwijl de vraag sterk conjunctureel is bepaald. Al deze produkten ondervinden zeer krachtige concurrentie van synthetische materialen; hout wellicht in bepaalde opzichten uitgezonderd. De markt voor textielvezels en rubber stagneert momenteel, terwijl een tekort dreigt aan leder en hout. De vervangingsmogelijkheden, welke synthetische materialen voor een aantal van deze grondstoffen bieden, zijn vooral merkbaar in de textiel-, de automobiel- en de meubelindustrie.

Volgens studies van syntheticaproductenten (o.a. ICI, Shell) zal de relatieve prijsstijging van op aardoliebasis vervaardigde materialen in de meeste gevallen nauwelijks leiden tot een verbeterde concurrentiepositie van natuurlijke grondstoffen [3]. Uitzonderingen hierop zijn natuurrubber, en —in mindere mate— katoen. In het navolgende wordt op deze beide grondstoffen en op hout nog wat dieper ingegaan.

De EEG verbruikt jaarlijks 700.000 ton natuurrubber tegen 1.300.000 ton synthetische rubber. De produktie wordt beheerst door Maleisië, Indonesië, Thailand en Ceylon (Sri Lanka); deze landen dekken 85% van de wereldmarkt. (Maleisië en Indonesië gezamenlijk reeds 70%!) De markt stagneerde evenwel doordat natuurrubber in een groot aantal toepassingsgebieden (o.a. in de auto-industrie) door synthetica werd en wordt vervangen.

De Nederlandse invoer van natuurrubber, welke ca. 1% bedraagt van de wereldexport, wordt volledig betrokken van de hierboven genoemde ontwikkelingslanden. Tegenover het verbruik van natuurrubber in Nederland staat een 2 1/2 maal zo groot verbruik van synthetische rubber.

De EEG produceert zelf geen katoen en is dan ook voor zijn verbruik van bijna 1 miljoen ton per jaar geheel van import afhankelijk. De voornaamste producenten zijn: Turkije, Brazilië, de USSR, de VS, Soedan, Egypte en Syrië. Klimatologische factoren maken de produktie van katoen zeer onzeker.

Overigens kan men op grond waarop katoen wordt verbouwd in principe ook voedsel kweken. Door het aanleggen van buffervoorraden zou een regelmatige voorziening kunnen worden gewaarborgd.

De Nederlandse katoenverwerkende industrie betreft ca. 70% van de benodigde ruwe katoen uit de ontwikkelingslanden, nl. uit Latijns-Amerika 34%, uit Afrika 18% en uit Azië 18%. Ongeveer 30% wordt verkregen door import uit de Verenigde Staten en Europa. Naast een jaarlijks verbruik van ca. 50.000 ton katoen wordt ruim 17.000 ton aan kunstmatige vezels in textiel verwerkt.

Hout als bouw materiaal wordt in Hoofdstuk 5 aan een uitgebreidere studie onderworpen. Vooral aan hout als grondstof voor de papierindustrie dreigt een tekort te ontstaan. De EEG dekt 42% van zijn papierbehoefte door eigen houtproduktie (18%) en terugwinning (24%), terwijl 58% van de totale behoefte door importen wordt gedekt. De belangrijkste papierhoutproducerende landen zijn gelegen in Noord-Amerika, Noord- en Oost-Europa. Brazilië, India en een aantal Afrikaanse landen zouden als houtproducent/exporteur in aanmerking kunnen komen. De EEG is voor haar tropisch hout afhankelijk van een aantal ontwikkelingslanden, te weten Ivoorkust, Maleisië, Gabon, Brazilië en Congo-Brazzaville. In deze landen bestaat, evenals in de eerder genoemde, de neiging zelf het hout een eerste bewerking te doen ondergaan. De Europese Commissie meent dat, afgezien van verdere diversificatie in de voorziening, onderling overleg en overdracht van kennis en kunde nodig is om de aanplantkwaliteit te bevorderen en een beter inzicht in de marktbehoefte te verkrijgen. In ACP-verband<sup>1)</sup> wordt daar overigens al aan gewerkt [4].

Op de metaalertsen wordt verderop in de studie uitgebreider ingegaan (zie o.a. de bijdrage van dr. Brinck in dit hoofdstuk en het gehele Hoofdstuk 4).

De energiegrondstoffen vormen niet het *primaire* aandachtsgebied van deze studie; bovendien is op de situatie in de wereld en in Nederland ten aanzien van de energievoorziening al uitgebreid ingegaan in de Hoofdstukken 1 en 2 van Stichtingspublikatie 19 [5].

#### **1.3. De toekomstige grondstoffenvoorziening**

De grondstoffenvoorziening wordt in het algemeen beheerst door een samenstel van elkaar beïnvloedende factoren van geologische, technologische, economische en economisch-politieke aard. Het gewicht van deze factoren is voor elke grondstof verschillend en is in de tijd gezien aan veranderingen onderhevig.

In de bijdragen van dr. Brinck en prof. de Wijs aan de hoofdstukken 2 en 3 zal worden geconstateerd, dat —afgaande op de huidige kennis terzake— de geologische beschikbaarheid van mineralen behoudens

<sup>1)</sup> De momenteel met de EEG geassocieerde landen uit Afrika, het Caraïbisch gebied en de Stille Zuidzee ("Pacific").



uitzonderingen niet wijst op een fysieke uitputting van deze reserves binnen afzienbare tijd. Er zijn thans evenmin tekenen die wijzen op een stilstand in de exploratie- en exploitatietechnieken in de komende decennia. De technologische aspecten van de grondstoffenvoorziening komen verderop in de studie aan de orde. Hier zal worden volstaan met enkele opmerkingen over politiek-economische aspecten, vooral met betrekking tot de voorziening met metalen en energie.

#### *Economische en politieke factoren*

Economische en economisch-politieke overwegingen zullen vermoedelijk de belangrijkste drijfveren zijn om het technisch onderzoek op dit terrein verder uit te breiden en te verdiepen. Er bestaat evenwel een groot aantal onzekerheden. Onzekerheid is er ten aanzien van het toekomstig verloop van onderlinge prijs- en kostenverhoudingen van diverse grondstoffen (met name t.a.v. metalen). Evenmin kan met zekerheid worden aangegeven in welk tempo onder druk van gewijzigde prijs- en kostenverhoudingen technologische veranderingen tot stand zullen komen en hoe deze innovaties zullen zijn geaard. Voorts spelen allerlei politieke onzekerheden een rol. Welk beleid zal, zowel door de producentenlanden (kartelvorming, monopolistische prijsvaststelling, produktiebeperking) als door de verbruikerslanden (selectieve groei op grond van milieu- en ecologische overwegingen, afremming grondstoffenverbruik, aanleg van strategische voorraden) worden gevoerd? Welke rol zullen internationale instellingen (VN, IMF, etc.) kunnen spelen in het kader van het streven naar een nieuwe internationale economische orde? Een aantal recente ontwikkelingen in deze worden hieronder behandeld.

#### *Prijsverloop grondstoffen*

Prijzen van grondstoffen blijken vrij sterk onderhevig te zijn aan schommelingen. Verschillende factoren doen hierop hun invloed gelden, zoals misoogsten, gewapende conflicten, sprongsgewijze capaciteitsuitbreidingen in een periode van hoge prijzen en voorts conjuncturele invloeden. Afgezien van perioden van misoogsten en oorlogen blijkt het prijsverloop van vele grondstoffen (met name van metalen) evenwel nauw te correleren met conjuncturele schommelingen in de westerse hoog-geïndustrialiseerde landen [6]. De grondstoffenprijsstijging in 1973 en ten dele in 1974 was in zoverre een volstrekt unieke gebeurtenis doordat een complex van economische en niet-economische factoren tegelijkertijd de prijzen omhoog stuwde. In dit verband kunnen worden genoemd de omvangrijke uitbreiding en het hoge peil van de vraag in de industriële landen, monopolistische prijszettingen en het geringe aanbod van een aantal belangrijke grondstoffen na een lange periode van lage prijzen. Daarbovenop kwamen een aantal misoogsten en vooral het gewapende Arabisch-

Israëliësch conflict. Deze ontwikkeling werd sterk geaccentueerd, toen de olieproducerende landen begin 1974 hun reeds aanzienlijk verhoogde "posted prices" (lijstprijzen) nog eens meer dan verdubbelde. Speculatieve voorraadvorming deed de situatie verscherpen. Met de afzwakking van de internationale volume-conjunctuur sedert medio 1974 ging, geheel overeenkomstig de verwachting, een kentering in het prijsverloop op de internationale grondstoffenmarkten gepaard. Met uitzondering van de olieprijsen, waar de monopolistische prijszetting door de OPEC-staten een daling verhinderde, was de prijsdaling voor de meeste grondstoffen onmiskenbaar. De prijsdaling was evenwel toen minder spectaculair dan de prijzenexplosie in 1973. De prijzen van een aantal grondstoffen lijken zich thans weer enigszins te herstellen als gevolg van geslonken voorraadposities bij de verwerkende industrie. Zo te zien lijkt het vrije marktmechanisme vraag en aanbod op den duur weer met elkaar in evenwicht te kunnen brengen. De vraag is natuurlijk of dit mechanisme in de toekomst niet zal worden doorkruist door — in navolging van het OPEC-succes — eenzijdig marktop treden van de zijde van de grondstoffenproducerende landen.

#### *Houding grondstoffenproducerende landen*

Het succesvolle optreden van de olie-exporterende landen, verenigd in de OPEC, was mogelijk dankzij een aantal bijzondere omstandigheden, t.w.:

- de OPEC-landen nemen een groot deel van de wereldexport van ruwe aardolie voor hun rekening;
- de prijselasticiteit van de vraag naar ruwe aardolie, en in het bijzonder de kruiselasticiteit, is laag; dit wil zeggen, dat prijsstijgingen op korte termijn niet zullen leiden tot substantiële vraagvermindering of vraagverschuiving (substitutie van energiedragers onderling);
- de OPEC-landen bezitten in verschillende opzichten een hoge mate van politieke en economische homogeniteit.

Bovengenoemde omstandigheden doen zich ten aanzien van andere grondstoffen in veel mindere mate gelden. Voor wat de metalen betreft geldt dat deze grondstoffen op langere termijn duidelijk prijsgevoeliger zijn dan olie. Vanwege de mogelijkheid tot wedergebruik en onderlinge vervanging kan de prijselasticiteit van de vraag vrij snel oplopen tot waarden groter dan één, hetgeen betekent, dat een substantiële prijsstijging tot een meer dan evenredige vraagvermindering kan leiden. Verder moet worden betwijfeld of de mate van politieke en economische homogeniteit van de grondstoffen(excl. olie)-producerende landen ooit zo groot zal worden als bij de OPEC-landen. Voorts is een substantiële prijsstijging van andere grondstoffen van minder verstrekkende betekenis voor de westerse economieën dan de recente olieprijsstijging. De speelruimte voor de grondstoffenproducerende landen (excl. de OPEC)



om door productie- en/of exportregulering prijsverhogingen af te dwingen lijkt derhalve gering.

#### *Houding grondstoffenverbruikers*

De voortdurende afhankelijkheid van grondstoffenverbruikende landen van de invoer van voor het productieproces benodigde hoeveelheden materialen en energie zal kunnen leiden tot een aantal reacties. Deze zullen de verhouding tussen een gegeven productieomvang en het verbruik van energie en grondstoffen geleidelijk kunnen beïnvloeden [7]. Dergelijke ontwikkelingen kunnen zijn:

- vergroting van het technisch rendement van bestaande productie-processen;
- ontwikkeling en invoering van nieuwe processen met een groter technisch-economisch rendement (inclusief wedergebruik en substitutie);
- besparingen op het materiaalgebruik (bijvoorbeeld door lichtere constructie van machines en installaties);
- streven naar een langere levensduur van consumptiegoederen.

Het zijn overigens niet uitsluitend technisch-economische overwegingen die tot een spaarzamer gebruik van materialen en energie nopen. Overwegingen van milieubescherming en landschapsbehoud spelen in dit verband evenzeer een rol. Te denken valt aan de milieuwetgeving ten aanzien van sommige metalen die als gifstoffen het milieu schadelijk beïnvloeden (lood, kwik, cadmium, e.d.). Thermische verontreiniging en radio-actief afval zullen op grond van milieuwetgeving worden teruggedrongen door een betere procesbesturing. Voor een efficiënte aanpak van de milieuproblematiek is internationale coördinatie echter een eerste vereiste. Dit is een aspect van de rol die internationale instellingen (zoals in de eerste plaats intergouvernementele organisaties) kunnen spelen ten aanzien van de grondstoffenvoorziening in het algemeen.

#### *Internationale samenwerking*

Vatten wij het hiervoor gaande samen dan kunnen met betrekking tot de grondstoffenproblematiek als belangrijkste politiek-economische kenmerken worden genoemd:

- de sterke geografische spreiding van productie en verbruik. De industrielanden zijn veruit de belangrijkste verbruikers van grondstoffen. Sommige ontwikkelingslanden treden als belangrijke grondstoffenleveranciers op zonder dat er evenwel kan worden gesproken van een overheersende marktpositie van deze landen. Anderzijds zijn de meeste ontwikkelingslanden voor hun verdere economische ontwikkeling sterk afhankelijk van grondstoffenimporten;
- sterke prijsschommelingen op de grondstoffenmarkten.

Het zal duidelijk zijn dat de grondstoffenproducerende en de grondstoffenverbruikende landen gemeenschappelijke belangen hebben ter zake van a) regelmatige voorziening en b) stabiele prijzen. In bijzondere mate geldt dit ten aanzien van ontwikkelingslanden die voor een zeer belangrijk deel van hun exportopbrengsten (en tevens voor een groot deel van hun nationaal inkomen) afhankelijk zijn van één of twee grondstoffen. Daar komt bij dat de ontwikkelingslanden netto-importeur zijn van hoogwaardige industriële producten die, niettegenstaande de recente economische recessie in de ontwikkelde landen, voortdurend in prijs stijgen. Daarbij is de ontwikkeling van de inkomensruilvoet voor de ontwikkelingslanden een essentieel gegeven [8]. Deze meet immers de hoeveelheid invoergoederen die een land kan kopen voor een gegeven bedrag aan exportopbrengst. Behalve de ontwikkeling van in- en uitvoerprijzen is ook het uitvoervolume van invloed op de exportopbrengst van grondstoffen en dus op de koopkracht t.a.v. ingevoerde goederen.

In het kader van de Verenigde Naties (UNCTAD) zijn een aantal voorstellen in voorbereiding die een regelmatiger voorziening en stabielere prijzen trachten te realiseren. Dit kan bijv. door directe en indirecte indexatie van grondstoffenprijzen, aanleg van buffervoorraden en compensatoire financiering. De realisering hiervan verloopt — zoals bekend — uiterst moeizaam; ook op de in 1976 gehouden UNCTAD IV-conferentie is (te) weinig vooruitgang geboekt. Ook in andere fora (Internationaal Energie Agentschap, Parijse Energieconferentie) staat deze problematiek in het middelpunt van de belangstelling. Tot welke mate van succes dit streven naar marktregulering uiteindelijk zal leiden is nog zeer onzeker. Niet zozeer technische problemen bepalen de afloop doch veeleer de politieke bereidheid tot samenwerking tussen de landen onderling. Wat dit laatste betreft biedt het onlangs gesloten akkoord tussen de EEG en de ACP-landen (Het Verdrag van Lomé) wellicht een gunstig perspectief.

## **2. Prijsvorming en prijsbeheersing van de belangrijkste non-ferro metalen**

In aansluiting op de vorige, in algemene termen gestelde, paragraaf wordt hier nader ingegaan op marktfactoren voor een bepaalde groep van grondstoffen. Tevens wordt één van de schaarse voorbeelden van een functionerende prijsbeheersing van een grondstof aan de orde gesteld.

### **2.1. Markt en prijsvorming**

door **mr. J.F.L.B. Grupstra**

De conjunctuurbeweging, welke zich als een regelmatig terugkerend verschijnsel in het economische leven voordoet, beïnvloedt uiteraard de prijs van non-ferrometalen. Wij zullen bezien op welke wijze deze prijzen tot stand komen, waarbij wij ons beperken tot koper,



aluminium en — meer in detail — lood en zink. Tin komt in par. 2.2. ter sprake. Het zijn deze metalen, die voor de vervaardiging van vele en veelsoortige goederen van grote betekenis zijn en daarom een sterk conjunctuurgevoelige prijsvorming vertonen (aluminium uitgezonderd, zie Hoofdstuk 4, par. 5). Deze metalen kennen, voorzover het de prijsvorming in de vrije wereld betreft, geen nationale prijs en zo al een notering in nationale valuta plaatsvindt, is deze gewoonlijk een omrekening van de voor het desbetreffende metaal algemeen aanvaarde internationale notering.

#### *Beurshandel en prijsnotering*

Met uitzondering van aluminium, waarvoor in West-Europa de regelmatig in het Metal Bulletin gepubliceerde notering „certain other transactions” als uitgangsprijs wordt genomen, komen de prijzen voor de genoemde vier andere metalen tot stand in de vorm van dagelijkse beursnoteringen. Voor koper bestaan twee beurzen, de Commodity Exchange in New York en de London Metal Exchange. Sinds enige jaren is eerstgenoemde beurs met betrekking tot lood, zink en — nagenoeg — tin niet meer actief, zodat voor deze metalen alleen Londen in aanmerking komt.

Op het Noordamerikaanse continent gelden gewoonlijk als prijzen voor lood en zink die, welke door één van de belangrijkste producenten van het metaal worden gepubliceerd. Deze prijzen worden ook door de andere producenten aangehouden, zij het soms met kleine individuele afwijkingen uit hoofde van kwaliteit of vrachtkosten (zgn. priceleadership). Alhoewel zink ook te New York wordt genoteerd, is de belangrijkste notering die van East St. Louis, welke plaats als centrum van de zinkindustrie in de V.S. moet worden gezien. Lood wordt daarentegen meestal in de vorm van Domestic Price te New York genoteerd. Dit leidt ertoe, dat het prijsverloop voor deze twee metalen in Noord-Amerika een rustiger beeld vertoont dan in West-Europa, waar — vooral voor lood — de Londense notering als basis wordt genomen. De London Metal Exchange (L.M.E.), opgericht in 1882, beperkte zich aanvankelijk tot de handel in koper en tin. Later werden ook lood, zink en zilver toegelaten. De koersen van de L.M.E. zijn gewoonlijk niet alleen een resultante van vraag- en aanbodverhoudingen, doch weerspiegelen veelal eveneens overwegingen van speculatieve aard, zoals verwachte gevolgen van produktie-onderbrekingen, stakingen, politieke gebeurtenissen en valutarische onzekerheden.

In het koersverloop over langere termijn onderscheidt men dan ook een tweetal bewegingen. Er is een globale, die nagenoeg dezelfde trend volgt als de algemene conjunctuur. Daarnaast is er een welke zich om deze grote lijn heen slingert en een weergave is van min of meer actuele gebeurtenissen, die een incidentele invloed op de metaalmarkt hebben.

Ook al kent Noord-Amerika voor lood en zink geen beursnoteringen, toch kunnen de op deze markt geldende prijzen niet geheel los worden gezien van het prijsverloop in West-Europa. Indien er prijsverschillen

optreden, welke op langere termijn groter zijn dan oceaانvracht en andere bijkomende kosten zoals invoerrechten en commissies, zal zich een metaalstroom voordoen van de goedkopere markt naar de duurder tot een zeker evenwicht zal zijn bereikt. Dit ziet men onder meer duidelijk in de in- en uitvoerstatistiek van schroot, dat vooral bij lood een grote rol speelt.

Een ander aspect dat bij de beursnoteringen in aanmerking moet worden genomen, is de gewoonte van het afgeven van een notering voor direct leverbaar metaal (spot) en metaal voor levering over enige tijd (doorgaans 3 maanden). Deze laatste koers geeft uitdrukking aan de prijs, die het desbetreffende metaal naar verwachting over drie maanden zal doen. Deze termijnnotering kan hoger zijn (contango) dan die voor het onmiddellijk beschikbare metaal, waarbij uiteraard de meerdere kosten veroorzaakt door renteverlies, opslagkosten etc. ook meewegen. De 3-maandsnotering kan echter ook lager liggen dan de spot-notering (backwardation). Hierbij treden soms grote verschillen op.

Voor vele producenten en verbruikers functioneert de metaalbeurs niet in de eerste plaats als reële afnemer of leverancier van metaal, maar als mogelijkheid om door middel van aan- en verkooptransacties aan deze beurs koersrisico's te beperken. Deze ontstaan zodra tegenover een contractuele verplichting inzake fysiek metaal of metaalprodukten (waarbij de metaalwaarde een essentiële prijsbepalende factor is) niet een tegentransactie staat, die de metaalinhoud tegen eenzelfde prijs verrekent. Deze handelingen worden veelal onder de term hedging samengevat.

#### *De zinkprijs*

In zijn algemeenheid gaat het hiervoor gezegde op voor koper, lood en tin, doch veel minder voor zink. Weliswaar wordt aan de Londense Beurs ook zink genoteerd, maar deze notering heeft haar betekenis als maatstaf voor de zinkprijs in West-Europa — en ten aanzien van het bepalen van de ertsprijs in praktisch de gehele vrije wereld — verloren.

Gedurende tal van jaren, zowel voor als na de tweede wereldoorlog, konden mijnbouw en zinksmelters in vrede leven met een prijsbepaling via de L.M.E. Omstreeks het begin van de zestiger jaren begon men evenwel van gedachten te veranderen. Als gevolg van (o.a.) een toenemend zinkverbruik ontstond behoefte aan grotere, steeds meer kapitaal vereisende produktie-eenheden. Dit betrof niet alleen smelters, maar ook de mijnen, die hun produktie tot omvangrijkere, doch veelal minder rijke ertsvoorkomens moesten uitbreiden. Na een periode, waarin de mijnbouw en de metaalproduktie in bepaalde opzichten vaak een ambachtelijk karakter bezaten — met alle flexibiliteit van dien om zich door tijdelijke of gedeeltelijke sluiting aan een daling in de conjunctuur aan te passen — werd een nieuw tijdperk ingeluid van grote ondernemingen. Een lange termijn-planning met een meer constante



prijsvorming voor metalen werd voor hen een noodzaak en het wisselvallig verloop van de somtijds op korte termijn sterk fluctuerende Londense zinkprijzen paste slecht in hun bedrijfspolitiek.

Toen op een bepaald moment de opgaande conjunctuur de zinknoteringen zo hoog deed oplopen, dat het gevaar van substitutie of het structureel niet meer toepassen van zink in enkele belangrijke verbruikssectoren niet denkbeeldig was geworden, besloot men dan ook naar het Noordamerikaanse voorbeeld ook in West-Europa tot een meer betrouwbare notering op basis van priceleadership te komen. De GOB Producer Basis Price deed zijn intrede en sedert 1964 wordt deze prijs gehanteerd voor de aankoop van zinkconcentraten, resp. de verkoop van zink door tal van zinkproducenten in de vrije wereld. Het spreekt vanzelf dat ook in de kringen van verbruikers deze methode om tot een meer stabiele zinkprijs te komen grote bijval ondervond.

Aangezien de meeste westerse zinkproducenten in tegenstelling tot vroeger van de diensten van de L.M.E. geen gebruik meer maken, ontvangt de beurs te weinig zink om nog langer als reële waardemeter te kunnen worden aangemerkt. Afgezien van een paar smelters in de vrije wereld, die nog wel ten dele van de L.M.E. gebruik maken, ontvangt de beurs bijna uitsluitend zink uit de groep van de staatshandelslanden (hoofdzakelijk Oost-Europa en Noord-Korea). In verhouding tot de zinkafzet van globaal 2,3 miljoen ton per jaar in de vrije wereld op basis van de producentenprijs is de omzet van fysiek zink aan de L.M.E. klein: in 1974 een kleine 100.000 ton. Kwantitatief is echter de handel in wat gewoonlijk met de term papierzink wordt aangeduid, een veelvoud van de omzet in fysiek metaal. Om tal van redenen worden beurstransacties afgesloten, niet alleen ter dekking van eventuele koersrisico's doch ook uit puur speculatieve overwegingen, de laatste tijd niet in het minst wegens valutarische onzekerheden: vlucht in goederen. De omzet in papierzink bedroeg in 1974 ruim 1,2 miljoen ton.

Afgezien van soms optredende problemen van commercieel-psychologische aard, veroorzaakt door de bij tijd en wijle sterk variërende zinkkoersen aan de Londense Beurs, werkt het systeem van de Producentenprijs bevredigend voor de mijnbouw en de zinkindustrie. Dit blijkt mede uit de bereidheid van betrokkenen, voor de handhaving ervan grote offers te brengen. Onder de huidige diepgaande recessie, die tot aanzienlijke zinkoverschotten heeft geleid, waarvan de liquidatie nog niet op korte termijn is te voorzien, beperken vele bedrijven hun produktie, zelfs tot 60 á 65% van de capaciteit. Zij hopen zo — gezien de minder sterke daling van het verbruik (momenteel 20 á 25%) — hun voorraden binnen redelijke termijn te zullen inlopen.

Binnen het kader van de besprekingen over de toekomstige economische betrekkingen met ontwikkelingslanden lijkt de Producentenprijs een mogelijkheid voor een meer gestabiliseerde markt. Een moeilijk

punt zal de houding van de staatshandelslanden zijn, wier handelwijze menigmaal tot min of meer abrupte koersschommelingen aanleiding heeft gegeven. Overigens mag de rol van de ontwikkelingslanden op het gebied van zink (en lood) niet worden overschat. De voornaamste leveranciers van zink- en loodertsen zijn Canada en Australië; naar schatting komen zinkhoudende grondstoffen slechts voor 22% uit ontwikkelingsgebieden en loodhoudende grondstoffen voor 28%. Deze afhankelijkheid wordt trouwens ook nog beïnvloed door de mate, waarin de industrielanden hun recycling zouden kunnen perfectioneren. Voor lood is het recyclingpercentage ca. 40%, terwijl dit voor zink op hooguit 20% moet worden geschat, hetgeen samenhangt met de aard van het gebruik. Een groot deel van het lood wordt gebruikt voor producten, welke voor recuperatie in aanmerking komen, terwijl verschillende toepassingen van zink geen of bijna geen recuperatie toelaten, zoals het gebruik als corrosiebescherming voor ijzer en staal.

Een bijkomend aspect is nog dat mijnen een eindige levensduur hebben, zodat de grondstoffen worden geleverd door steeds wisselende producenten met wisselende vestigingsplaatsen. Deze kunnen in ontwikkelingslanden voorkomen, maar ook daaruit verdwijnen. De consequentie daarvan is dat bezwaarlijk een afzonderlijke politiek ten opzichte van dergelijke landen kan worden bedreven.

#### *Mogelijke prijsontwikkelingen*

Een sterke stijging van de metaalprijsen, voorzover althans onevenwichtig ten opzichte van die van andere producten, werkt bovendien het zoeken naar substitutie in de hand. In vele gevallen is substitutie maar ten dele mogelijk en afhankelijk van de vraag of de specifieke eigenschappen van het desbetreffende metaal vervangbaar zijn dan wel of de produktiekosten van het vervangende materiaal niet zo hoog worden, dat toepassing onder normale omstandigheden economisch onuitvoerbaar is. Voor wat betreft de mogelijkheden van substitutie van tin, lood en zink wordt verwezen naar de betreffende paragrafen in Hoofdstuk 4. Belangrijke gegevens en conclusies kan men voorts vinden in de studie: „Rational use of potentially scarce metals” (NATO Science Committee Study Group, Brussel, 1976), welke kort voor het ter perse gaan van deze publikatie verscheen.

Ook dient opgemerkt dat hogere metaalprijsen in het algemeen tot een zuiniger gebruik zullen leiden. Voorzover het mijnen, smelters en technisch goed geoutilleerde verbruikers betreft, zal dit van minder betekenis zijn, daar deze ondernemingen zich van meet af aan richten op het verkrijgen van een zo hoog mogelijk rendement. Betere verwerkingstechnieken zullen vermoedelijk nog wel enig effect kunnen sorteren bij de kleinere verbruikers, vooral indien aandacht wordt besteed aan een meer zorgvuldige recuperatie van afval, alsmede aan een doelmatige inzameling van oude metalen.



Conjunctuurwisselingen werken storend, niet alleen op de verhouding tussen de erts- en metaalmarkt, maar ook op de relatie tussen deze twee en de verbruikersmarkt. Het effect van dergelijke storingen doet zich evenwel niet tegelijkertijd aan deze drie zijden gevoelen.

Een toenemend verbruik bevordert de uitbreiding van de metaalproductie, die in de eerste plaats wordt opgevangen door een hogere bezettingsgraad van de bestaande smelters en vervolgens door middel van aanbouw van nieuwe capaciteit. Ter compensering van stijgende produktiekosten wordt — zoals gezegd — aan steeds grotere produktie-eenheden de voorkeur gegeven; zo is een zinksmelter van minder dan 10<sup>5</sup> ton metaal per jaar praktisch niet meer rendabel. Aangezien echter de groei van het verbruik gewoonlijk ietwat gelijkmatiger is dan de reactie van de smelters daarop, bestaat het gevaar dat een eenmaal op gang gekomen capaciteitsuitbreiding een te sterk vooruitlopen op de consumptie inhoudt. Dit zal zich vooral voordoen, indien dit verbruik onder invloed van algemene economische omstandigheden minder snel omhoog blijkt te gaan dan aanvankelijk mocht worden verondersteld. Dit heeft meestal tot gevolg, dat de markt door het grotere metaalaanbod van karakter verandert en van een verkopersmarkt omslaat in een kopersmarkt, met bijkomende verschijnselen als druk op het prijsniveau en onevenwichtig oplopende voorraden.

Een hogere metaalproductie brengt op zijn beurt een grotere vraag naar grondstoffen met zich mede, waaraan gewoonlijk niet onmiddellijk kan worden voldaan. De relatieve schaarste aan grondstoffen oefent een opwaartse druk uit op de ertsprijzen. Hierdoor ontstaat de eigenaardige situatie dat zich bij een vaste ertsenmarkt door de aanvankelijk constant blijvende capaciteit van de ertsproductie een metaalmarkt ontwikkelt, die eerder onzeker moet worden genoemd. Oplopende ertsenprijzen zijn bevorderlijk voor verdere ontplooiing van de mijnbouwactiviteiten. De resultaten daarvan plegen echter pas na verloop van tijd zichtbaar te worden: één en ander is afhankelijk van de mate, waarin bestaande mijnen op grond van een meer intensieve bewerking hun produktie kunnen opvoeren, dan wel verplicht zijn nieuwe ertsvoorkomens in exploitatie te nemen. Zulk een ontwikkeling kan meerdere jaren duren. Zie de bijdrage van dr. Brinck aan dit hoofdstuk voor een uitgebreidere behandeling van deze lange termijn-aspecten.

Ten aanzien van de metalen valt het algemene conjunctuurpatroon dus uiteen in een cyclisch verloop van een drietal elkaar opvolgende lijnen, één voor het gebruik, op korte afstand gevolgd door de op de verbruikersmarkt reagerende metaalproductie, welke lijn in een latere fase wordt gevolgd door die van het aanbod van ertsen.

Naar het voorbeeld van de stabilisatie van de tinprijs worden, o.m. in UNCTAD-verband, de mogelijkheden tot betere beheersing van andere metaalprijzen onderzocht, alsmede de vorming van buffervoorraden. In

paragraaf 2.2. wordt daarom de achtergrond van de prijsbeheersing van tin belicht.

## **2.2. De internationale beheersing van de tinprijs door prof. ir. H.J. de Wijs,**

### **2.2.1. De tinmarkt**

#### *Het wereldbeeld*

De wereldhandel in tin wordt niet uitsluitend beheerst door tinsmelters en verbruikers, maar evenzeer door de mijnbedrijven die tinconcentraten leveren. Aan de aanbodzijde leggen de mijnondernemingen zelfs meer gewicht in de schaal dan de tinsmelters. Momenteel wordt het aanbod van tin beheerst door de volgende drie groepen van mijnondernemers.

- Het Boliviaanse staatsconcern, de Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) en de daarmee nauw gelieerde Banco Minero de Bolivia.
- Het Indonesische staatsconcern Perusahaan Negara Tambang (P.N. Timah), dat in 1958 de tinwinningrechten overnam van N.V. Billiton.
- Het grootste tinconcern, de London Tin Corporation met tal van dochterondernemingen in Maleisië, Thailand en Nigerië.

Deze drie beheersen driekwart van de tinproductie van de vrije wereld. Voorts is de tinhandel in Australië sterk afhankelijk van Consolidated Gold Fields en in Zaïre van Geomines, met Belgisch kapitaal. Een derde van de smeltcapaciteit van de vrije wereld is in handen van Consolidated Tin Smelters Ltd. Dit concern is in Londen gevestigd en heeft smelters in Maleisië, Nigerië, Engeland en Australië.

De hier geschetste oligopolistische structuur van de concentraatproductie mondt uit in een vrijwel monopolistische produktie van tinmetaal. Het tegenwicht van de verbruikers is versnipperd. Het zwaarste gewicht vertegenwoordigen de zes grootste blikfabrikanten: U.S. Steel; British Steel; National Steel (V.S.); Bethlehem Steel (V.S.); Nippon Steel (Japan) en Rasselstein A.G. (W.-Duitsland). De gezamenlijke produktiecapaciteit van deze zes is 7,7 miljoen ton blik per jaar, hetgeen het huidige verbruik overtreft. Het is opmerkelijk dat de verticale integratie vrijwel nergens is doorgetrokken tot en met de fabricage van blik.

Tot zover de situatie in de vrije wereld. De communistische landen zijn echter niet zonder invloed op het evenwicht van de wereld-tinhandel, zij het dat deze invloed in de meeste gevallen als een verstoring van de tinmarkt moet worden aangemerkt. Onverwachte dumping van tin door de U.S.S.R. (inclusief doorverkoop van Chinees tin) vond plaats in de jaren 1958 - 1960 in een notoir zwakke metaalmarkt. Hierop volgde een periode, waarin de USSR tin uit het Westen importeerde.

#### *De beurshandel*

Dagelijkse beursnoteringen komen tot stand in Lon-



den, Penang en New York. De L.M.E. (London Metal Exchange) functioneert slechts in beperkte zin voor de verhandeling van reële partijen tinmetaal. Belangrijker is de functie van deze beurs in het vaststellen van de dagelijkse prijs. In zeer vele handelsovereenkomsten met betrekking tot tinmetaal of -concentraat wordt uitgegaan van LME-prijsnoteringen. Tot juli 1972 waren LME-prijzen de basis van het beheer door de International Tin Council van zijn Buffer Stock. Vanaf 4 juli 1972 zijn daartoe de noteringen gebruikt van de beurs van Penang. In het algemeen is de prijsbeweging van tin veel gevoeliger voor het verloop van de tinvoorraden, dan voor de relatie tussen productie en verbruik.

#### *De strategische reserve van de USA*

Gedurende de Tweede Wereldoorlog hebben de V.S. van overheidswege voorraden gehamsterd voor verscheidene grondstoffen. Hierbij is aan tin een hoge prioriteit verleend. Na de Wereldoorlog waren het de Amerikaanse militaire interventies in Korea en Vietnam die noopten tot het aanhouden en uitbreiden van strategische reserves. Eerst in begin 1962, toen de geaccumuleerde reserve  $374,9 \times 10^3$  ton omvatte, besloot het US Congress — na beraad met de International Tin Council in Londen — om een deel van de tinvoorraad tot surplus te verklaren en die hoeveelheid of te verkopen of in te brengen in AID-programma's. De V.S. stootte  $266,2 \times 10^3$  ton of ruim 70% van de strategische reserve af als zodanig (ca. 1 1/2 maal een jaarproductie van de Westerse wereld). Vanaf 1962 tot ultimo 1974 heeft de VS hiervan  $141,0 \times 10^3$  ton gespuid. Begin 1975 moest dus nog ruim  $125 \times 10^3$  ton worden afgevoerd. Deze hoeveelheid plus de ca.  $128 \times 10^3$  ton, resterende in de strategische reserve, hangen als een zwaard van Damocles boven de tinmarkten.

In 1971 is het Japanse Ministerie van internationale handel en industrie eveneens begonnen een tinvoorraad te vormen. Voor zover bekend bevatte deze per ultimo 1972 3.920 ton.

#### **2.2.2. Prijsbeheersing**

##### *De International Tin Council*

In 1921, gedurende een baisse van de metaalprijsen, gaven enkele grote tinproducenten de eerste aanzet tot regulering van de tinprijs d.m.v. oprichting van de zgn. Bandoeng Pool. In de daaropvolgende periode raakte deze buffervoorraad tijdens de gunstiger conjunctuur buiten werking. Begin 1925 was zij uitverkocht. In 1928/29 ontstonden weer wassende tinvoorraden; in juni 1929 werd de Tin Producers Association opgericht, die haar leden o.a. productiebeperkingen kon opleggen. Dit initiatief faalde door tegenwerking van niet aangesloten producenten.

In 1931 ontstond het International Tin Committee, waarin zich ditmaal tinproducerende landen verenigden. Deze constructie bleef niet onbevredigend func-

tioneren tot de Tweede Wereldoorlog, toen in de geallieerde landen de tinprijs van overheidswege werd gefixeerd. Vanaf 1946 steeg de weer vrijgegeven tinprijs snel en passeerde £ 1600 in 1951. Na jarenlang onderhandelen onder auspiciën van de Verenigde Naties vond in 1956 de ratificatie plaats van een overeenkomst tot stichting van de International Tin Council (I.T.C.) met zetel in Londen. Een wezenlijk verschil met het International Tin Committee is dat in de I.T.C. niet alleen producerende, maar nu ook *verbruikende* landen als lidstaten kunnen zijn vertegenwoordigd.

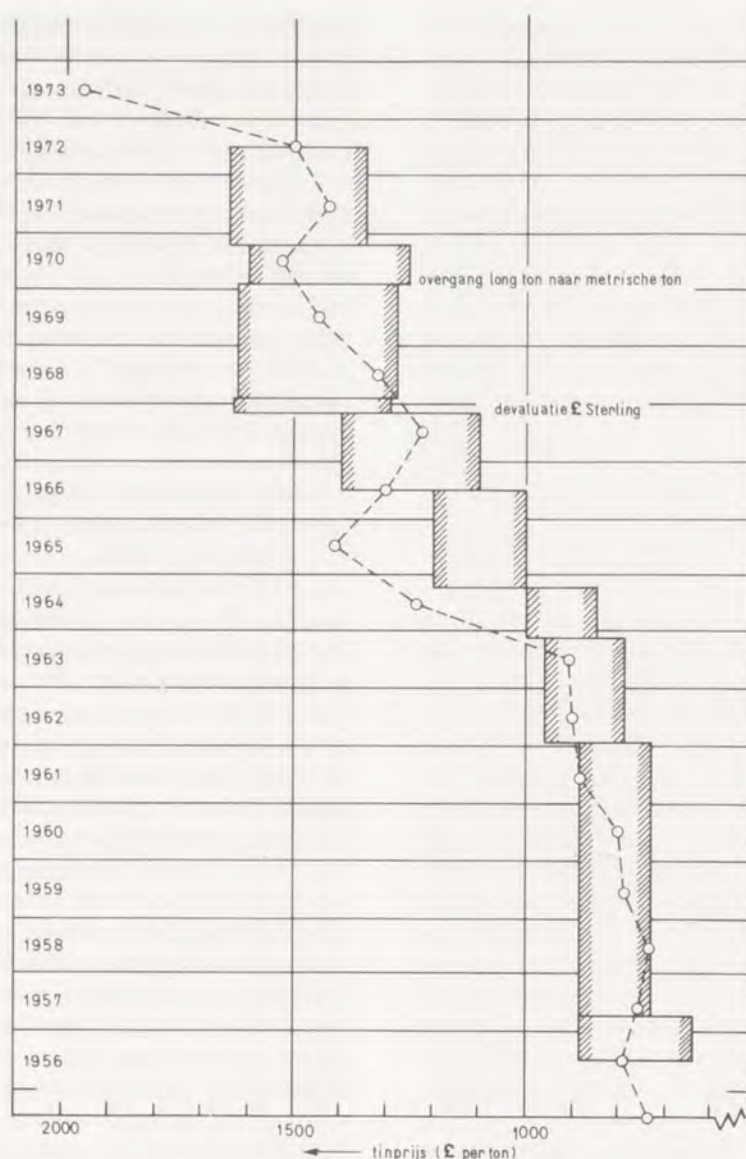
In 1956 startte de I.T.C. met 6 producerende en 10 consumerende lidstaten; eind 1975 waren dit respectievelijk 7 en 22 staten. Twee blokken met elk 1000 stemmen, verdeeld op grond van productie resp. consumptie, vormen de Council meetings. De belangrijkste niet toegetreden producerende landen zijn de V.R. China, Zuid-Afrika en Brazilië, terwijl in de lijst van de tinverbruikende landen de V.S. de meest opvallende afwezige is. Toetreding van de V.S. in de loop van 1976 mag echter worden verwacht.

In de werkwijze van de I.T.C. is de Bufferstock hoofdwerktuig en komen exportrestricties in de tweede plaats. De aandelen van de producerende lidstaten in de toegestane export worden periodiek zodanig aangepast dat zij in redelijke overeenkomst blijven met hun reële productiecapaciteit, die tevens het aantal stemmen bepaalt. Een complicatie bij de stemverdeling binnen het blok der verbruikende lidstaten is dat de USSR e.a. Oostbloklanden gegevens over hun tinverbruik niet prijsgeven, zodat hier moet worden volstaan met importcijfers. Landen met omvangrijke doorvoer van tin, als Nederland en Engeland, zouden echter op basis van import worden overbegunstigd. Reden waarom het werkelijke binnenlandse verbruik voor de I.T.C. de grondregel is voor de stemverdeling. De buffervoorraad is niet bedoeld om op langere termijn de tinprijs te beïnvloeden, maar om fluctuaties op korte termijn en vooral abrupte stijgingen of dalingen te elimineren. De voorraad bestaat uit verplichte bijdragen van producerende lidstaten in tinmetaal of geld en vrijwillige bijdragen van consumerende lidstaten. Een beheerder regelt de voorraad onder toezicht van de Raad (Council). Hij volgt daarbij instructies van de Council in de volgende vorm:



Figuur 2 geeft een overzicht van plafond- en bodemprijzen met de jaargemiddelden voor die prijzen in L.M.E.-noteringen.





Figuur 2. Plafond- en bodem-tinrijzen van de I.T.C. en L.M.E. jaargemiddelden.

Een aantal malen heeft de buffervoorraad niet kunnen functioneren, hetzij omdat er bij een prijs boven het plafond geen tin meer in voorraad was, of omdat bij een prijs onder de bodem geen geld beschikbaar was om tin uit de markt te nemen. Een dergelijk uit-de-hand-lopen had volgens marktdeskundigen kunnen worden vermeden bij een grotere voorraad, nl. ca.  $35 \times 10^3$  ton (met ultimo 1975 een tegenwaarde van iets meer dan £ 105 miljoen). Bij het ineffectief worden van de buffervoorraad omdat niet kan worden gekocht als tin door de bodemprijs zakt, kan een quoteringsmaatregel worden toegepast. Dit is o.a. geschied voor de eerste 9 maanden van 1973. De korting op de export over 1972 is toen voor die periode aanvankelijk gesteld op 10% en later verminderd tot 2,5%. In 1973 ontdeed de V.S. zich van  $24,4 \times 10^3$  ton uit de vroegere strategische voorraad.

#### *De doeltreffendheid van de I.T.C.-instrumenten*

Enkele metalen bevinden zich thans in stadia van pogingen tot marktcontrole die voor tin reeds tot het

verleden behoren. Dit geldt voor koper (CIPEC), aluminium (IBA) en ijzer (ATOEC). Daarnaast is er de nog onofficiële coöperatie van fosfaat-producerende landen en van uranium-producerende landen.

Ter regulatie van de tinprijs zijn van 1921 tot heden twee middelen toegepast:

1. Quotering van produktie, c.q. uitvoer.
2. Hantering van een buffervoorraad.

Quoteringmaatregelen zijn weliswaar effectief gebleken om prijsdalingen — vooral de scherpe en plotselinge — te bestrijden, maar hebben ook negatieve effecten gesorteerd, zoals mijnsluitingen, vermindering van exploratie-activiteiten en een remmende invloed op investeringen in de technologische verbetering van winnings- en verwerkingsmethoden. Een andere bedenking is dat het kunstmatig opwekken van schaarste de gebruiker veeleer opwekt tot, dan weerhoudt van de substitutie van tin in zijn produkten.

De I.T.C. heeft — ten lange leste — ingezien dat voor arme ontwikkelingslanden als Bolivia, waar tin meer dan 50% uitmaakt van de totale waarde van de ex-



port, quotering een te harde ingreep is in de economie van het land.

Prijsregulatie door middel van een buffervoorraad, als bedreven door de I.T.C., heeft te kampen met de volgende — voor de tinmarkt min of meer specifieke — ongunstige factoren.

- De zware last die de producerende landen zou moeten worden opgelegd om een buffervoorraad van adequate grootte te vormen.
- De marktverstoringen door de tot surplus verklaarde tonnages van de U.S. Strategic Stockpile (de GSA-disposals) en plotselinge tinexport vanuit het Oostblok.
- De speculatieve handel — in het bijzonder de termijnhandel — op de tinbeurzen.
- In de belangrijkste eindprodukten (blikconserven, elektrische apparaten en auto's) vertegenwoordigt het gebruikte tin slechts een geringe fractie van de produktiekosten. De op het materiaal aangewezen gebruiker tolereert daarom een ruime marge in de tinprijs. Wordt deze echter overschreden, dan kan hij abrupt overgaan tot substitutie, zoals vooral is gebleken in de verpakkingsindustrie.

Ondanks deze — en vele andere, meer incidentele — storende invloeden op de tinmarkt, hebben de activiteiten van de I.T.C. de laatste jaren een onmiskenbaar gunstig effect op de tinprijs gehad. In de woelige metaalmarkten der afgelopen jaren waren de schommelingen in de tinprijs minder dan in het geval van, bijvoorbeeld, koper, lood en zink en weinig groter dan die van de prijs van aluminium, het metaal met een voorbeeldig stabiele prijs. De hier en daar geuite kritiek dat de I.T.C.-werkzaamheden op langere termijn de tinprijs slechts eenzijdig zouden opdrijven, strookt niet met de doelstellingen van de Council, die zich uitsluitend richt op regularisatie op korte termijn, noch met een vergelijking van trendlijnen voor tinprijzen met die van andere metalen.

Van verschillende zijden zijn studies gewijd aan andere wijzen van marktregulering m.b.t. grondstoffen. Een Britse studiegroep heeft een plan gelanceerd dat de dagelijkse beursnoteringen elimineert. Vereenvoudigd voorgesteld, zou een centraal orgaan — in samenstelling overeenkomend met de I.T.C. — periodiek een richtprijs vastleggen voor een gegeven periode. De producerende en consumerende lidstaten hebben zich daarbij verplicht, uitsluitend te verkopen aan of te kopen van het centraal orgaan. Bij verkoop wordt (voorlopig) afgerekend op de richtprijs minus een vastgesteld percentage en bij aankoop wordt hetzelfde percentage op de richtprijs gelegd. Dit levert een saldo, dat na beëindiging van de periode wordt uitgekeerd aan producenten en consumenten. De verdeling der baten zou volgens bewijzen van aandeel kunnen geschieden, welke gedurende de betreffende periode van prijsovereenkomst worden uitgegeven zowel aan verkopers als aan kopers op basis van de geleverde, resp. afgenomen hoeveelheden metaal. Een dergelijk plan vergt echter een mate van samen-

werking in een supranationale organisatie, die op korte termijn moeilijk zal zijn te verwezenlijken.

Voor diepergaande bestudering van het in deze paragraaf behandelde wordt verwezen naar [9, 10].

### 3. Geologisch-economische aspecten van grondstoffenvoorkomens

door dr. J.W. Brinck<sup>2)</sup>

#### 3.1. Belang en aard van minerale afzettingen

In Tabel 2 wordt een indruk gegeven van de waarde van de jaarproductie van de voornaamste delfstoffen en hun verhouding tot het Bruto Wereld Produkt (BWP). De belangrijkste „vrije” grondstoffen, lucht en water, zijn hierbij niet opgenomen. Ondanks de betrekkelijk geringe economische waarde van het delfstoffenpakket moet men het maatschappelijk belang ervan niet onderschatten. Zoals al eerder bleek, vormt een ruime en ononderbroken voorziening met grondstoffen en materialen de basis voor het functioneren en voortbestaan van onze moderne samenleving.

De natuurlijke beschikbaarheid van verschillende minerale grondstoffen, hun geografische en geo-politieke verdeling, de kosten van opsporing, winning, concentratie en vervoer, de productiecapaciteiten van mijnen en velden, vormen enkele van de nauw verweven aspecten van de voorziening met delfstoffen. Mijnbouwers, industriëlen, bankiers, economen en staatslieden zijn allen in meerdere of mindere mate betrokken bij bepaalde facetten van het voorzieningsprobleem. De beslissingen die in dit verband van hen worden geëist, vragen, naast betrouwbare informatie betreffende de beschikbaarheid van grondstoffen, ook een zeker inzicht in de samenhang van factoren die meespelen bij de bepaling hiervan.

De vaak gestelde vraag of een bepaalde grondstof in voldoende mate voor een bepaald doel beschikbaar is of kan komen, kan meestal niet worden afgedaan met een opgave van de op dat moment aangetoonde reserves. Deze zullen hiervoor vrijwel steeds onvoldoende blijken. De diverse kwalificaties waarmee het antwoord dan wordt omkleed dragen verder bij tot de heersende verwarring omtrent opvattingen betreffende de beschikbaarheid van minerale grondstoffen.

#### *Minerale reserves en hulpbronnen*

Hoewel er in het Nederlands taalgebruik niet altijd duidelijk verschil wordt gemaakt tussen de betekenis van de termen *reserves* en *minerale hulpbronnen*, vertegenwoordigen deze in moderne classificaties twee duidelijk te onderscheiden begrippen. In overeenstemming met de aanbevelingen van Blondel en

<sup>2)</sup> Discussiebijdragen en aanvullingen van prof. ir. H.J. de Wijs zijn in de bijdrage opgenomen.



**Tabel 2.** Geschatte waarde (in US \$) van de jaarproductie 1969/70 van delfstoffen, ook in relatie tot het Bruto Wereld Produkt<sup>1)</sup> (BWP<sup>2)</sup>)

	Geschatte waarde (10 <sup>9</sup> \$)	Aandeel in BWP (%)
<i>Fossiele brandstoffen</i> <sup>3)</sup>		
Aardolie (50%), steenkool en bruinkool (33%), aardgas (13%), antraciet (4%)	54	2,2
<i>Bouwmaterialen</i>		
Cement (35%), steenslag (28%), zand en grint (25%), klei (7%), kalk (5%)	28	1,1
<i>Metallische delfstoffen</i>		
<i>waarde meer dan 10<sup>10</sup> \$:</i>		
IJzer	28	1,1
<i>waarde tussen 1 en 10 x 10<sup>9</sup> \$:</i>		
Koper (34%), aluminium (32%), goud (10%), zink (10%), nikkel (8%), lood (6%)	18	0,7
<i>waarde tussen 10<sup>8</sup> en 10<sup>9</sup> \$ (in volgorde van afnemende belangrijkheid):</i>		
Tin, zilver, mangaan, uranium, molybdeen, metalen van de platinagroep, wolfram, magnesium, titanium, chroom, kwikzilver en antimoon	3,5	0,1
<i>Niet-metallische delfstoffen</i>		
<i>waarde meer dan 10<sup>9</sup> \$:</i>		
Steenzout	1,5	0,06
<i>waarde tussen 10<sup>8</sup> en 10<sup>9</sup> \$:</i>		
Fosfaat (28%), zwavel (23%), kalium (20%), carbonblack (gas-roet - 15%), fluoriet (7%), industriediamant (4%), diatomeeënaarde (3%)	2,7	0,1
<b>Totaal</b>	<b>135,7</b>	<b>5,4</b>

<sup>1)</sup> Bron: US Bureau of Mines Commodity Data Summaries 1971.

<sup>2)</sup> Geschatte omvang BWP: 2,5 x 10<sup>12</sup> US \$.

<sup>3)</sup> Aardolieproductie in de VS tegen prijs aan de bron van \$ 3,12 per barrel (vat); rest van de wereld tegen Wereldbank-richtprijs van \$ 1,30 per vat.

Lasky (1956) [11] wordt de term *reserves* algemeen gereserveerd voor *geschatte hoeveelheden delfstoffen die met de bestaande technische hulpmiddelen economisch ontginbaar worden geacht*.

De voorwaarde *economisch winbaar* leidt tot een aantal varianten waarbij nu eens een bepaalde richtprijs maatgevend wordt geacht, dan weer de op ieder moment geldende marktprijs. Toch bestaat er een grote

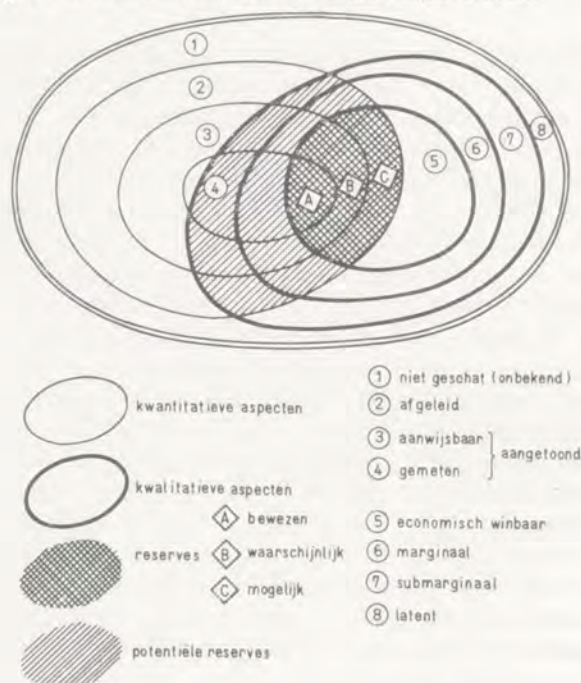
mate van overeenstemming tussen internationale deskundigen, ook uit landen met verschillende economische stelsels, betreffende de classificatie van bepaalde minerale afzettingen als reserves.

Tot de *minerale hulpbronnen (resources)* worden gerekend *alle natuurlijke concentraties van minerale grondstoffen in een bepaald geologisch milieu, onafhankelijk van hun economische winbaarheid op dit moment*. Hiertoe moeten dus ook de diverse categorieën reserves worden gerekend (zie ook Fig. 3).

Ook deze definitie heeft tot een aantal varianten geleid. Vaak wordt het begrip beperkt tot minerale concentraties die, onder al dan niet te verwachten economische of technologische ontwikkelingen, een, al dan niet aan tijd gebonden, economisch potentieel bezitten (potentiële reserves). In dit geval worden alle niet tot de aldus gedefinieerde hulpbronnen behorende concentraties soms hiermee te zamen in een omvattende *kader van hulpbronnen (resource base)* ondergebracht dat overeenkomt met de hierboven gegeven definitie van *hulpbronnen* [12, 13].

Figuur 3, in de vorm van een Venn diagram, illustreert de classificatie van hulpbronnen op grond van de door Blondel en Lasky voorgestelde terminologie [14]. De onderverdeling van hulpbronnen en reserves berust hier enerzijds op de economische ontginbaarheid in verschillende prijsklassen (economische beschikbaarheid of kwalitatief aspect), anderzijds op onze onvolledige kennis van het bestaan van bepaalde minerale hulpbronnen. Door dit laatste zal de schatting van omvang en gehalte voor meer of minder bekende afzettingen een geheel verschillend karakter hebben (geologische beschikbaarheid of kwantitatief aspect). Van bijzonder belang voor regionale en mondiale stu-

**Figuur 3.** Classificatie van minerale hulpbronnen.





dies betreffende de toekomstige beschikbaarheid van bepaalde delfstoffen is het verschil tussen de zg. aangetoonde en afgeleide reserves en hulpbronnen. Voor de eersten geldt dat plaats, omvang en gehalte van de minerale afzettingen door waarneming en directe metingen met tamelijk grote zekerheid zijn bepaald. De laatsten worden geraamd op basis van geologische gegevens of door extrapolatie uit aangetoonde reserves en hulpbronnen, zonder nauwkeurige kennis betreffende ligging, omvang of gehalte van deze afgeleide reserves.

Naarmate de toch altijd min of meer subjectieve geologische schattingen zullen worden aangevuld met geostatistische berekeningen van het minerale potentieel van een gebied, kan worden verwacht dat het begrip actuele beschikbaarheid aan belang zal winnen. De afnemende betrouwbaarheid van de schattingen waarop in de USDI- en Canadese classificaties de nadruk wordt gelegd door een verregaande onderverdeling van het vrijwel onbekende gebied van de afgeleide reserves en hulpbronnen, zal dan een steeds kleinere rol gaan spelen. Van bijzonder groot belang voor deze te verwachten ontwikkeling was de formulering van het semi-kwantitatieve verband tussen de gemiddelde concentratie van een element in de aardkorst en de grootte van zijn ertsvoorkomens [15 t/m 18].

#### *Aanvulling van de reserves*

De productie van delfstoffen heeft een geleidelijke uitputting van de aangetoonde reserves tot gevolg. Deze moeten dan ook regelmatig worden aangevuld door:

- opsporing en ontwikkeling van nieuw aangetoonde reserves uit de afgeleide reserves en uit de nog niet geschatte economisch ontginbare hulpbronnen;
- technische verbeteringen en schaalvergroting bij de productie, het transport en de commercialisatie van de grondstoffen, waardoor de resulterende lagere produktiekosten potentiële reserves (*marginale en submarginale hulpbronnen*) in de reserves brengen;
- prijsverhoging van het produkt, waardoor eveneens potentiële reserves tot de reserves kunnen worden gerekend.

Gedurende de toch vrij lange geschiedenis van de westerse, voornamelijk op een vrije markteconomie ingestelde, delfstoffenindustrie is gebleken dat de twee eerstgenoemde factoren tot dusverre ruimschoots in staat waren voldoende reserves en produktiecapaciteiten te ontwikkelen om aan de steeds toenemende vraag te voldoen. Hoewel het vrijwel onmogelijk is te beslissen welke van de twee factoren hierbij het belangrijkste is kan toch wel worden gezegd dat de resultaten van opsporing in de eerste plaats produktieverhogend zullen werken, terwijl technische verbeteringen en voordelen van schaalvergroting de levensduur van bestaande produktiecentra zullen verlengen.

De bijdrage van de marginale producent aan de voor-

ziening met een bepaald produkt bepaalt in de meeste gevallen de prijs, en daarmee, bijna per definitie, de grootte van de aangetoonde reserves van een mineraal produkt voor ieder gegeven moment. Deze grootte, uitgedrukt als het aantal jaren dat de aangetoonde reserves bij het huidige verbruik zullen meegaan, is de *statische reserve index* van Meadows [19] en vertelt ons weinig of niets betreffende het nog te realiseren potentieel van een minerale grondstof. Speciaal voor delfstoffen waarbij de opsporingskosten een belangrijk deel van de prijs uitmaken zal zij zelden meer dan enkele tientallen malen de huidige jaarproduktie bedragen en juist voldoende zijn om aan de te verwachten vraag met de bestaande en eventueel in ontwikkeling zijnde produktiecapaciteiten te kunnen voldoen.

Prijsverhogingen ten gevolge van de groeiende vraag en de geleidelijke uitputting van de aangetoonde reserves van een bepaald mineraal produkt bleken steeds voldoende aansporing voor de betreffende industrie en voor nieuwkomers om door sterk verhoogde opsporings- en ontwikkelingsactiviteiten de geslonken voorraden weer op peil te brengen. Het hierdoor gestegen aanbod, alsmede de concurrentie met vervangingsprodukten drijft de prijs dan weer terug naar of zelfs beneden zijn vroeger gemiddeld niveau, waardoor de opsporingswerkzaamheden teruglopen en de cyclus zich kan herhalen.

Het feit dat tussen het begin van een opsporingsprogramma en de eerste hieruit resulterende productie tenminste een periode van 6 tot 10 jaar ligt, geeft een indruk van de geringe elasticiteit van het aanbod op korte termijn. Daarom ook kunnen grote vertragingen optreden bij het herstellen van ernstige verstoringen van het gegroeide evenwicht tussen vraag en aanbod tengevolge van een gezamenlijk politiek-economisch ingrijpen in de wereld-grondstoffenvoorziening. De ontwikkeling van winnings- of verwerkingsmethoden om aangetoonde marginale of submarginale hulpbronnen ontginbaar te maken of de overschakeling op mogelijke vervangende grondstoffen zal veelal gelijke of zelfs langere aanpassingstijden vergen. Daarbij komt dan nog de onzekerheid of een door prijsverhogingen en/of produktiebeperkingen kunstmatig gecreëerde schaarste een voldoende permanent karakter zal hebben om de vaak zeer hoge investeringen voor zulke alternatieve oplossingen verantwoord te maken.

#### *Economische winbaarheid*

Bij de historische ontwikkeling van de grondstoffenvoorziening heeft, tot voor zéér kort, zowel de voor inflatie gecorrigeerde prijs van de meeste minerale grondstoffen als hun aandeel in het Bruto Wereld Produkt een op zijn minst stabiele, zo niet duidelijk dalende tendens getoond [20, 21]. Dit verschijnsel kan enerzijds worden toegeschreven aan het structurele verband tussen de componenten van het gehele delfstoffenpakket, anderzijds aan het karakter van



minerale reserves en de wijze waarop minerale afzettingen voorkomen in het geologisch milieu.

Economisch winbare minerale afzettingen zijn meestal zeldzame, extreme concentraties van minerale grondstoffen die normaal slechts diffuus verspreid voorkomen in het geologisch milieu. Over het algemeen geldt dat hoe groter de afzetting en hoe hoger het gehalte van het gezochte produkt hierin, hoe groter de kans dat dit produkt economisch winbaar zal blijken; maar ook, hoe zeldzamer afzettingen met zulke gunstige specificaties zullen voorkomen. Hoewel de prospectie er dus altijd op gericht zal zijn zulke grote, hoogwaardige afzettingen op te sporen en te ontwikkelen, leert de praktijk dat belangrijke verschillen in de kosten voor opsporing, ontwikkeling, ontginning en commercialisatie, tengevolge van verschillen in grootte, gehalte, type en geografische of geopolitieke ligging, een vrij grote verscheidenheid van minerale afzettingen economisch winbaar maakt tegen ongeveer gelijke kosten.

Er kan in dit verband op worden gewezen dat de huidige ontwikkeling naar mijnbouw op grote schaal nadelig is voor de exploitatie van vele kleinere voorkomens, die wel economisch winbaar zijn. Als gevolg van hun hoge algemene kosten zijn grote mijnbouwondernemingen hierin echter minder geïnteresseerd. Dit probleem behoeft speciale aandacht [22].

Voor bulkprodukten, zoals de bouwmaterialen, ijzererts, bauxiet, fosfaat, steenkool zal het gehalte van het gewenste produkt of ertsmineraal in de afzetting vaak de praktische maximumconcentratie (50-100%) moeten benaderen om zo'n afzetting economisch winbaar te maken. Voor een aantal zeldzamer elementen speelt echter de inverse relatie tussen grootte en gehalte van een afzetting een uiterst belangrijke rol voor de bepaling van de economische winbaarheid van het produkt ( koper, zink, lood, nikkel, uranium, goud, tin).

Een andere belangrijke waarneming in verband met het optreden van minerale reserves is het feit dat, hoewel economisch winbare afzettingen bijna overal kunnen optreden, de werkelijke belangrijke bijdragen tot de reserves voor een groot aantal delfstoffen beperkt zijn tot slechts enkele, relatief kleine en welomschreven gebieden. In de vakliteratuur staan zulke gebieden bekend als minerale provincies, die vaak weer worden onderverdeeld in meerdere, al dan niet geologisch verschillende districten, waarin één of meer economisch winbare afzettingen van een bepaald produkt voorkomen. Dit verschil in reservedichtheid mag beslist niet worden toegeschreven aan verschillen in intensiteit van de exploratie maar berust op een wezenlijke eigenschap van de concentratieverdeling van delfstoffen in het geologisch milieu.

Dergelijke verdelingspatronen van delfstoffenconcentraties worden ook regelmatig gevonden bij de evaluatie van ertsafzettingen en bij het regionaal geochemisch onderzoek. Deze vrijwel universele waarneming blijkt geheel onafhankelijk van het feit of de hierbij genomen monsters eenheden van miljoenen tonnen ge-

steente, duizenden tonnen van een bepaalde minerale afzetting, dan wel enkele tonnen van een ertsconcentratie vertegenwoordigen. Steeds weer vinden we dat de relatief zeldzame hogere concentraties een duidelijke tendens vertonen tot samenhoeken. Ze zijn verbonden met de gemiddelde concentratie van het bemonsterde gebied door een serie van steeds minder zeldzame concentraties. Wanneer we de frequentie van deze concentraties uitzetten tegen hun logaritme blijkt de aldus gevonden kromme de normale (Gausse) waarschijnlijkheidskromme te benaderen. Een dergelijke verdeling kan eenvoudig worden verklaard uit het door De Wijs voorgestelde logbinomiale model van elementverdeling in minerale afzettingen [23].

#### *Het specifiek erstvormend vermogen*

De concentratieverdelingen in het geologisch milieu kunnen in het licht van het bovenstaande worden gezien als het resultaat van ongericht, logaritmisch gegradeerde verarmingen en verrijkingen hierin, tengevolge van normale geologische processen zoals de magmatische processen (waaronder granietvorming), erosie-sedimentatie en oplossing-precipitatie. Met recht wordt hieraan de vorming van de meeste ertsafzettingen toegeschreven, maar deze processen kunnen even makkelijk bestaande ertsconcentraties weer vernietigen. De huidige verdeling van delfstoffen kan derhalve worden gezien als het netto effect van de voortdurende evolutie van de aardkorst, na drie tot vier miljard jaar geologische geschiedenis.

De spreiding van de gehalten van een element in een reeks monsters is maatgevend voor de doeltreffendheid van deze processen voor de concentratie van dat element in ertsafzettingen in het bemonsterde geologisch systeem. Voorts is zij afhankelijk van de specifieke fysisch-chemische eigenschappen van het element in contrast met die van alle andere elementen in het systeem en hun respectievelijke concentraties daarin. Deze spreiding kan worden gemeten.

De spreidingscoëfficiënt, die voor ieder element in een gegeven geologisch milieu een voor dat milieu kenmerkende waarde heeft wordt het *specifiek ertsvormend vermogen* genoemd. Te zamen met de gemiddelde concentratie in de aardkorst (*clarke*) van het element bepaalt dit de relatieve zeldzaamheid van minerale concentraties in het bemonsterde milieu. De relatieve zeldzaamheid, de grootte en het gehalte van een minerale concentratie zijn tevens bepalend voor de gemiddelde opsporings-, kapitaalinvesterings- en produktiekosten en daarmee voor de economische winbaarheid van een mineraal produkt. Daarom kunnen met behulp van de *clarke* en het specifiek ertsvormend vermogen van een element de afgeleide reserves en hulpbronnen worden geraamd voor alle mogelijke verhoudingen tussen grootte en gehalte van de individuele afzettingen die deze reserves en hulpbronnen vormen. De waarde van het specifiek ertsvormend vermogen kan hiervoor worden berekend uit de gemeten waarschijnlijkheid van voorkomen en de ge-



gemiddelde eigenschappen van de ertsafzettingen die de vroegere produktie en huidige ertsreserves van een element vertegenwoordigen [24].

Het aldus gevonden specifiek ertsvormend vermogen vertegenwoordigt de gemiddelde efficiëntie van de stapsgewijze verrijgings- en verarmingsprocessen in het voor de mijnbouw toegankelijke deel van de aardkorst. Afgezien van normale, ongerichte schommelingen om deze gemiddelde waarde lijkt het echter ook waarschijnlijk dat er een trendmatige vermindering van het ertsvormend vermogen zal optreden naarmate de concentratie van een element de theoretische maximum concentratie in zijn ertsmineraal benadert. Of anders gezegd: naarmate de specifieke fysisch-chemische eigenschappen van het element meer bepalend worden voor het systeem waarin de stapsgewijze verrijgings- en verarmingsprocessen plaatsvinden.

De Wijs [25] veronderstelt daarom dat de concentratieverdeling de theoretische maximumconcentratie logistisch zal benaderen en verklaart hiermee een aantal waargenomen, schijnbaar van het logbinomiale model afwijkende concentratieverdelingen in bepaalde ertsafzettingen. Het betreft in de eerste

plaats ertsafzettingen van de reeds eerder genoemde bulkprodukten ijzer, fosfor, aluminium, chroom, enz. waarin het gehalte de theoretische maximumconcentratie benadert. Daarnaast lijkt de verklaring eveneens van toepassing op waargenomen afwijkende concentratieverdelingen in individuele ertsafzettingen waar andere natuurlijke grenzen zijn gesteld aan de maximale concentratie van het element (poriënvolume van een zand waarin de ertsmineralen later werden afgezet, de verbrijzeling van het gesteente waarin gedissemineerde koperafzettingen werden gevormd enz.). Voor de schatting van de afgeleide reserves en hulpbronnen resulteert deze logistische transformatie in de gevallen waar zij van belang is in hogere schattingen van de afgeleide reserves en de marginale en submarginale hulpbronnen. In de meeste gevallen speelt zij echter een geringe rol en vallen de verschillen binnen de onnauwkeurigheid van de bepaling van de clarke en het specifiek ertsvormend vermogen.

#### *Raming van afgeleide reserves*

Ramingen van de afgeleide reserves en hulpbronnen met het voor dit doel ontwikkelde computermodel

**Tabel 3.** Clarke, hulpbronnen en reserves van enkele industriële elementen [27]

Element	Clarke	Potentiële reserves (metrische tonnen)		Aangetoonde reserves
	0,	Mimic	Erickson [18]	
Aluminium	,083	$8 \times 10^{12-13}$	$3,5 \times 10^{12}$	$3,3 \times 10^9$
IJzer	,084	$5 \times 10^{12-13}$	$2,0 \times 10^{12}$	$8,8 \times 10^{10}$
Titaan	,0053	$5 \times 10^{11-12}$	$2,3 \times 10^{11}$	$1,4 \times 10^8$
Fosfor	,0012	$1 \times 10^{11-12}$	$5,1 \times 10^{10}$	$6,0 \times 10^9$
Mangaan	,0010	$1 \times 10^{11-12}$	$4,2 \times 10^{10}$	$6,3 \times 10^8$
Fluor	,00047	$5 \times 10^{10-11}$	$2,0 \times 10^{10}$	$4,0 \times 10^7$
Barium	,0004	$4 \times 10^{10-11}$	$1,7 \times 10^{10}$	$1,1 \times 10^8$
Vanadium	,00012	$1 \times 10^{10-11}$	$5,1 \times 10^9$	$1,0 \times 10^7$
Zink	,000081	$8 \times 10^9-10$	$3,4 \times 10^9$	$1,1 \times 10^8$
Chroom	,000077	$8 \times 10^9-10$	$3,3 \times 10^9$	$7,0 \times 10^8$
Nikkel	,000061	$6 \times 10^9-10$	$2,6 \times 10^9$	$6,8 \times 10^7$
Koper	,000050	$5 \times 10^9-10$	$2,1 \times 10^9$	$2,8 \times 10^8$
Lithium	,000022	$2 \times 10^9-10$	$9,3 \times 10^8$	$5,5 \times 10^6$
Columbium	,000020	$2 \times 10^9-10$	$8,5 \times 10^8$	$7,4 \times 10^6$
Kobalt	,000018	$2 \times 10^9-10$	$7,6 \times 10^8$	$2,2 \times 10^6$
Lood	,000013	$1 \times 10^9-10$	$5,5 \times 10^8$	$9,3 \times 10^7$
Thorium	,0000068	$7 \times 10^{8-9}$	$2,9 \times 10^8$	$1,5 \times 10^6$
Tantalium	,0000023	$2 \times 10^{8-9}$	$9,7 \times 10^7$	$2,8 \times 10^5$
Uranium	,0000022	$2 \times 10^{8-9}$	$9,3 \times 10^7$	$1,1 \times 10^6$
Tin	,0000016	$2 \times 10^{8-9}$	$6,8 \times 10^7$	$5,8 \times 10^6$
Beryllium	,0000015	$2 \times 10^{8-9}$	$6,4 \times 10^7$	$8,9 \times 10^4$
Wolfram	,0000012	$1 \times 10^{8-9}$	$5,1 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$
Molybdeen	,0000011	$1 \times 10^{8-9}$	$4,7 \times 10^7$	$4,8 \times 10^6$
Antimoon	,00000045	$5 \times 10^{7-8}$	$1,9 \times 10^7$	$3,7 \times 10^6$
Kwikzilver	,00000008	$8 \times 10^{6-7}$	$3,4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^5$
Zilver	,000000065	$7 \times 10^{6-7}$	$2,8 \times 10^6$	$1,7 \times 10^5$
Selenium	,000000059	$6 \times 10^{6-7}$	$2,5 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$
Platina	,000000028	$3 \times 10^{6-7}$	$1,2 \times 10^6$	$1,3 \times 10^4$
Goud	,0000000035	$4 \times 10^{5-6}$	$1,5 \times 10^5$	$3,1 \times 10^4$
Bismuth	,0000000029	$3 \times 10^{5-6}$	$1,2 \times 10^5$	$9,4 \times 10^4$
Tellurium	,00000000036	$4 \times 10^{4-5}$	$1,5 \times 10^4$	$6,2 \times 10^4$



MIMIC<sup>3)</sup>, tonen aan dat voor de meeste elementen tussen 0,01 en 0,1% van hun hulpbronnen in de bovenste 2,5 km van de *continentale aardkorst*<sup>4)</sup> in voldoende geconcentreerde vorm voorkomt om met de huidige technieken te kunnen worden gewonnen tegen minder dan 2 - 3 maal hun gemiddelde prijs, uitgedrukt in 1970 US \$ (1 oz goud = US \$ 35,00).

Tabel 3 toont de aldus afgeleide reserves en hulpbronnen voor een aantal industriële elementen en vergelijkt deze met de door Erickson [18] door extrapolatie afgeleide reserves tot een diepte van 1 km, alsmede met de op conventionele wijze door metingen bepaalde aangetoonde reserves van deze elementen.

Een andere — en meer illustratieve — vorm van presentatie is die van Figuur 4. De totale hulpbronnen, uitgedrukt in <sup>10</sup>log tonnen metaal, zijn hierop uitgezet tegen de clarke waarden, uitgedrukt in <sup>10</sup>log delen per miljoen (ppm). Deze totale hulpbronnen zijn verdeeld in latente hulpbronnen (100%), potentiële reserves (tot 0,1%) en reserves (tot 0,004%). Hierop geprojecteerd zijn de reserveschattingen voor een aantal metalen, rekening houdend met de reeds geproduceerde hoeveelheden. De reserves zijn onderverdeeld in aangetoonde reserves (vol getrokken lijnen) en afgeleide reserves (onderbroken lijnen). Afzonderlijk hierop geprojecteerd is de grootte van de aangetoonde reserve. Voor oudere mijnbouwindustriën is de cumulatieve productie groter dan de omvang van de aangetoonde reserves en de potentiële groeimogelijkheden voor deze industriën lijken beperkt (Au, Ag, Hg, Sn, Pb). Voor een aantal andere industriën (Sb, W, Cu, Zn, Mn) zijn de aangetoonde reserves van dezelfde orde van grootte als de cumulatieve productie. Afhankelijk van de omvang van de afgeleide reserves bestaan er nog belangrijke groeimogelijkheden voor deze industriën. Tenslotte zijn er een aantal industriën waarvoor de cumulatieve productie geheel in het niet valt in verhouding tot de grootte van de aangetoonde en afgeleide reserves (Pt, Th, Ti, Fe, Al). Het zijn vooral deze laatste industriën die mijnbouwkundig-economisch als zeer jong moeten worden gezien en waar de beste groeimogelijkheden bestaan<sup>5)</sup>.

Het zou tamelijk zinloos zijn dit indrukwekkende, maar voorlopig toch oncontroleerbare potentieel te betrekken in overwegingen voor een grondstoffenbeleid op lange termijn. Eerst dient de geldigheid van het log-binomiale model, eventueel gemodificeerd met de bo-

vingenoemde logistische transformatie, door onafhankelijke en controleerbare waarnemingen te worden bevestigd.

Een in 1963 bij goed bekende geologische omstandigheden uitgevoerd geochemisch onderzoek van het Oslo-gebied in Noorwegen heeft aangetoond dat de in dit gebied gevonden waarden voor de gemiddelde concentratie en het specifiek ertsvormend vermogen van een groot aantal elementen niet alleen grote overeenkomst vertonen met de clarkes en de uit de aangetoonde reserves berekende waarden van het specifiek ertsvormend vermogen, maar tevens dat de hierbij gevonden verschillen kenmerkend zijn voor het erts-genetisch karakter van dit gebied. In dit opzicht blijkt het log-binomiale model duidelijk superieur in vergelijking met het naverwante en bij geochemische onderzoeken meer gebruikte log-normale model van elementverdeling [28, 29].

Deze waarneming zou van groot algemeen belang kunnen blijken voor de ontwikkeling van snelle en billijke methoden voor een vroegtijdige inventarisatie van het minerale potentieel van grote gebieden zoals bijvoorbeeld de Europese Gemeenschap en de hiermee geassocieerde landen. Meer in het bijzonder kunnen met behulp van dit model verbeterde methoden worden ontwikkeld voor gebruik te zamen met geologische en geofysische, eventueel met satellietwaarnemingen gecombineerde, methoden bij de opsporing van gunstige exploratiegebieden waar geen dagzomende of oppervlakkige mineralisaties worden aangetroffen.

### 3.2. Prijsontwikkeling op lange termijn van minerale grondstoffen

Ook voor de prijsontwikkeling van minerale grondstoffen op lange termijn is de hiervoor beschreven conceptie van het log-binomiale model van elementverdeling in de aardkorst van belang. Het is gebleken dat de gemiddelde onderlinge prijsverschillen tussen een groot aantal mijnbouwproducten tot 1971 binnen een marge van ongeveer 30% werden bepaald door de clarke van een element en het uit de aangetoonde reserves berekende specifiek ertsvormend vermogen. Dit verband, dat oorspronkelijk werd vastgesteld voor de elementen koper, zink, lood en goud, werd gebruikt voor het bepalen van een richtprijs voor uraniumconcentraat [14]. Figuur 5 illustreert dit verband. De diagonale regressielijnen geven hierbij de theoretisch berekende prijzen in US \$ (waarde 1970) als functie van de clarke van een element en zijn specifiek ertsvormend vermogen. Later werd dit verband bevestigd voor een groot aantal andere elementen, waaronder kwikzilver [30], fosfor, fluor, tin, chroom en de metalen van de platina groep [31].

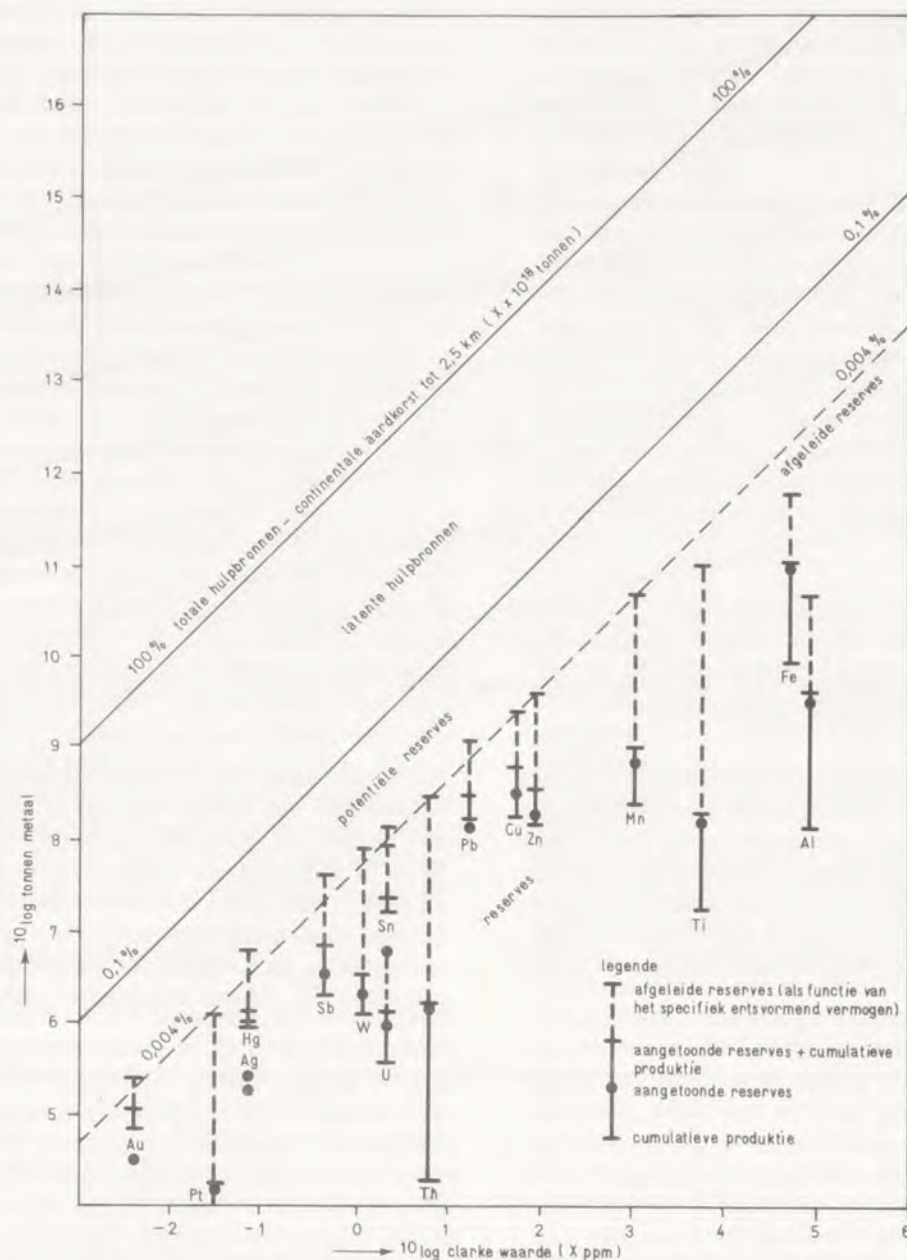
De betrekkelijk geringe verschillen tussen de aldus berekende richtprijzen en de werkelijk waargenomen gemiddelde prijzen op langere termijn zijn over het algemeen kleiner dan de normale prijsfluctuaties van een

<sup>3)</sup> MIMIC = Mining Industry Model for the Inventorisation and Cost evaluation of mineral resources [26].

<sup>4)</sup> Alleen hiervoor kunnen de bestaande gegevens met voldoende recht worden veralgemeend.

<sup>5)</sup> Men zie voor meer gegevens: J.W. Brinck; Critical parameters for the production, depletion and substitution of mining resources - A horizon beyond the Limits to Growth. Te publiceren in: *Geologie en Mijnbouw*, No. 3/4, 1976.





Figuur 4. Omvang van de diverse categorieën hulpbronnen voor een aantal metalen, in samenhang met hun clarke-waarde.

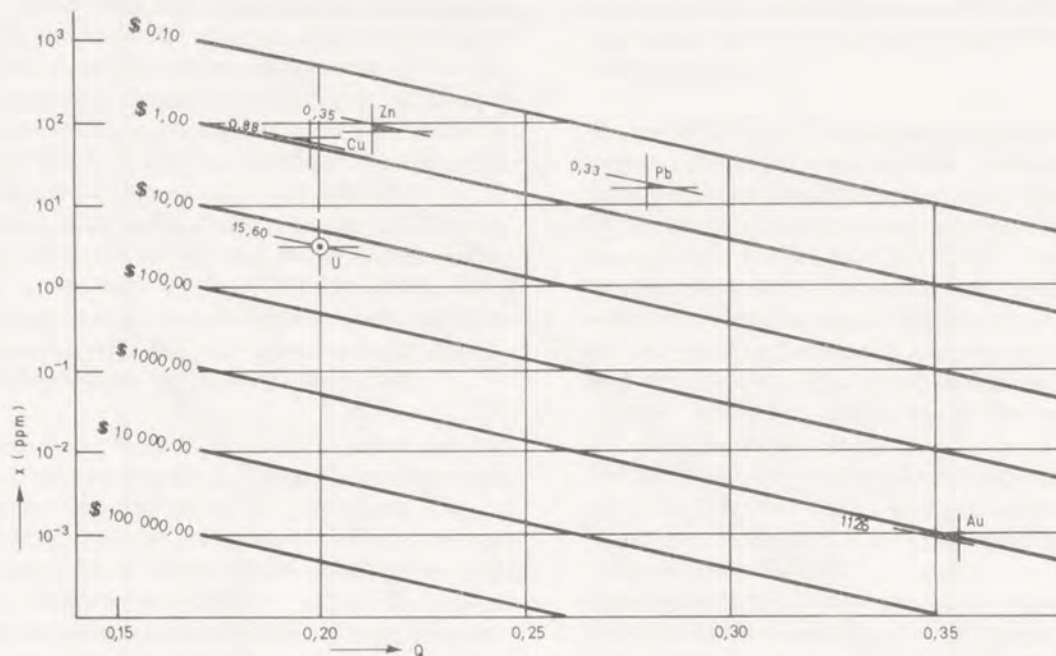
grondstof op korte termijn. Zij kunnen ten dele worden verklaard uit intrinsieke verschillen in winningskosten, alsmede uit verschillen in industriële rijpheid van de betrokken takken van de mijnbouwindustrie. Gezien in het licht van onderlinge prijsverschillen tussen grondstoffen die 4 1/2 decimale ordes van grootte bestrijken zijn zij verwaarloosbaar klein. Hierdoor vormen deze prijsverhoudingen tussen verschillende minerale grondstoffen een waardevol referentiekader voor het waardebegrip in onze technologische maatschappij, die voor een belangrijk deel afhankelijk is van het gebruik van deze grondstoffen.

Rekening houdend met een geleidelijke uitputting van bepaalde hoogwaardige hulpbronnen, alsmede met onvermijdelijke veranderingen in vraag en aanbod, zullen deze bijna geheel geologisch bepaalde gemiddelde prijsverhoudingen slechts langzaam verander-

ren. Grondstoffen met een hoge waarde van het specifiek ertsvormend vermogen zullen over het algemeen de tendens vertonen relatief duurder te worden t.o.v. die met lagere waarden. Figuur 6 illustreert dit verband, waarbij de statistische prijseenheid is gedefinieerd als de door berekening gevonden richtprijs voor een bepaald mijnbouwprodukt [32]. De aangegeven ertsreserves en winningskosten voor de verschillende metalen komen overeen met de toestand en technologische ontwikkeling van omstreeks 1970.

Elementen met een hoog specifiek ertsvormend vermogen worden gekenmerkt door hun optreden in slechts enkele minerale provincies, waarbij één enkele provincie of district meer dan 30% van alle bekende reserves kan bevatten (kwikzilver, goud, chroom, tin, lood en, door analogie, aardolie). Hiervoor kunnen en zullen politiek-economische factoren dan ook een

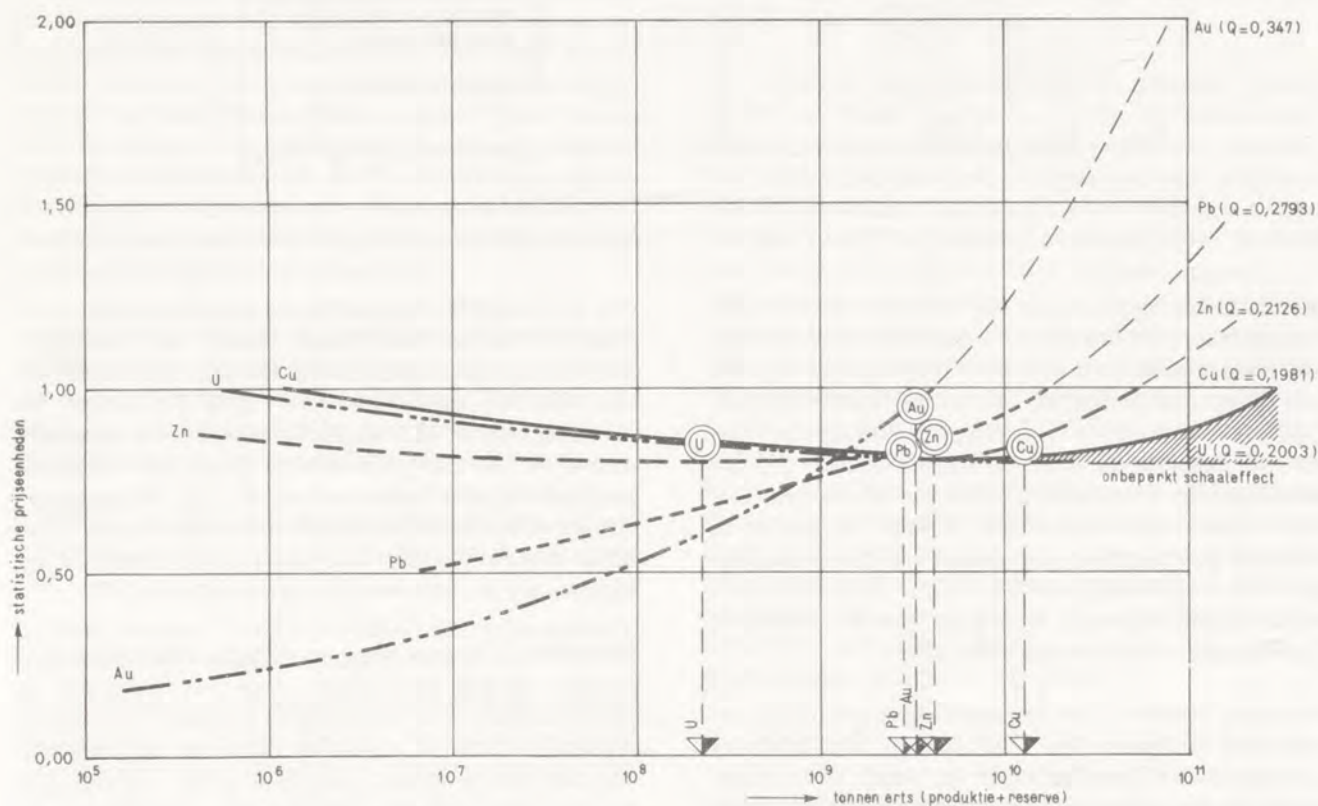




**Figuur 5.** Gemiddelde prijzen in US \$ van mijnbouwprodukten tot 1971 per kg metaal als functie van de Clarke (X) en het specifiek ertsvormend vermogen  $Q$  ( $\alpha < Q < 1$ ) [24].

veel belangrijker rol spelen dan voor elementen met een meer homogene verdeling zoals bijvoorbeeld ijzer en aluminium, waarvoor een groot aantal alternatieve bevoorradingsbronnen bestaat of kan worden ontwikkeld. Een aantal elementen met een specifiek ertsvormend vermogen van omstreeks 0,2 (koper, uranium, zink, fosfor, mangaan) neemt hierbij een tussenpositie in.

Het is inmiddels wel duidelijk dat de recente prijsontwikkelingen van bijvoorbeeld goud, aardolie en fosfaaten, beslist niet, bijna van de ene dag op de andere, latente of submarginale hulpbronnen van deze grondstoffen in hun reserves hebben gebracht. Hoewel de huidige (o.a. monetaire) ontwikkelingen een zinvolle voorspelling t.a.v. absolute prijsontwikkelingen voor grondstoffen vrijwel onmogelijk maken, mag toch



**Figuur 6.** Prijzontwikkeling op lange termijn van koper, uranium, zink, lood en goud ( $Q$  = ertsvormend vermogen).



worden verwacht dat met de her-invoering van een werkelijk internationaal aanvaardbare, officiële waardestandaard, de delfstoffenprijzen, gecorrigeerd voor inflatie en eventuele veranderde markt- en politiek-economische machtsverhoudingen, zich weer bij het natuurlijk bepaalde prijspatroon aan zullen passen. De clarke en het specifiek ertsvormend vermogen bepalen hierbij waarom bijvoorbeeld een gewichtseenheid goud ongeveer dertienhonderd maal duurder moet zijn dan eenzelfde eenheid koper. Technologische en politiek-economische voorwaarden bepalen dan of dit in werkelijkheid slechts duizend maal, zestienhonderd maal, dan wel een willekeurige waarde tussen deze uitersten zou moeten zijn. Bij deze fijnregeling zullen veranderingen in energiekosten en maatregelen met betrekking tot milieubescherming, ruimtelijke ordening, het hergebruik van materialen, spreiding van de bevoorradingsbronnen, voorraadvorming en internationale afspraken en garanties in verband met de veiligheid van de voorziening een belangrijke, voor verschillende produkten variërende invloed uitoefenen op de produktiekosten en op de bepaling van mogelijke wingebieden voor deze grondstoffen. Voor zover zulke veranderingen, hetzij tengevolge van een duidelijke politieke of technische noodzaak, dan wel van een relatief vrijere keuze met betrekking tot alternatieve sociale belangen, kostenverhogend zullen werken moet toch wel worden verwacht dat zulke verhogingen uiteindelijk ook in de prijs tot uiting zullen komen.

#### *Mogelijkheden tot kostenverlaging*

Afgezien van ruwe, zowel produktie- als welvaartsverstorende maatregelen en reacties, zoals bijvoorbeeld een drastische vermindering van de vraag om hiermee de prijs van een bepaald produkt naar omlaag te dwingen, zijn er ook een aantal doelbewuste ontwikkelingen mogelijk die deze prijsverhogingen tegen zullen gaan. Op het vlak van het materialenverbruik zullen bezuinigingen door verbeterde toepassingen en het hergebruik van materialen eventuele kostenstijgingen ten gevolge van de geleidelijke uitputting van bepaalde grondstoffen belangrijk kunnen vertragen. Bij de mijnbouwindustrie zelf kunnen de kostenverlagende ontwikkelingen in twee groepen worden onderscheiden.

De eerste groep betreft de verbetering van winningsmethoden, waarbij de mijnbouwer over het algemeen het motief van direct realiseerbare winst bij bestaande afzettingen voor ogen zal hebben. Kostenverlagende ontwikkelingen op dit gebied werken welvaartverhogend, zonder hierbij in eerste instantie de richtprijs van het produkt te veranderen. Daarnaast brengen ze marginale hulpbronnen van bestaande afzettingen in de reserves en verlengen aldus de levensduur van de toch altijd eindige grondstoffenvoorraden. Dit laatste alleen al zou bij ieder materialen- en grondstoffenbeleid voldoende reden moeten zijn zulke ontwikkelin-

gen met alle ten dienste staande middelen te ondersteunen. Hoewel zulke verbeteringen geleidelijk door de gehele industrie zullen worden overgenomen en daardoor op de langere duur prijsdrukkend zullen werken is het ondernemersbelang bij deze methodeverbeteringen duidelijk.

De tweede groep van kostenverlagende ontwikkelingen betreft de opsporing van minerale afzettingen en de bepaling van het minerale potentieel. Hoewel ook hier de ondernemers- en gemeenschapsbelangen voor een groot deel parallel lopen, verschaft het mechanisme van de markteconomie hier toch niet het vereiste kader voor een optimaal grondstoffenbeleid op lange termijn. De reeds eerder genoemde opsporingscycli, waarbij prijsfluctuaties van bepaalde grondstoffen de opsporingsactiviteit bepalen, zijn in wezen verkwistend en werken daardoor kostenverhogend.

Waar de individuele ondernemer er belang bij heeft een zo groot mogelijk aandeel in de reserves te verkrijgen of te behouden en daarom de ontwikkeling van efficiënte en goedkope opsporingsmethoden voor eigen gebruik zal toejuichen, ligt het groepsbelang duidelijk bij het handhaven van een reserveniveau waarbij de prijzen de rentabiliteit van de industrie kunnen garanderen.

Het optimale rendement van een afzetting, d.w.z. de grootst mogelijke verhouding tussen de opbrengst (na aftrek van kosten) en de investering, wordt bepaald door de verhouding tussen opsporings- en ontwikkelingskosten enerzijds en de benodigde kapitaalsinvestering om de ontginning mogelijk te maken anderzijds. Dit optimum, afhankelijk uiteraard van conjuncturele invloeden zoals de rentevoet en de ontwikkeling van de vraag, blijkt zeer sterk te worden beïnvloed door besparingen bij de opsporing en ontwikkeling.

Daar hierbij de ondernemers- en gemeenschapsbelangen duidelijk dezelfde zijn zou het in de doelstellingen van een voorzieningsbeleid moeten liggen besloten deze opsporings- en ontwikkelingskosten met alle ten dienste staande middelen te drukken, zonder hierbij echter de reservepositie en daardoor het prijsniveau op directe wijze te beïnvloeden.

Hoewel op een willekeurig nationaal niveau fiscale of andere steunmaatregelen hierbij alleen al voldoende kunnen zijn om bepaalde marginale afzettingen economisch winbaar te maken, lijkt de beleidstaak toch veel eerder te liggen in het verbeteren van opsporingsmethoden en het verzamelen van basisinformatie betreffende de geologie en de verdeling van minerale concentraties, niet alleen voor het nationale grondgebied maar ook op mondiaal niveau. Waar dit laatste een zaak van internationaal gemeenschappelijk belang is, lijkt een nauwere samenwerking in het kader van de Europese Gemeenschappen, de OESO en andere internationale organisaties op dit terrein een voor de hand liggende zaak.



## 4. Betekenis van het bedrijfsleven in het materialensysteem

door dr. J. Brug

### 4.1. Inleiding

Gezien vanuit het bedrijfsleven zijn enkele — in voorgaande bijdragen veelal reeds genoemde — gegevens en verbanden van bijzonder belang. Dit zijn vooral de volgende.

1. Zowel de kweekbare als de minerale grondstoffen ontleen hun betekenis aan de mogelijkheid van verwerking tot voor de mens nodige en nuttige producten.
2. De mate van verbruik en toepassing wordt veelal bepaald door een compromis tussen eigenschappen en prijs. De feitelijke inhoud van de — lokaal of regionaal — gehanteerde compromissen is niet statisch.
3. Veranderingen vloeien voort uit technologische ontwikkelingen, uit veranderingen in de gestelde eisen, uit veranderingen in prijzen.
4. Gezien vanuit de grondstoffen wordt hun verbruik niet alleen beïnvloed door verbreding en verdieping van de markt, maar ook door de veranderingen in het aanbod (ontdekking, winning, techniek, concurrentie).
5. In een beperkt aantal gevallen heeft een grondstof heel bijzondere eigenschappen, die het bestaan van de er uit vervaardigde producten mogelijk hebben gemaakt. Vervanging kan dan het resultaat zijn van wetenschappelijk onderzoek, dat tot producten voert die de functie van de vroegere kunnen overnemen.
6. In de eindvorm voor de verbruikers blijken de meeste producten te zijn opgebouwd uit meerdere grondstoffen (c.q. materialen). Veelal wordt een grondstof ook toegepast in meerdere eindproducten.

### 4.2. Belangrijke factoren en verbanden

Het eindresultaat van de verschuivingen tengevolge van technologische ontwikkelingen en veranderingen van technische en maatschappelijke eisen wordt gemaskeerd door verbruiksveranderingen ten gevolge van bevolkingstoename en welvaartsverandering. Het totaalbeeld van optredende verschuivingen wordt bovendien nog beïnvloed door een aantal andere factoren. Men denke bijvoorbeeld aan risico's samenhangend met oogst of politiek-economische situatie, verschillen in energieinhoud, verschillen in looninhoud. Vergelijking van voorspellingen van grondstofverbruik gemaakt in de V.S. ten tijde van de Korea-crisis met het werkelijke verbruik in 1974 illustreert de invloed van de aangeduide verschijnselen (Tabel 4).

Deze afwijkingen over een periode van ruim twintig jaar zijn het resultaat van lokale of regionale frictieverschijnselen tengevolge van schokmatige veranderingen

Tabel 4. Werkelijkheid en verwachting van de groei van het verbruik van minerale grondstoffen in de VS na 1950<sup>1)</sup>

	Werkelijke stijging in verbruik (%) 1950-1972 <sup>2)</sup>	Verwachte stijging in verbruik (%) 1950-1975 <sup>3)</sup>
Ruw ijzer	38	54
Chroom	16	100
Kobalt	71	344
Mangaan	41	50
Molybdeen	140	170
Nikkel	59	100
Wolfram	114	150
Antimoon	6	81
Bauxiet	362	291
Koper (primaire)	30	43
Lood (primaire)	15	53
Magnesium	473	1.845
Kwik	7	25
Platina	214	30
Tin (primaire)	-25	18
Titaan	91	324
Zink (primaire)	17	39
Vloeijspaat	217	187
Fosfaat	207	150
Potas (kaliumcarbonaat)	241	150
Zwavel	97	110
Steenkool	5	54
Ruwe aardolie	135	109
Aardgas	282	142

<sup>1)</sup> Bron: R.N. Cooper; Resources Policy, 1975 p. 195. De cijfers zijn behalve voor aardolie (bbl) en aardgas (m<sup>3</sup>) gebaseerd op tonnen.

<sup>2)</sup> Gemiddelde groei Bruto Nationaal Produkt (BNP), gecorrigeerd voor inflatie, 3,6% per jaar.

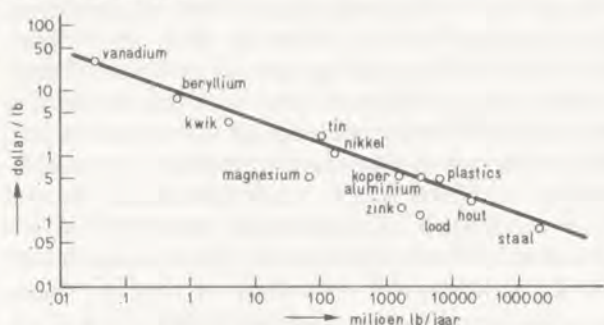
<sup>3)</sup> Projectie van de presidentiële "Commissie-Paley", benoemd door Truman in 1951. De commissie nam een gemiddelde voor inflatie gecorrigeerde groei van het BNP aan van 2,5% per jaar.

gen door nieuwe ontdekkingen van voorraden, nieuwe technologieën (kunststoffen), speculatieve prijsvorming (koper) of incidentele calamiteiten als misoogst, embargo, staking en politieke instabiliteit en verschillen in intensiteit van inflatie en economische groei. Sommige van deze effecten verdwijnen weer snel (prijzen oud papier). Andere zijn blijvend (sluiting mijnen in Limburg, aluminium i.p.v. koper voor stroomgeleiding).

De betekenis van goede en continue korte en middellange termijn voorspellingen voor grondstoffenverbruik kan moeilijk voldoende worden onderstreept. Het belang hiervan ligt niet alleen bij een optimale markt-informatie voor producenten als basis voor een productie- en investeringsbeleid. Ook voor de selectie van speerpunten voor wetenschappelijk en technisch onderzoek en voor formulering van een beleid bij afweging van totaal verbruik tegen bekende winbare of



te produceren hoeveelheden zijn goede dynamische voorspellingen onmisbaar. Het optreden van verschuivingen verhoogt het risico voor investeringen in de exploitatie van grondstoffen. Tegelijkertijd lokken investeringen in kostprijdsdaling en kwaliteitsverandering weer nieuwe verschuivingen uit. Voor elke grondstof is de weg van winning of produktie van het primaire materiaal tot uiteindelijk verbruik complex. Onderwerpen als winning, bewerking, transport, raffinage en omzetting tot halffabrikaten zijn daarbij aan de orde. Elk van deze onderwerpen kent zijn eigen ontwikkelingsmogelijkheden (zuiverheid, schaalgrootte, proces- en produktverbetering). Kostprijdsdaling en eigenschapsverbetering intensiveren de verbruiksontwikkeling in menging, omzetting, bewerking en montage. Figuur 7 illustreert de invloed die ontwikkelingen in voortbrenging en toepassing kunnen hebben naast andere factoren.



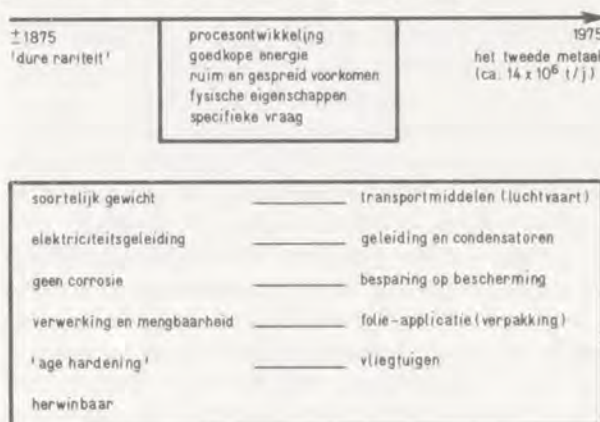
Figuur 7. Verband tussen verkoopprijs en verkochte hoeveelheid van een aantal metalen (Lloyd „Techniques of efficient research“, 1966).

De onderlinge relatie tussen winning en verbruiksontwikkeling heeft er o.m. toe geleid dat mijnbouwondernemingen investeerden in raffinage, halffabrikaten en eindprodukten. Ook het omgekeerde patroon dat producenten van eindprodukten investeren in raffinage en grondstofwinning is niet ongewoon. Naast deze risicospreiding en benutting van kansen en mogelijkheden door achterwaartse en voorwaartse integratie heeft ook de geografische spreiding van winningsbronnen, verwerking en markten tot spreiding van investeringen geleid. De beschikbaarheid van deskundige beoordeling bij initiatiefnemers speelt daarbij een belangrijke rol.

Verwantschap in voorkoming en verwantschap in technologie en technisch kunnen bij raffinage, verwerking en toepassing leidde er bovendien toe dat dezelfde ondernemingen in meer dan één grondstof werkzaam zijn. Ook bedreiging van continuïteit of van toekomstige groei door ontdekking van nieuwe grondstoffen stimuleren de concentratie van meerdere exploitaties in één onderneming.

De kennis-inhoud van raffinage en verwerking is globaal gesproken groter dan van winning. Dit, gecombineerd met het feit dat verbruiksontwikkelingen en verbruiksverschuivingen zullen worden geïnitieerd in sterk ontwikkelde industrielanden, hebben er als vanzelf toe geleid dat het importeren van grondstoffen door de industrielanden de hoofdstroom is. De infra-

structuur, het feit dat meerdere grondstoffen per produkt worden benut en de noodzaak van afstemming van kwaliteiten vormen sterke stimulansen voor grondstofraffinage en -verwerking in industrielanden. Daar komt nog bij dat juist in die markten de prikkels tot verbruiksverschuivingen ontstaan en de defensie tegen verbruiksdaling wordt georganiseerd. Men denke bijvoorbeeld aan de stimulering van organotinchemie bij dalend tinverbruik. Ook Figuur 8 geeft een illustratie in meer algemene zin.



Aluminium moest door hoge energie-inhoud en tegenaanvallen, ook door grote fluctuaties in vraag (oorlogsvliegtuigen) ups en downs ondergaan. Staal, kunststoffen, hout, koper blijven concurrenten.

Figuur 8. Globale weergave van aspecten en oorzaken van de spectaculaire voortschrijding van aluminium in de huidige grondstofkeuze.

Illustratief in dit verband is dat de gegroeide industriële export van landen in het Verre Oosten zijn basis vindt in eindverwerking van halffabrikaten en geraffineerde grondstoffen uit hoog ontwikkelde industrielanden. Nu vindt daar ook grondstofbe- en verwerking plaats (kunststoffen). Een interessant neven-aspect is dat in sterk geïndustrialiseerde landen het eerst de maatschappelijke en economische stimulansen voor afvalverwerking en recycling zullen ontstaan. Dit geldt ook voor herkenning en bestrijding van schadelijke ecologische en andere nevenwerkingen.

De sterke toename van specialisatie, de verhandelbaarheid van kennis en de autonome groei en de geografische spreiding daarvan leveren ook kansen op voor nieuwe ondernemingen. De neiging van industriële ondernemers om risico's te spreiden door de keus tussen kopen of zelf maken, het hebben van meer bevoorradingskanalen, integratie en diversificatie zijn andere stimulansen.

Het proces van dekolonisatie, gepaard gaande met politiek-economische bewustwording en het ontstaan van de groei van nieuwe verbruiscentra (Verre Oosten, Nabije Oosten, Z-Amerika), vormden aanzetten tot een bredere geografische spreiding. De toenemende afhankelijkheid van industrielanden van importen, het verschijnsel van sterke prijsfluctuaties voor sommige grondstoffen en veranderende opvattingen over



welvaartsverdeling vormen extra drijfveren. Dat daarbij ook ongewenste effecten als embargo's en kartels zich manifesteren is wellicht te betreuren, maar het is niet nieuw. Het feit, dat voor elk land vele produkten (en dus vele grondstoffen) nodig zijn en dat geen enkel land voldoende heeft van alle benodigde grondstoffen, is een gegeven dat slechts kan pleiten voor internationale samenwerking.

#### *De toekomst*

Toekomstige ontwikkelingen zullen zijn gekenmerkt door een doorgaande en wellicht versterkte verschuiving van de grondstofkeuze. Extra drijfveren vormen daarbij de sterke stijging van energieprijzen en op handen zijnde veranderingen in grondstoffen voor energie-productie. Hogere milieu-eisen en prijsontwikkeling in de leveranciers-landen spelen ook een rol.

Een andere — zeer gewenste — toekomstontwikkeling moet zijn grotere voorzichtigheid m.b.t. winning en raffinage van delfstoffen, door de hoge kosten van kapitaal en arbeid, teneinde continu hoge bezettingsgraden van beschikbare capaciteiten te houden. Bij deze voorzichtigheid zullen eveneens de resultaten van studie van verbruik en eindigheid van voorraden een rol spelen.

Het is duidelijk dat in het kader van het bovengeschetste beeld Nederland moet worden gekenmerkt als grondstofarm, zowel voor de vernieuwbare als niet vernieuwbare grondstoffen. Onze rol als handelsnatie, als verwerkende natie en als initiator van verschuivingen is belangrijk groter. Zij is dynamisch van aard. Het feit dat in de toekomst het aantal grondstofarme landen — landen dus die grondstoffen of halffabrikaten zullen moeten importeren — alleen maar zal toenemen, maakt onze positie minder opvallend. Het sterke punt is en kan blijven het in direct contact zijn met verschuivingsinitiatieven en het genereren daarvan. Dit betekent een toenemende behoefte aan zo breed mogelijke materiaalkennis en bewerkingskennis en derhalve een intensivering van een aanwezige sterkte. Dat dit gepaard zal gaan met afstaan van productie en raffinage naar die plaatsen waar de grondstof is en kan worden verwerkt is een verschijnsel dat Nederland al kent in verband met betrekkelijk eenvoudige en arbeidsintensieve industrie (textielindustrie, leerindustrie, tuinbouw). Een voldoende vrij verkeer van goederen en kennis is voorwaarde voor een optimale bediening van de gebruikers naar hoeveelheid, kwaliteit en prijs.

In de werkelijke situatie is het naar voren brengen en stimuleren van de sterke punten van belang, naast de organisatie van de verdediging in zwakke situaties.

## **5. Materiaalgebruik door de consument**

door prof. dr. J.M. Dirken

### **5.1. Inleiding**

Allereerst een kort overzicht van enkele aspecten die al eerder aan de orde waren, maar die voor het onderwerp van deze paragraaf van speciaal belang zijn.

Grondstoffen, energie en milieu kunnen in onderlinge samenhang worden gezien als een systeem. Elk en tezamen hebben zij diep ingrijpende gevolgen voor technische, economische en sociale structuren. Door de gemiddelde deelhebber in de maatschappij — de consument — worden die drie aspecten echter niet als even belangrijk ervaren. De aard en mate van directe invloed op zijn welzijn is dan ook verschillend. In menig opzicht is de leefomgeving het hoogste goed. Energieverbruik staat in zekere zin voor vermindering van menselijke inspanning, tijd en aandacht. Grondstofgebruik is weinig meer dan middel tot welzijn. Deze volgorde in belang geldt ook wel bij de beschrijving van wat er aan elk van de drie kernaspecten problematisch is. Toch vormt het materiaalgebruik niet slechts problemen in afgeleide zin. Een fundamenteel probleem is de regionale (soms tijdelijke) beperktheid van de aanwezigheid van vele grondstoffen, en de mondiale beperktheid van enkele daarvan.

Met veel inspanning wordt de grondstof gewonnen en verder bewerkt tot materiaal en produkt. Dikwijls wordt het materiaal dan na — soms kortdurend — gebruik achteloos en onherwinbaar teruggebracht in het milieu. Dit is een riskant proces omdat wegen tot herstel worden afgesneden. In een groot en nog toenemend aantal gevallen is er zo sprake van potverteren van schaarse welzijnsmiddelen.

Het beschouwen in onderlinge samenhang van het gebruik van grondstof, energie en milieu dient om meer beheersing te verkrijgen van dat systeem. Ook is dat het geval bij globale analyses van de belangrijkste determinanten en ontwikkelingstendenzen bij materiaalgebruik. Daartoe is het nodig om meer verschijnselen in langer tijdsperspectief en in een breder geografisch gezichtsveld dan vroeger te plaatsen.

Dit vergt een andere wijze van denken: het meer omgaan met — o.a. lage — waarschijnlijkheden, met zwakke verbanden, en met minder goed definieerbare grootheden. Andere dan de traditionele fysisch-technische en economische eenheden en verklaringen moeten in rekening worden gebracht. Het gaat er om, met een bepaalde mate van (on)zekerheid — maar zo systematisch mogelijk — af te wegen welke effecten op langere termijn en over een breed terrein de huidige gewoonten en beslissingen betreffende materiaalgebruik zullen hebben. Optimaliseren op te korte termijn (minder dan 30 jaar bijv.) kan onomkeerbaar ongunstig of zelfs catastrofaal zijn voor de situatie op langere termijn. Hier schiet het marktmechanisme tekort.



De effecten op de menselijke behoeftenbevrediging dienen bij planning het zwaarst te worden gewogen. Dat houdt dus in dat het welzijn van de consument, zoals bepaald door het uiteindelijke produktgebruik, essentieel is. Ook is dan de directe toelevering van die welzijnsmiddelen door de producent van groot belang; of liever: door de bedenker van de „materiële functievervullers“, de ontwerper. Beiden hebben in het totale materiaalgebruik een sleutelfunctie. Daarop vooral zal in het volgende worden ingegaan.

## 5.2. Materiaalgebruik

Over het algemeen, zo blijkt uit veel studies, wordt een verdubbeling in de komende 30 jaar van het gebruik van primaire grondstoffen en van energie in de wereld waarschijnlijk geacht. Naarmate men meer vertrouwt op de menselijke redelijkheid en bestuurbaarheid, voorspelt men minder volgens een exponentieel accres en meer volgens de lijn van constante toename of zelfs volgens de logistische (S-) curve. Groei is te verantwoorden en ook deels onvermijdelijk wegens de groei van de wereldbevolking. Een even kritieke factor is evenwel welke positie — tussen bestaansminimum en huidige Noordamerikaanse overvloed — het gemiddeld niveau van materiaalgebruik zal gaan innemen.

Een drietal wezenlijke aspecten van het materiaalgebruik, welke in de toekomst in toenemende mate als een probleem zullen worden ervaren, zijn:

- de onevenredige verdeling over de wereld van grondstoffen, van produktie en van produkten;
- de beperktheid van de voorraden van een aantal grondstoffen;
- het ondoelmatige materiaalgebruik.

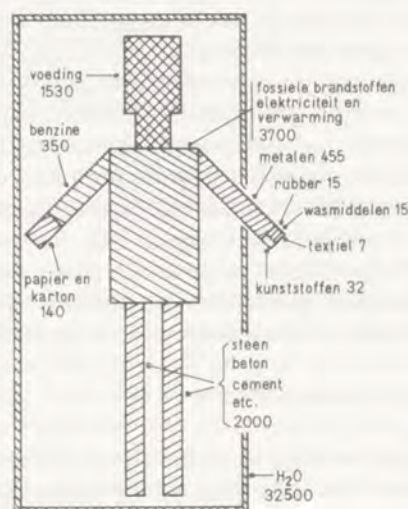
Deze aspecten worden hier wat nader bezien.

## Materiaalgebruik per hoofd

Roberts [33] schat de wereldgrondstofproduktie in 1970 en de primaire energie die hiermee is gemoeid (zie Tabel 5).

De percentages secundair materiaal werden geschat op basis van [35,36].

Het materiaalverbruik per hoofd ligt het hoogste in de VS (hun totaalverbruik is ca. 1/3 van het wereldverbruik). In 1972 gebruikte de Amerikaan gemiddeld 19 ton aan energiegrondstoffen (42%) en constructiematerialen (58%) [37]. Van deze laatste vormden zand en grind (36%), steen (32%), bosbouwprodukten (11%), ijzer (5%) en non-ferro-metalen (0,5%) de voornaamste bestanddelen. Figuur 9 geeft een soortgelijke schatting voor de gemiddelde Nederlander in de vorm van een „consumptiepop“. Hierin zijn ook voeding en water opgenomen.



Figuur 9. Jaarlijks verbruik van de gemiddelde Nederlander in 1970 (kg) [38].

Tabel 5. Schatting van het wereldverbruik van de voornaamste materialen en het energieverbruik daarvoor (1970)

	Verbruik (10 <sup>6</sup> ton)	Energie-inhoud (10 <sup>9</sup> J/ton)	Totale energiebehoefte (10 <sup>18</sup> J)	(%)
IJzer en staal	580	46,8 <sup>2)</sup>	27,1	76
Cement	550	8,3	4,2	12
Kunststoffen	24	54 <sup>3)</sup>	1,3	3,7
Aluminium	10	234 <sup>4)</sup>	2,3	6,5
Koper	7	43,2 <sup>5)</sup>	0,3	0,85
Zink <sup>1)</sup>	4	36 <sup>6)</sup>	0,15	0,4
Lood	4	34,2 <sup>6)</sup>	0,14	0,4
Totaal	1179		35,5	ca. 100

<sup>1)</sup> Excl. USSR.

<sup>2)</sup> Aanname: 40% secundair materiaal (28,8 x 10<sup>9</sup> J/ton); 60% uit primaire bron (57,6 x 10<sup>9</sup> J/ton).

<sup>3)</sup> Gebaseerd op een arbitraire verhouding van de verschillende stoffen zoals polyetheen, polyvinylchloride, synthetische rubbers, etc.

<sup>4)</sup> Aanname: 18% secundair materiaal (7,2 x 10<sup>9</sup> J/ton).

<sup>5)</sup> Aanname: gemiddeld kopergehalte van het erts 1,8%; 33% secundair materiaal (7,2 x 10<sup>9</sup> J/ton).

<sup>6)</sup> Gegevens van Makhijani en Lichtenberg [34]; 12% secundair zink; 30% secundair lood (beide: 7,2 x 10<sup>9</sup> J/ton).



Verhoging van het materiaalverbruik per wereldbewoner tot het Amerikaanse niveau is moeilijk voorstelbaar en lijkt bovendien onnodig als men bedenkt dat de gemiddelde Nederlander op ca. 1/3 tot 1/2 van dat niveau consumeert. Bovendien exporteren de VS een zeer grote hoeveelheid eindprodukten, zodat het hoge verbruik per hoofd aan minerale grondstoffen van de Amerikaan voor een deel anderen ten goede komt.

Duidelijk is natuurlijk, dat een uiteindelijke vergroting van de wereldbevolking tot bijv. 2 of 3 maal de huidige en een verhoging van het wereldverbruik per hoofd tot bijv. het Nederlandse niveau moet leiden tot een toekomstig wereldverbruik aan niet vernieuwbare minerale grondstoffen (materialen + energie) dat een aantal malen hoger zou zijn dan het huidige. Naast de zich opdringende vraag in hoeverre dit nodig of nuttig is voor het „wereldwelzijn“, is met deze eenvoudige constatering ook het belang en het potentieel van efficiënter en effectiever materiaalgebruik wel geïllustreerd. Goeller en Weinberg [39] maken weliswaar aannemelijk dat de technisch-economische implicaties t.a.v. energie, grondstoffen en milieu van een dergelijke situatie niet onoplosbaar behoeven te zijn, zij onderschatten evenmin het grote probleem van sociale en politieke herstructurering. De conclusie van het 8ste Wereld Mijnbouw Congres [40] dat het wereldgrondstoffenprobleem in de eerste plaats een politiek en psychologisch probleem is en pas daarna een technisch probleem, is daarmee in overeenstemming.

#### *Eindige grondstofvoorraden*

Op de natuurkundige aspecten van eindigheid van minerale hulpbronnen is door Brinck reeds ingegaan in een vorige paragraaf. Veel meer dan absolute eindigheid spelen de relatieve schaarsten een rol: regionale, al dan niet tijdelijke, eindigheden, waarvoor politieke, transport-technische of markt-economische verklaringen zijn te geven.

De mogelijkheden, bepaalde materialen te vervangen kunnen om verschillende redenen beperkt zijn; soms in absolute fysische zin wegens de unieke combinatie van eigenschappen, vaker echter wegens de afstemming van grote investeringen in transport, industriële technologie of in dagelijkse gebruiksapparatuur op bepaalde materialen (of energiedragers). In die zin kan men ook het begrip strategische materialen hanteren in een bepaalde regio: economisch en technisch van enig belang en moeilijk te vervangen. Zo stelt Roberts [41] dat voor West-Europa de volgende grondstoffen als strategisch kunnen worden beschouwd: chroom, platina, koper, wolfram, aluminium, uranium, lood, zink en wellicht ook: zilver, cadmium, kwik, tin, antimoon en kobalt. Dergelijke uitspraken dienen uiteraard te worden gebaseerd op verwachtingen over de ontwikkelingen in mijnbouw, materiaalkunde, produktontwerpen e.d., maar evenzeer over die in sociaal-economisch en politiek opzicht.

Die absolute of relatieve eindigheid en het al dan niet

strategisch zijn van bepaalde grondstoffen kan men ook benaderen met het begrip vervangbaarheid in fysische zin. Er kunnen redelijke speculaties worden gemaakt omtrent de vraag of bepaalde eigenschappen van schaarse elementen ook kunnen worden opgebracht door combinaties van overvloedige elementen, al dan niet via nieuwe processen of werktuigen. Zo bijvoorbeeld bespreekt Howland [42] de onvervangbare eigenschappen van helium: chemische inertie, extreem lage vloeistoftemperatuur en stralingsongevoeligheid. Deze eigenschappen zullen het in de nabije toekomst onmisbaar maken voor (kern-)energetische technologie. Omdat het marktmechanisme beperkt toekomstgericht is, worden de beperkte makkelijk winbare heliumvoorraden tegenwoordig als waardeloos bijproduct van gaswinning in de atmosfeer verspreid.

Het schaarse element kwik wordt door Goeller geanalyseerd [39] met als resultaat dat voor de huidige toepassingen, zoals biocide, verven, batterijen etc. vervangende oplossingen kunnen worden aangegeven. Bij verdere nuancering van de problematiek van de eindigheid van grondstoffen is het eveneens nuttig onderscheid te maken tussen vernieuwbare materiaalbronnen versus niet vernieuwbare. Op langere termijn bieden de eersten bepaalde perspectieven, zoals uitbreiding van de bosbouw en fabricage van polymeren uit plantaardig materiaal [43].

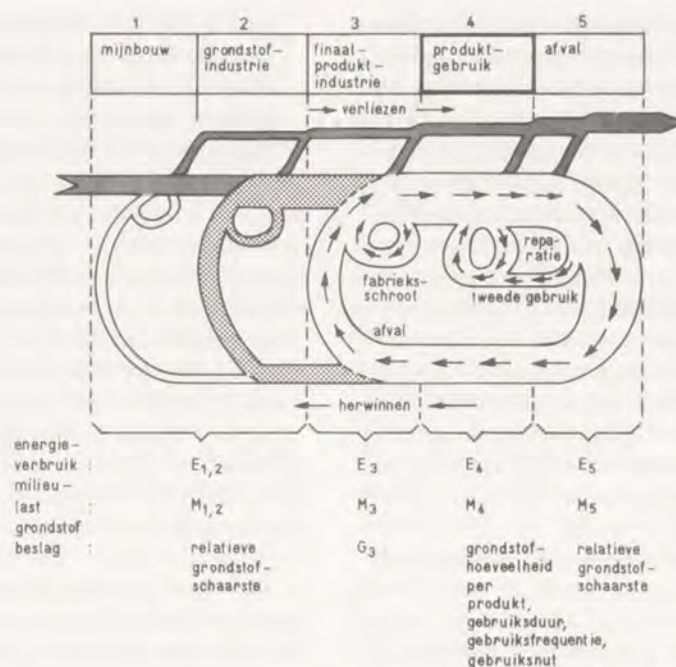
#### *Ondoelmatig materiaalgebruik*

Het eerder genoemde potverteren van schaarse welzijnsmiddelen heeft betrekking op de weinig respectvolle mentaliteit jegens de moederstoffen (materialen), namelijk die van opgraven, gebruiken en wegslijten. In de steentijd paste de gebroken vuistbijl wel overal in het landschap en rotte een verlaten hut snel weg. In een volgende fase konden mensen in een betrekkelijk lege wereld afvalhopen laten voor wat ze waren en steeds verhuizen. Deze verspilling en ondoelmatigheid is, op straffe van een primitieve wereld na ons, niet meer voort te zetten.

Niet alleen gaat het hier echter om materiaalgebruik als oorzaak van milieu- en energieproblemen, noch alleen om eindigheid en vervangbaarheid van materiaal, ook betreft het een onvolledig benutten van materiaalkwaliteit en kwantiteit bij fabricage en gebruik. Bij materiaalgebruik dient langzamerhand te worden gedacht in termen van kringlopen, in de zin van een materiaalstroom, die loopt vanaf winning en via grondstof-industrie en finaalprodukt-industrie naar gebruik en vandaar weer terug naar vorige fasen. Teneinde het systeem zo functioneel mogelijk te maken, is niet alleen de terugstroom nodig, doch eveneens zo efficiënt mogelijke transformaties in en tussen elke fase. In Figuur 10 wordt dit denkmodel voorgesteld.

Ofschoon er werkgelegenheid (en daarmee welvaart) is in elk van de vijf fasen, is toch de belangrijkste doelstelling van het gehele systeem gelegen in de vierde fase, die van het alledaags gebruik van de finale pro-





Figuur 10. Denkmodel van de materiaalstroom: fasering, verliezen, herwinnen en rendement.

dukten. Mede omdat de mijnbouw en grondstof-industrie over het algemeen aanzienlijk intensiever zijn dan de finaalproduktindustrie wat betreft energieverbruik [44], milieubelasting en grondstofbeslag, is het nodig het subsysteem 3 + 4 + 5 zo gesloten mogelijk te houden. De grondstoffen dienen dus via kortere of langere lussen te recirculeren en het zwarte deel, dat van primaire winning en verlies, dient zo gering mogelijk te worden gehouden. Het gaat naast deze „circulariteit” dus tevens om het optimaliseren van de looptijden van de massastromen, om de efficiëntie van de transformaties, om verbetering van materie-energiebalansen etc.

Verderop in deze paragraaf en in het volgende hoofdstuk zal op de rendementen nader worden ingegaan. Hier wordt volstaan met de constatering dat de (industriële) ontwerper in de finaalprodukt-industrie en ook de consument van de finale produkten elk een belangrijke sluisfunctie hebben in de materiaalstroom. Immers, de industriële ontwerper kan goeddeels de hoeveelheid in het bovenstroomse gebied bepalen [45] en hij heeft de belangrijkste invloed op de gebruiksduur en op het gebruiksnut.

Uit het model zou men ook kunnen aflezen dat de consument een belangrijke sluiswachter is; dit door het al dan niet aanschaffen en al dan niet wijs gebruiken van de produkten en de mate van zijn bereidwilligheid bij te dragen tot reparatie, herbruik en herwinning. In het volgende zal een omschrijving worden gegeven van die sluisfuncties; eerst die van de consument en later die van de industriële ontwerper. Daarbij zal naast een schatting van wat nu gebruikelijk is, ook getracht worden een aantal toekomstige, effectieve handelingen en maatregelen aan te geven.

### 5.3. De rol van de consument in materiaalbesparing

Hoe zou de gemiddelde consument invloed kunnen uitoefenen op de materialenstroom? Het gaat hier om de invloed op het rondgaande stuk van de fasen 3, 4 en 5 in Fig. 10 en dan vooral daar, waar het de drie voornaamste doeleinden van materiaalbesparing betreft: betere mondiale verdeling; bestrijden van eindigheid en schaarste; doelmatiger gebruik. Men kan dan onder meer de volgende vier theoretische mogelijkheden onderscheiden.

1. De consument weigert tot bepaalde aanschaffingen over te gaan, of vermindert de frequentie, waarmee hij bepaalde artikelen of diensten koopt. Dit past dus in het beeld van het vrije marktmechanisme, waarbij het aanbod van goed en dienst door kopers bewust wordt vergeleken en uitgekozen.
2. De consument verlengt de functionele bezitsduur van zijn bezittingen. Uit schaarse gegevens komt naar voren dat de technisch mogelijke levensduur in het merendeel der gevallen aanzienlijk langer is dan de periode, gedurende welke de consument het artikel bezit en gebruikt. Het gaat hier om zorgvuldiger hanteren, onderhouden en (laten) repareren en niet te snel menen dat men „welvaartsrecht” op een nieuw exemplaar heeft, zolang het oude nog redelijk functioneert. Langduriger materiaalbeslag ten bate van een functievervulling moet als een zeer effectief middel tot materiaalbesparing worden gezien (zie bijvoorbeeld [37, 41, 46]); immers het vertraagt de materiaalstroom.
3. De consument levert een bijdrage tot de herwinning van materialen. Daarbij kan men denken aan



het scheiden van soorten huisvuil, ofwel door het zelf te doen, ofwel door te betalen voor die verrichting. Het beheerster omgaan met en verwijderen van allerlei goederen in openbare ruimten, kan ook tot deze categorie worden gerekend. Een tussenform met de voorgaande categorie is het bevorderen van dat tweede gebruik (zie bijvoorbeeld [47]), waarbij oudere goederen, die nauwelijks meer hun primaire functie kunnen vervullen, zinvol voor een andere functie worden ingezet (bijv. versleten autobanden voor speeltuinconstructies).

4. De consument in zijn rol als staatsburger kan de wetgeving en maatregelen van overheidsbestuur beïnvloeden. Statuten en reglementen van organisaties, die de materiaalstroom kunnen sturen, kan hij vaak mede vormgeven.

### 5.3.1. De beperkte mogelijkheden tot consumenteninvloed

Voor de eerste drie van de genoemde manieren van uitoefenen van invloed op de materiaalstroom blijken ineffectief te zijn. Hoe staat het immers met het materiaalgebruik door de consument? Dat is veel gedifferentieerder dan het landelijk grondstoffenverbruik, omgeslagen per hoofd van de bevolking per jaar, dus dan de „consumptiepop“.

- Een groot deel van die landelijke waarden betreffen grondstoffen, waarmee de burger in zijn consumentenrol niets van doen heeft. Men denke aan allerlei industriële en civiele projecten.
- Een groot deel van het nationale materiaalverbruik betreft zaken, waarmee de consument wel direct contact heeft, maar die collectief bezit zijn of behoren tot andere organisaties dan de overheid. De rol van de consument is hierbij in hoge mate passief jegens het ontwerp en de gebruikswijze.
- Van het restant is verder weer een aanzienlijk deel wel bezit van de consument, maar is een materiaalkeus nauwelijks mogelijk geweest bij de aanschaf. Anderen hebben die keus gemaakt („tweedehands“ huis), of het marktaanbod kent slechts één materiaalvariant, al dan niet door een monopolie.
- Van het nu nog overblijvende kan ook weer worden geconstateerd dat veel materiaalgebruik van consumentengoederen bij aanschaf nauwelijks kenbaar is. Het gaat dan om het interieur van apparaten, om binnenleidingen, om het materiaal onder afwerkende deklagen.
- Van het laatste restje kan dan worden gesteld dat het consumentenbezit is, waarbij de materiaalkeus wel een rationeel onderdeel in de aanschafbeslissing zou kunnen uitmaken. De praktijk leert echter dat bijvoorbeeld bij binnenhuisinrichting, huishoudelijke apparaten, middelen voor vervoer en communicatie e.d. de aanschafbesluiten over het algemeen weinig zijn gebaseerd op de objectieve gegevens omtrent primaire functie, constructie en mechanisme of bedrijfszekerheid en levensduur. Juist voor overwegingen van materiaalkritische aard blijkt daarbij dan in slechts zeldzame gevallen

plaats te zijn. Het meeste bezit en dus ook materiaalgebruik „overkomt“ de gemiddelde consument en is maar in geringe mate het resultaat van individuele en objectieve afweging.

Verder gaande in de juist genoemde reeks, is het totale materiaalbeslag steeds geringer — de laatste post kan niet meer dan een paar procent van de consumptiepop uitmaken —, maar is de mogelijkheid van consumenteninvloed wel steeds groter. De werkelijke sluisfunctie in de materiaalstroom kan dus als zeer gering worden geschat. Er is echter wel ruimte voor groei door het meer realiseren van de theoretische mogelijkheden. De consument kan de materiaalstroom vertragen (levensduur), versmallen (minder variëteit van produkten aanvaarden), ontdeepen (minder produkten met excessief materiaalbeslag accepteren) en hij kan de bedding terug leiden (recirculatie).

Indien naast de duurzame gebruiksgoederen ook gegevens omtrent verbruiksgoed worden gesteld, wordt toch de indruk gewekt dat de bijdrage van de consument niet te verwaarlozen is. In Nederland is er bijvoorbeeld jaarlijks drie miljoen ton huisvuil, waarvan ongeveer 1/3 uit verpakking bestaat. Wat kraakwagens consumeren is nauwelijks bekend, wel suggereert dat aanbod dat de instelling tot repareren schaars wordt en dat bezitsvorming een vlottend bestand uitmaakt. Langduriger gebruik van lichtere en kleinere auto's kan een substantiële consumentenbijdrage betekenen<sup>6</sup>).

Als men afziet van macro- en bedrijfseconomische belangen en zich beperkt tot een gezinseconomische analyse, zal men wellicht tot de conclusie komen dat in het algemeen het materiaalgebruik te overvloedig, te kortdurend, te weinig ingesteld op primair nut en te individueel is. Staat dan vast dat op langere termijn bezien het ook macro-economisch geboden is om het materiaalgebruik selectiever, soberder, langduriger en collectiever te doen zijn? Hoe serieus dient de uitspraak van Harman [48] te worden opgenomen, dat tegen de „antihumane processen“ van kwantitatieve groei, van wildgroei in de innovatie, e.d. acuut een algemene „ecologische ethica“ geboden is en een radicale verandering bij overheid en industrie? Het lijkt waarschijnlijk dat het antwoord selectief dient te zijn: alleen radicale wijziging in een beperkt aantal sectoren, graduele wijziging in vele andere, geen wijziging in nog een aanzienlijk aantal overige sectoren en ongebreideld kunnen doorgroeien in een gering aantal resterende. De veranderingsprocessen zullen ook hier weer meer hun snelheidsbeperking vinden in sociaal-organisatorische en politieke factoren dan in de technische. In veel opzichten gaat het om een moeizame omschakeling van een mentaliteit. Het ziet er echter naar uit dat zelfs de consument met veranderde mentaliteit in zijn rol van koper en gebruiker slechts marginale verbeteringen kan teweegbrengen.

<sup>6</sup>) Voor meer gegevens omtrent hergebruik en afvalverwerking zie men de betreffende bijdrage in Hoofdstuk 3.



Wel zouden grote groepen van staatsburgers de landelijke materialenstroom aanzienlijk ten goede kunnen beïnvloeden. Een belangrijke voorwaarde voor een juist optreden van de consument en de burger blijft echter kennis omtrent materialen, over hun mogelijkheden en hun effecten.

### 5.3.2. Materialenkennis bij leken

De consument wordt in zijn alledaagse leven geconfronteerd met duizenden materiaalsoorten. Het aanbod van materialen wordt langzaam gevarieerder en vooral komt hij in aanraking met een groeiende diversiteit van „coatings” en „finishings”, van fineer en platteer. De apparatuur, die hij gebruikt, wordt ook intern complexer en naar materiaalgebruik minder overzichtelijk. De opvoeding en opleiding is weinig gericht op het onderscheiden van (oppervlakte-)materialen en bij het dagelijkse gebruik is er steeds minder gelegenheid om dit te leren.

Voor een leekgebruiker van een artikel betekent het materiaal weinig meer dan een beperkt aantal uiterlijke eigenschappen. In feite geldt dit ook wel voor de fysicus, maar die kent veel meer eigenschappen, waaronder die van veel algemener aard, en tevens ziet deze de minder evidente. De consument zal niet veel verder komen dan af en toe enkele van de door hem gekende eigenschappen afwegen tegen de primaire functievervulling, of met betrekking tot het uiterlijke vertoon, waaraan hij een sociale en/of affectieve waarde verbindt (heeft een consument eigenlijk recht op het materiaal van zijn bezit, of alleen op de functievervulling ervan?).

De materiaalkennis van leken mag dus gering worden geschat; er is wel door veelvuldig gebruik een leerproces gaande. Met huid- en lichaamszin worden, zij het weinig bewust, de vorm, het gewicht, de temperatuur, de textuur, hardheid en gladheid ervaren. Ook worden op basis van de visuele ervaring bepaalde patronen geleerd van wat aan kleur, vorm en reflectie bij elkaar pleegt op te treden. Zoals gezegd, wordt dit echter beperkt tot de uiterlijke verschijningsvorm en deze uiterlijkheid wordt steeds minder materiaalspecifiek. Een houtachtig uiterlijk kan bij nadere inspectie nog zeer vele verschillende materialen betreffen; goud kan er aan de buitenzijde op vele manieren uitzien en „het is niet alles goud wat er blinkt”.

Het is dan, achteraf gezien, evenmin verbazingwekkend dat onderzoek naar individuele constante voorkeuren voor specifieke materialen niet veel oplevert. Met het doel een extra voorspeller bij ambachtelijke beroepskeuze te vinden, trachtte Wiegersma [49] bij jonge mensen speciale „materiaal-affiliaties” te constateren; voor hout, ijzer, steen, wol e.d. Die voorkeuren bleken oppervlakkig te zijn, en weinig systematische samenhang met andere aspecten te vertonen. De meisjes vertoonden een lichte tendens tot voorkeur voor warmere en zachtere materialen; de jongens voor koudere en hardere. Materiaalkennis speelt in het dagelijks leven slechts een bescheiden rol. De voor-

noemde leerprocessen leiden wel tot vage associaties van materialen met bepaalde functies (eetbestek: metaal; meubels: hout). Deze bindingen kunnen ook weerstand oproepen bij een nieuwe materiaaloplossing en vertraging van de marktaanvaarding veroorzaken, of zelfs verwerping. Het kunststoffen eetbestek vindt nauwelijks ingang; plastic meubels hebben lange tijd nodig gehad om te worden aanvaard en dienen nu ook nog vaak een, gefotografeerd, bedrukt, of gewalst, houtig uiterlijk te hebben. Eveneens kan men voor sommige soorten van materiaal een algemene hoge of lage waardering aantreffen. Zo kennen we de „edele” metalen en edele stenen en is er de ongelukkige omstandigheid dat kunststoffen vaak minderwaardig worden bevonden, terwijl het toch te verwachten is dat hoogwaardige polymeren steeds meer dienen te worden gebruikt [50].

Min of meer in samenhang met die aangeleerde associaties, kennen we ook de modeverschijnselen. Zo herkent men al enige tijd een Rousseau-achtig „terug naar de natuur” in de opwaardering van wol, katoen, leer, hout, sisal, riet e.d. Deels daaraan verbonden is de hang naar historischer materiaalgebruik en zaken als speculaasplanken en plafondbalken van — nauwelijks herkenbaar — gespoten kunststof vormen daarop een producentenreactie. Ook vernoemenswaard is de teneur ten bate van „eerlijk materiaalgebruik”, verwijzend naar een door de Stijl en het Bauhaus aangezette voorkeur om de constructie en de mechanismen van gebruiksvoorwerpen niet te verbergen, maar zelfs een inzichtelijke en aangename bijdrage te doen leveren tot het uiterlijk ervan. Bij binnenhuisinrichting ziet men ook steeds meer dat een onderlinge afstemming wordt nagestreefd van uiterlijk materiaalgebruik: chroom en glas, of het domineren van donker naturel hout, of van bijna uitsluitend textiel, etc.

Over het algemeen betreft het hier kortstondige marktgolven, die passen in de jaarlijkse modelvernieuwing en in de „styling”, die meer op statuscommunicatie en omzet dan op wezenlijke belangstelling voor materialen zijn gebaseerd. Ze kunnen desalniettemin van wezenlijke sociale en economische waarde zijn. Als middel om materialen te leren kennen spelen ze echter nauwelijks een rol en in de totale materiaalstroom vormen ze bovendien slechts rimpelingen.

Het komt er dus in grote trekken op neer dat van de consument als koper en gebruiker, noch van de gemiddelde burger een genuanceerde materiaalkeuze kan worden verwacht. Hem ontbreekt de kennis en veelal ook de mogelijkheid tot inzicht. Energieverbruik en omgevingsvervuiling zijn waarschijnlijk eenduidiger voor hem.

### 5.3.3. De resterende rol van de consument

Mag dan de materialenkennis zo gering zijn dat het een kritische keuze van de consument onwaarschijnlijk maakt, toch blijft er voor hem een materiaalbesparende rol over. Die rol, welke men zou kunnen baseren op een soort van algemeen respect voor grondstof-



fen, is vooral te zoeken in de verlenging van de bezitsduur van goederen en in een hogere functiedichtheid per materiaalhoeveelheid.

Het eerste vooronderstelt onder meer dat bij de aanschaf het langdurig gebruik, het onderhoud, de reparatie en de vervanging van onderdelen in het oog worden gehouden. Als belangrijk principe voor alledaags economisch verkeer zal men meer doordrongen moeten zijn van het: „aankwastkosten (koop) vormen niet alle kosten”. Het impliceert dat service en reparatie weer een belangrijke sector van de werkgelegenheid zouden kunnen gaan vormen en dat toenemende doe-het-zelf activiteiten dat kunnen gaan aanvullen. Het betekent meer en gedetailleerder aanwijzingen voor gebruik, onderhoud en reparatie. Tevens zou men een positiever houding jegens oudere en tweedehands goederen wensen en meer inventiviteit betreffende het „tweede gebruik”. Meer weerstand bij de consument tegen de „cosmetic obsolescence”, dat is een uiterlijk, ontworpen op het weer gauw uit de mode zijn, zal slechts door veel opleiding en voorlichting kunnen worden opgebracht.

De rol van de consument om meer op de functie van goederen dan op het uiterlijk te letten, is eveneens een niet geringe eis. Maar bijvoorbeeld een geringe verlaging van de eisen t.a.v. het egale uiterlijk van hout zou een veelvoud aan bruikbare materiaalvoorraad opleveren. Een grotere functie-dichtheid per materiaalhoeveelheid verwijst naar een doelmatig technisch ontwerp, maar kan ook inhouden dat van individueel bezit meer wordt overgestapt naar collectief gebruik. Nogmaals zij benadrukt dat het hier niet gaat om een radicale verandering over de gehele gebruikslinie, maar om geleidelijke en haalbare nuanceringen.

Een extra moeilijkheid wordt wederom gevormd door de werking van het marktmechanisme. Producenten, die de preventie van milieu-vervuiling in de kostprijs van het produkt opnemen, zijn in het nadeel vergeleken met de producenten die hetzelfde produkt leveren zonder die post. Evenzo is het aannemelijk dat het goedkope, maar kortlevende en niet-repareerbare produkt, voordeliger in de markt ligt dan het duurdere, solide, repareerbare artikel, tenzij de consument goed geïnformeerd is.

Naast de specifieke voorlichting door wettelijke samenstellingsetiketten en door vergelijkend warenonderzoek, zullen veel algemene opleiding en voorlichting onmisbaar zijn. Inzicht bijbrengen, bijvoorbeeld ten aanzien van verpakking en transport, zal dienen te geschieden tegen de kracht in van de tendens naar momentaan reageren en naar comfort op korte termijn.

De resterende rol van de consument in de materiaalbesparing kan aanzienlijk zijn, maar vergt moeilijk door hem op te brengen offers. De hieraan complementaire oplossing is te vinden in overheidsmaatregelen, die de sluiswachter in de materiaalstroom van hem overnemen. Ook kan de technische ontwerper de materialenhuishouding in belangrijke mate meebeheer-

sen. Men zou de overheidsreglementering als een al dan niet vermijdbare tweede keus kunnen beschouwen. Immers, verstandige consumenten versus verstandige producenten maken een betere werking van het marktmechanisme mogelijk en een vrijer ondernemerschap en een zelfstandiger consumentenrol. De overheid blijft echter wel de grootste consument.

Een belangrijkere rol is weggelegd voor de industriële ontwerper. Hierop zal in Hoofdstuk 3 nader worden ingegaan.

## 6. Systematische verzameling van gegevens over de Nederlandse materialenhuishouding

door W. van Sorge en drs. H.K. van Tuinen

### 6.1. Inleiding

Om te kunnen komen tot een goed inzicht in de structuur van de Nederlandse materialenhuishouding dient men over bepaalde statistische gegevens te beschikken. Hoewel het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) de eerst aangewezen instantie lijkt om deze gegevens te verschaffen, blijken zij daar in de praktijk slechts in beperkte mate voorhanden te zijn. Dit hangt onder meer samen met de aard van de belangstelling voor dergelijke cijfers. Deze was tot voor kort voornamelijk gericht op die materialen, die „in guldens” belangrijk zijn (zie paragraaf 6.3.).

De CBS-bronnen van cijfermateriaal zijn vooral de publikaties over de buitenlandse handel en de industrie, met name de „Maandstatistiek voor de buitenlandse handel per goederensoort” (verder Maandstatistiek genoemd) en de „Produktiestatistiek”, die jaarlijks voor een groot aantal industriële bedrijfstakken worden gepubliceerd. In deze publikaties vindt men gegevens over de — vanuit economisch gezichtspunt bezien — belangrijkste materialen. Deze gegevens komen echter niet volledig tegemoet aan een meer algemeen gerichte belangstelling, zoals die recentelijk is gegroeid in samenhang met de vraagstukken van het milieu en het toegenomen besef van de eindigheid van de grondstoffenvoorraden.

In de Maandstatistiek vindt men gegevens over de invoer en de uitvoer van de belangrijkste materialen. De goederenindeling is gebaseerd op een internationale classificatie, de Brusselse Tarief Nomenclatuur, die over de gehele wereld wordt gebruikt<sup>7)</sup>. De detaillering gaat in Nederland nog aanzienlijk verder. Per goederensoort (elke goederensoort heeft een eigen statistieknnummer) vindt men gegevens over fysieke hoeveelheden en over waarden. Als quotiënt van waarde en hoeveelheid kan de gemiddelde prijs („unit value”)

<sup>7)</sup> In elk januarinummer van de Maandstatistiek vindt men een uitvoerige toelichting op gebruikte nomenclatuur, wijze van waarneming en gehanteerde definities.



worden berekend. Aan deze „gemiddelde” prijs mag in sommige gevallen niet te veel waarde worden gehecht, omdat het goed waarvan hoeveelheid en prijs worden vermeld, niet altijd homogeen van samenstelling is. Men zie ter illustratie hiervan Tabel 6.

**Tabel 6.** Invoer van hefschroefvliegtuigen <sup>1)</sup> in 1972

Invoer	Stuks	Waarde (10 <sup>3</sup> gld)	„Gemiddelde” prijs (10 <sup>3</sup> gld)
Uit VS	1	4.509	4.509
Uit W.-Duitsland	2	81	40
Uit Frankrijk	6	4.137	690
Totale invoer	9	8.729	970

<sup>1)</sup> Statistieknummer 88253, Brusselse Nomenclatuur.

De Produktiestatistieken vermelden hoeveelheden en waarden van verkochte en ingekochte goederen, alsmede — voor zover toepasbaar — voorraadgegevens. In het algemeen zijn dit gegevens van de voornaamste producenten en verbruikers. Om praktische redenen wordt namelijk niet elk bedrijf geënquêteerd en wordt niet van elk bedrijf een uitputtende specificatie per goederensoort van zowel verkopen als inkopen verkregen. Voorts is de specificatie voor halffabrikaten en eindprodukten vaak minder gedetailleerd dan die voor de buitenlandse handel en gebruiken de enquêtes voor de diverse bedrijfstakken (nog) geen standaardgoederennomenclatuur.

Om een totaal overzicht van productie en verbruik te krijgen worden voor de niet of gedeeltelijk geënquêteerde bedrijven (meestal bedrijven met minder dan 10 of minder dan 50 personeelsleden) per goederensoort schattingen van productie en/of verbruik gemaakt. Dit kan de gegevens minder betrouwbaar maken. Bij de basisindustriën is dit geen groot probleem omdat zich daartussen zelden kleine bedrijven bevinden. Het niet gebruiken van een standaardgoederennomenclatuur heeft ook tot consequentie dat een materiaal moeilijk te volgen kan zijn in zijn weg van grondstof naar eindprodukt. De producenten van eindprodukten hebben vaak zoveel verschillende en uiteenlopende halffabrikaten nodig, dat het voor het CBS ondoenlijk is om naar relatief („in guldens”) onbelangrijke grondstoffen en halffabrikaten te vragen. Deze komen dan veelal terecht op rubrieken als „overige grond- en hulpstoffen” of „overige produkten”, gegevens die uiteraard alleen in waarden worden vermeld. De betrouwbaarheid van de gegevens kan hierdoor ongunstig worden beïnvloed.

#### *Enkele bij de gegevensverzameling ondervonden problemen*

In het kader van de huidige studie is een keuze gemaakt uit drie groepen grondstoffen: metalen, bouwmaterialen en papier/karton. Binnen elke groep zijn

van een aantal grondstoffen voor het jaar 1972 gegevens verzameld over de grondstof zelf, het ruwe materiaal en de halffabrikaten. De gedetailleerde gegevens zijn opgenomen in de volgende paragraaf (6.2.) Daar vindt men ook een korte toelichting op gebruikte definities en enkele voor de gekozen materialen specifieke statistische problemen en beperkingen. Meer in het algemeen geldt dat de gegevensverstrekking over grondstoffen en materialen wordt beperkt door meerdere factoren, met als voornaamste:

- de enquêtes zijn onvolledig, waardoor de gegevens in meerdere of mindere mate onbetrouwbaar kunnen zijn.
- de door fabrikanten aan het CBS verstrekte gegevens zijn om diverse redenen geheim en mogen alleen in combinatie met andere goederensoorten worden gepubliceerd, hetgeen de zinvolheid van de gegevens kan aantasten.

De tabellen in paragraaf 6.2 zijn gegeven in fysieke hoeveelheden en in geldswaarden. Alle waarderingen zijn gedaan tegen gemiddelde verkoopprijs (afproducentenprijs); daarbij zijn de voorraadmutaties niet gewaardeerd tegen de balanswaarden die door de bedrijven worden opgegeven, maar — overeenkomstig de definities van de Nationale Rekeningen — tegen de gemiddelde afproducentenprijs van de goederensoort in de beschouwde periode. Voor de invoer is de c.i.f.-waarde<sup>8)</sup> gebruikt; de uitvoerwaarde afproducent, dus niet de f.o.b.-waarde<sup>9)</sup>. Ook is, waar mogelijk, aangegeven door welke bedrijfstak(ken) de goederensoort werd verbruikt. Dat dit echter niet steeds mogelijk is volgt uit het voorgaande.

Uit de post „binnenlandse afzet” mag niet de conclusie worden getrokken, dat dit nu ook de werkelijke afzet aan de Nederlandse materialenhuishouding is van de betreffende goederensoort. Het gaat hier slechts om het verbruik in het binnenlandse productieproces. Een deel van de grondstoffen zal echter via de export van eindprodukten ons land verlaten. Omgekeerd komen met de invoer van eindprodukten grondstoffen Nederland binnen, waarvan we de kwantiteit niet kunnen meten. Juist het ingewikkelde en samengestelde karakter van vele eindprodukten, vooral in de sectoren machines en vervoersmaterieel, maakt dit probleem zo onoverzichtelijk.

## **6.2. Statistische gegevens**

### **6.2.1. Non-ferro-metalen**

De verzamelde gegevens hebben betrekking op alu-

<sup>8)</sup> c.i.f. = cost, insurance and freight. Onder c.i.f. wordt verstaan de waarde van verzonden, dan wel te verzenden goederen, verhoogd met alle kosten, waaronder vervoers- en verzekeringskosten, tot aan de grens van het importerende land.

<sup>9)</sup> f.o.b. = free on board. De f.o.b. waarde is de waarde van goederen, verhoogd met alle in het exportland gemaakte kosten tot aan de grens van het land, dus inclusief de laadkosten bij vervoer per schip.



**Tabel 7.** Invoer minus uitvoer voor Nederland van enkele non-ferro ertsen; 1950-1974 (10<sup>3</sup> ton)

	1950	1955	1960	1965	1970	1971	1972	1973	1974
Al <sup>1)</sup>	0,9	5,3	4,4	32,3	256,2	346,7	473,6	537,7	640,4
Ti	—	1,3	2,4	3,0	0,2	0,7	8,3	63,0	36,3
Zn	4,6	65,2	70,0	79,3	74,2	95,3	67,6	74,8	147,9
Sn	30,2	33,7	8,5	24,4	10,2	1,2	0,6	0,5	2,4

<sup>1)</sup> Om statistische redenen samengenomen met aluminiumoxyde en -hydroxyde.

minium (Al), nikkel (Ni), koper (Cu), zink (Zn), lood (Pb)<sup>10)</sup>, tin (Sn)<sup>10)</sup> en magnesium (Mg).

Van de overige non-ferro metalen zijn te weinig gegevens beschikbaar om met enig succes een metaalbalans te kunnen samenstellen. Voor een aantal metalen kunnen nog in- en uitvoergegevens uit de Maandstatistiek worden verkregen. De hoeveelheden zijn echter zo gering <sup>11)</sup>, dat er in de enquêtes voor de proquktie-statistiek zelden naar wordt gevraagd. Soms wordt er nog naar gevraagd in de chemische industrie (echter als verbinding in pigmenten en katalysatoren, waardoor de hoeveelheid metaal onbekend blijft) en in de elektrotechnische industrie (bijv. wolfram). De cijfers geven voorts geen exact beeld van het verbruik, omdat legeringen niet apart worden onderscheiden. Een gedeeltelijke uitzondering vormt koper: daar wordt afzonderlijk gevraagd naar messing en brons, maar daarmee zijn de gehaltes aan zink en tin nog niet bekend. Bovendien worden bij de in- en uitvoer messing en bronzen halffabrikaten samengeteld. In de keten grondstof — ruw metaal — halffabrikaat is onder grondstof steeds het erts of oxyde van het metaal verstaan (in het geval van aluminium is de grondstof bauxiet). Het verbruik van non-ferro ertsen in Nederland is in de loop der jaren sterk van karakter veranderd, zoals uit Tabel 7 blijkt.

Onder verbruik is hier verstaan invoer minus uitvoer omdat Nederland geen eigen grondstofproductie kent. Daarbij is afgezien van voorraadvorming, omdat het hier alleen gaat om een inzicht in de toename of afname van het ertsverbruik in de loop der jaren. Onder materiaal is verstaan het ruwe materiaal en schroot. Uit de tabellen 8 en 9 blijkt duidelijk dat het aandeel van schroot zeer groot kan zijn.

Onder val van schroot wordt verstaan het afval uit de eigen fabriek, onder opkomst het door de handel ingezamelde schroot. Voor de val is niet altijd een waarde-cijfer bekend; de hoeveelheid is dan gewaardeerd tegen de prijzen van de opkomst. In Tabel 10 is voor enkele metalen de val en opkomst apart gegeven.

<sup>10)</sup> De gegevens voor lood en tin zijn apart vermeld in respectievelijk de Tabellen 11 en 12.

<sup>11)</sup> Van enkele ertsen, zoals molybdeen- en zirconiumerts, is de invoer groot. Vrijwel alles wordt echter ook weer uitgevoerd.

**Tabel 8.** Verbruik in Nederland van ruwe non-ferro metalen; 1972 (10<sup>3</sup> ton)

	Al	Ni	Cu	Zn <sup>1)</sup>	Mg
Invoer	65,2	4,3	45,2	21,3	0,7
Produktie	187,2	2,3	10,5	59,5	—
Uitvoer	153,8	4,9	8,6	46,9	0,0
Verbruik binnen-land	100,2	1,8	47,8	38,2	0,5
Voorraadvorming	-1,6	-0,1	-0,7	-4,3	0,2

<sup>1)</sup> Uitvoer exclusief zinkpoeder en -schilfers.

**Tabel 9.** Verbruik (in 10<sup>3</sup> ton) in Nederland van schroot; 1972 („val“ en „opkomst“)

	Al	Ni	Cu	Zn	Mg
Invoer	20,7	3,8	7,6	13,4	0,6
Produktie + handel	76,2	0,9	48,2	9,3	0,4
Uitvoer	32,3	3,1	30,7	7,3	1,0
Verbruik binnen-land	65,0	1,4	24,8	5,6	—
Voorraadvorming	-0,4	0,2	0,3	-0,2	—

**Tabel 10.** Opkomst en val in Nederland in 1972 voor enkele non-ferro metalen (10<sup>3</sup> ton)

	Al	Ni	Cu	Zn	Mg
Opkomst	20,7	0,6	46,9	—	0,4
Val	55,5	0,3	1,3	9,3	—

Bij de gegevens voor lood (Tabel 11) en tin (Tabel 12) dient in aanmerking te worden genomen dat soldeer hierin niet is begrepen. In de enquêtes wordt weliswaar naar produktie en verbruik van soldeer gevraagd, maar er wordt geen onderscheid gemaakt naar soldeer op tin- en op loodbasis. Hoewel het geen grote hoeveelheden betreft, betekent het toch vooral voor lood een vertekend beeld van het verbruik.



**Tabel 11.** Productie, invoer, export en voorraadvorming van lood in Nederland; 1965-1974 (10<sup>3</sup> ton)

	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Productie van geraffineerd lood	16,0	14,9	16,2	17,5	14,8	17,6	23,7	24,0	27,3	26,4
Invoer (loodplaat) (+)	52,9	47,3	46,2	46,9	49,0	45,9	47,8	39,5	37,1	30,8
Export (loodplaat) (-)	9,5	10,2	10,7	16,2	13,6	14,1	17,3	21,4	24,3	19,5
Voorraadvorming	+ 6,4	+ 1,0	+ 0,8	- 5,5	+ 1,8	- 0,8	+ 0,4	+ 0,7	+ 0,2	- 2,9
Beschikbaar voor consumptie	53,0	51,0	50,9	53,7	48,4	50,2	53,8	41,4	39,9	40,6
Totaal verbruik (inclusief loodschroot)	63,0	63,0	61,8	70,2	69,8	68,7	74,0	73,0	75,0	71,0

De tabellen 13 en 14 geven voor 1972 meer gedetailleerde cijfers over de balans van respectievelijk hoeveelheden en waarden voor koper, aluminium, zink en nikkel.

Voor de halffabrikaten zijn de definities aangehouden, die in de enquêtes voor de produktiestatistiek worden gehanteerd. Daarin wordt onder halffabrikaten verstaan: platen, banden, strippen, staven, profielen, buizen (naadloos en gelast) en draad, zowel van het metaal zelf als van zijn legeringen. In Tabel 15 wordt een overzicht gegeven van het totaalverbruik van de halffabrikaten in Nederland voor het jaar 1972.

**Tabel 12.** Productie, invoer, uitvoer en verbruik van tin in Nederland; 1970-1974 (10<sup>3</sup> ton)<sup>1)</sup>

	1970	1971	1972	1973	1974
Productie van geraffineerd tin	6,3	0,8	—	—	—
Invoer	5,2	5,4	5,2	6,6	5,9
Uitvoer	5,4	2,9	0,8	1,6	1,1
Verbruik	5,5	5,0	4,9	4,8	4,4

<sup>1)</sup> Gegevens: Billiton Documentatie. Het verschil tussen enerzijds productie plus invoer en anderzijds verbruik plus uitvoer komt op rekening van voorraadvorming.

**Tabel 13.** Balansen van non-ferro metalen voor Nederland in 1972 (10<sup>3</sup> ton)

		Invoer		Productie		Uitvoer		Voorraadvorming		Binnenlandse afzet				
										Totaal		waarvan aan:		
												non-ferro	non-ferro	ov. metaal- en elektr. ind. overige
												industrie (SBI 33.4)	gieterijen (SBI 34.02)	verbruikers (SBI 34/35/36)
Koper	erts	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ruw	45	11	9	- 1	48	36	9	3	—	—	—	—	—
	schroot	8	48	31	—	25	24	1	—	—	—	—	—	—
	halffabrikaten	70	56	27	- 1	100	—	—	74 <sup>5)</sup>	26	—	—	—	—
Aluminium	alunaarde	462	—	21 <sup>1)</sup>	- 5	446	446	—	—	—	—	—	—	—
	ruw	65	187	154	- 2	100	90	8	2	—	—	—	—	—
	schroot	21	76	32	—	65	65	—	—	—	—	—	—	—
	halffabrikaten	61	89	62	- 1	89	15	—	12 <sup>6)</sup>	62	—	—	—	—
Zink	erts	79	10	11	- 3	81	81	—	—	—	—	—	—	—
	ruw	21	59	47	- 5	38	21	1	2 <sup>2)</sup>	16	—	—	—	—
	schroot	4	9	7	—	6	6	—	—	—	—	—	—	—
	halffabrikaten	7	10	2	- 1	16	2 <sup>2)</sup>	—	2 <sup>2)</sup>	16	—	—	—	—
Nikkel	erts	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ruw	5	2	5	—	2	—	1	1	—	—	—	—	—
	schroot	4	1	3	—	2	2 <sup>3)</sup>	4 <sup>4)</sup>	—	—	—	—	—	—
	halffabrikaten	4	3	4	- 1	4	2	—	1	1	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Incl. aluminiumhydroxyde.

<sup>2)</sup> Inbegrepen in de overige verbruikers.

<sup>3)</sup> Excl. zinkschilfers.

<sup>4)</sup> Verbruik door gieterijen begrepen in non-ferro industrie.

<sup>5)</sup> Waarvan elektrotechnische industrie 60.

<sup>6)</sup> De afzet aan de elektrotechnische industrie is inbegrepen in overige verbruikers.



**Tabel 14.** Balansen van non-ferro metalen voor Nederland in 1972 (10<sup>6</sup> gld 1972)

		Invoer		Productie		Uitvoer		Voorraad- vorming		Binnenlandse afzet	
										Totaal	
										waarvan aan:	
										non-ferro industrie (SBI 33.4)	non-ferro gieterijen (SBI 34.02)
										ov. metaal en elektr. ind. (SBI 34/35/36)	overig verbruik
Koper	erts	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ruw	158	35	30	-3	166	125	32	9	—	—
	schroot	21	129	80	1	69	66	3	—	—	—
	halfabri- katen	312	205	87	-4	434	—	—	303 <sup>3)</sup>	131	—
Aluminium	aluinaarde	78	—	12	-1	67	67	—	—	—	—
	ruw	118	332	264	-3	189	171	10	8	—	—
	schroot	18	106	31	-1	94	94	—	—	—	—
	halfabri- katen	221	335	210	-3	349	28	—	27 <sup>4)</sup>	294	—
Zink	erts	30	9	4	-2	37	37	—	—	—	—
	ruw	26	73	60	-6	45	25	1	1 <sup>1)</sup>	19	—
	schroot <sup>5)</sup>	7	—	6	—	—	—	—	—	—	—
	halfabri- katen	17	15	3	-1	30	1 <sup>1)</sup>	—	1 <sup>1)</sup>	30	—
Nikkel	erts	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ruw	43	21	34	-1	31	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	1 <sup>1)</sup>	31	—
	schroot	9	3	10	1	1	1 <sup>2)</sup>	2 <sup>2)</sup>	—	—	—
	halfabri- katen	30	13	19	-12	36	1 <sup>1)</sup>	—	1 <sup>1)</sup>	36	—

<sup>1)</sup> Inbegrepen in de overige verbruikers.<sup>2)</sup> Verbruik door gieterijen begrepen in non-ferro industrie.<sup>3)</sup> Waarvan elektrotechnische industrie 244.<sup>4)</sup> De afzet aan de elektrotechnische industrie is inbegrepen in overige verbruikers.<sup>5)</sup> .betekent gegevens ontbreken.**Tabel 15.** Gegevens omtrent halffabrikaten van non-ferro-metalen voor Nederland in 1972 (10<sup>3</sup> ton)

	Al	Ni	Cu	Zn	Mg
Invoer	60,9	3,6	70,4	7,4	0,1
Productie	88,6	3,5	55,7	9,7	—
Uitvoer	61,7	3,6	27,0	x <sup>1)</sup>	0,0
Verbruik binnenland	88,8	4,0	74,3	16,2	0,1
Voorraad- vorming	-1,0	-0,5	-1,2	x	x

<sup>1)</sup> x = geheim

### 6.2.2. Ferro-metalen

Over de produktie en het verbruik van ijzer in Nederland zijn vele gegevens bekend, tenminste als men

zich tot het ruwe metaal en de halffabrikaten beperkt. Het is echter niet mogelijk verschillende staallegeringen te onderscheiden, waardoor het aandeel van non-ferro-metalen bij de produktie van staal onbekend blijft. Een uitzondering vormt mangaan, dat als erts wordt verwerkt.

In Tabel 16 valt op dat een zeer groot deel van de halffabrikaten binnen de metaalindustrie zelf verder wordt verwerkt; meer dan 15% blijft zelfs binnen de basismetaalindustrie<sup>12)</sup>.

<sup>12)</sup> Volgens de Standaard Bedrijfs Indeling (SBI) 1974 wordt onder basismetallindustrie verstaan: de ruw-ijzer- en staalfabrieken (hoogovens); stalen buizenfabrieken; koudwalserijen en draadhekkerijen en de non-ferrometaal-industrie.

**Tabel 16.** Binnenlandse afzet van staal in Nederland in 1972 (10<sup>6</sup> gld 1972)

		waarvan naar:						
		basis met. (SBI33)	met. prod. (34)	mach. fabr. (35)	elek. ind. (36)	transp. ind. (37)	totaal met. ind. (33-37)	overige bestem- mingen
Afzet	5.957	3.373	791	316	116	417	5.013	944
Percentage	100	57	13	5	2	7	84	16



**Tabel 17.** Produktie van ruwijzer in Nederland in de jaren 1955-1974 (10<sup>3</sup> ton)

	1955	1960	1965	1970	1971	1972	1973	1974
Ruwijzer	662	1.346	2.364	3.594	3.760	4.289	4.707	4.804

Buiten de metaalindustrie worden halffabrikaten voornamelijk door de bouwnijverheid verwerkt (in de vorm van profielen en betonstaal). Pijpleidingen worden door het CBS als kapitaalgoederen (en dus niet als verbruik door een bedrijfstak) beschouwd. De productie van buizen en profielen is overigens geheim. De productie van ruwijzer is in 20 jaar verzevenvoudigd (zie Tabel 17).

Het aandeel van schroot in de productie van staal is in de loop der jaren relatief sterk gedaald. De voornaam-

ste oorzaak hiervan is de geleidelijke overgang bij de Hoogovens van Siemens-Martin- naar oxystaal (zie Tabel 18).

Over de afzetverdeling van halffabrikaten worden in de CBS-publicatie „Maandstatiek van de industrie” zeer gedetailleerde gegevens gepubliceerd.

De tabellen 19 en 20 geven voor 1972 meer gedetailleerde cijfers over de balans van respectievelijk hoeveelheden en waarden van ijzer en staal.

**Tabel 18.** Produktie en verbruik van staalfabrieken en -gieterijen in Nederland in de periode 1955-1974 (10<sup>3</sup> ton)

	1955	1960	1965	1970	1971	1972	1973	1974
Produktie van staal	980	1.942	3.138	5.042	5.083	5.585	5.592	5.840
Verbruik ruwijzer en ferromangaan	— <sup>1)</sup>	1.117	2.140	3.597	3.694	4.197	4.487	4.578
Verbr. v. schroot	— <sup>1)</sup>	1.045	1.345	2.069	2.017	2.055	1.850	1.929

<sup>1)</sup> Gegevens ontbreken.

**Tabel 19.** Balans van ijzer en staal voor Nederland in 1972 (10<sup>3</sup> ton)

	Invoer	Produktie	waarvan door staalfabr.	Uitvoer	Voorraad-vorming	Afzet binnen-land	waarvan aan: basismet. ind.	metaal-prod.	machine-industrie	transport-middelen industrie	overige verbruikers
			(SBI 33)				(SBI 33)	(SBI 34)	(SBI 35)	(SBI 37)	
IJzererts	5.666	—	—	90	-1.143	6.719	6.719	—	—	—	—
Mangaanerts	74	—	—	44	-20	59	59	—	—	—	—
Ruwijzer	97	4.289	4.289	2	19	4.365	4.240	72	17	6	30
Schroot	169	2.684	x <sup>2)</sup>	774	-20	2.099	—	—	—	—	—
Halffabrikaten <sup>1)</sup>	2.677	15.266	15.206	3.865	118	13.960	10.848	957	431	587	1.137
Stalen blokken	683	10.096	10.086	173	—	10.606	10.416	5	90	95	—
Blik	88	444	444	244	13	275	—	260	—	—	15
Bandijzer	218	308	302	171	-2	357	175	58	34	16	74
Plaatijzer, -staal	930	3.500	3.500	2.834	107	1.489	2	505	210	405	367
Walsdraad	154	365	365	193	1	325	230	25	—	—	70
Stafstaal	465	325	325	207	-1	584	—	50	5	20	509 <sup>3)</sup>
Getrokken draad	98	85	81	18	—	165	25	33	7	6	94
Ijzeren gietwerk	41	143	103	25	—	159	—	21	85	45	8

<sup>1)</sup> Exclusief buizen en profielen.

<sup>2)</sup> Geheim.

<sup>3)</sup> Waarvan 440 betonijzer naar bouwnijverheid.



**Tabel 20.** Balans van ijzer en staal voor Nederland in 1972 (10<sup>6</sup> gld 1972)

	Invoer	Productie	waarvan door staalfabr.	Uitvoer	Voorraad-vorming	Afzet binnen-land	waarvan aan: basismet. ind.	metaal-prod.	machine-industrie	transport-middelen-industrie	overige verbruikers
			(SBI 32)				(SBI 33)	(SBI 34)	(SBI 35)	(SBI 37)	
IJzer- en mangaanerts	182	—	—	18	-32	196	196	—	—	—	—
Ruwijzer	43	774	771	12	3	802	772	16	3	1	10
Schroot	40	322	x <sup>1)</sup>	107	-3	258	258	—	—	—	—
Halffabrikaten	1.621	5.723	5.629	1.874	53	5.417	3.379	702	373	374	589

<sup>1)</sup> Geheim.**Tabel 21.** Hoeveelheidsindex voor de productie van enkele bouwmaterialen

	1960	1965	1970	1972
Straatstenen	100	67	48	37
Metselstenen	100	112	118	134
Kalkzandstenen	100	146	175	205
Betonmortel	100	246	430	450
Betonwaren <sup>1)</sup>	100	155	201	215

<sup>1)</sup> Berekend op basis van het cementverbruik in de betonwarenindustrie.

### 6.2.3. Bouwmaterialen

Voor deze groep is een indeling grondstof-materiaal-halffabrikaat niet altijd te verwezenlijken. Daarvoor is de groep te heterogeen van samenstelling. Bovendien

is in vele gevallen, in tegenstelling tot de situatie voor metalen, niet gedefinieerd wat onder halffabrikaten wordt verstaan. Voor de bouwmaterialen zijn wel bijzonder veel gegevens bekend; de detaillering voert te ver om hier in de tabellen op te kunnen nemen. Naar de aard van de belangrijkste grondstoffen zijn drie groepen onderscheiden: de kleiverwerkende industrie met als halffabrikaten bakstenen, dakpannen en aardewerk, de zandverwerkende industrie met cement, betonmortel, betonwaren, kalkzandstenen en glas en als laatste groep de houtverwerkende industrie. Bij deze groep wordt als grondstof gezien rondhout en vierkant behakt hout; als materiaal het gezaagde hout en als halffabrikaten een aantal produkten van de triplex/fineer- en de emballagefabrieken, zoals spaanderplaat, hardboard, kasten en kratten.

Tabel 21 geeft een beeld van de ontwikkeling van de productie van enkele bouwmaterialen.

Bij de balans van de hoeveelheden (zie Tabel 22) kan

**Tabel 22.** Bouwmaterialenbalans 1972 voor Nederland (hoeveelheden) <sup>1)</sup>

	Eenheid	Invoer	Productie	waarvan door: bouwmat. ind. (SBI 32)	ov.prod.	Uitvoer	Voorraad-vorming	Afzet binnen-land	waarvan aan: bouwmat. ind. (SBI 32)	overige verbruikers
Klei	10 <sup>3</sup> ton	674	6.411	3.172	3.239	178	80	6.827	6.600	227
Kleiprodukten:										
straatstenen	10 <sup>6</sup> stuks	1	178	178	—	8	—	171	—	171
metselstenen	10 <sup>6</sup> stuks	15	2.102	2.102	—	286	83	1.748	—	1.748
dakpannen	10 <sup>6</sup> stuks	1	50	50	—	10	—	41	—	41
Aardewerk:										
sanitair	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	5	x	—	—	10	—	x	—	—
tegels, stenen	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	8	9	9	—	5	—	12	—	12
gresbuisen	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	5	—	—	—	103	—	—	—	—
Zand	10 <sup>6</sup> ton	7	68	64	4	10	—	65	14	49
Kalkzandstenen	10 <sup>6</sup> stuks	29	1.753	1.753	—	1	-37	1.818	—	1.818
Grind	10 <sup>6</sup> ton	11	15	—	15	5	—	21	11	10
Cement	10 <sup>3</sup> ton	2.140	4.023	4.023	—	126	—	6.037	5.387	650
Betonmortel	10 <sup>3</sup> ton	—	6.944	6.944	—	—	—	6.944	—	6.944
Betonwaren:										
prod.v.won./util.geb.	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	4	2.898	2.898	—	87	-5	2.820	—	2.820
prod.v.straataanleg	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	4	2.072	2.072	—	94	12	1.970	—	1.970
ov.prod.v.bet.ind.	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	80	824	824	—	45	12	847	—	847

<sup>1)</sup> . Gegevens ontbreken.

x Geheim.



**Tabel 22**(vervolg). Houtbalans 1972 voor Nederland ( $10^3 \text{ m}^3$ )

	Invoer	Productie	waarvan door:		Uitvoer	Voorraad-	Afzet	waarvan aan:	
			bosbouw	houtverw.		vorming	binnen-	houtverw.	overige
			ind.	ind.			land	ind.	verbruikers
Rondhout tropisch	322	—	—	—	11	—	311	311	—
overig	700	1.300	1.300	—	400	—	1.600	700	900
Gezaagd hout tropisch	251	121	—	121	36	—	336	192	144
naald	2.540	422	—	422	17	—	3.066	669	2.215
loof	133	—	—	—	12	—	—	182	—
Hardboard <sup>1)</sup>	120	22	—	22	13	—	129	42	87
Zachtboard <sup>1)</sup>	26	12	—	12	8	—	30	1	29
Triplex/multiplex	159	66	—	66	18	—	207	25	182
Spaanderplaten	309	62	—	62	31	—	340	154	186
Vlasscheven platen	140	37	—	37	5	—	172	172	—

<sup>1)</sup> In  $10^3$  ton.

niet altijd een corresponderend waardecijfer (zie Tabel 23) worden gegeven, en omgekeerd. Het eerste kan plaatsvinden in geval er geen marktprijs tot stand komt (bijvoorbeeld bij zelfgewonnen klei en zand), het tweede indien wel bij de verbruikende bedrijfstakken de waarde van het verbruik bekend is, maar niet de hoeveelheid.

Veruit het grootste deel van de bouwmaterialen wordt verbruikt in de bouwnijverheid. Om statistische redenen is het gedeelte dat door de doe-het-zelvers wordt gekocht, eveneens bij het verbruik van de bouwnijverheid gerekend. Een aantal producten wordt als kapitaalgoederen beschouwd. Over voorraadvorming bij de bouwnijverheid is weinig bekend.

#### 6.2.4. Papier en karton

Voor deze materialen geldt dat de indeling grondstof — halffabrikaat — produkt moeilijk kan worden doorgevoerd. De produkten van de papierfabrieken en strokartonfabrieken (de grijspapierfabrieken zijn bij de laatsten inbegrepen) zijn hier opgevat als de halffabrikaten. Voor een aantal papersoorten zijn de belangrijkste grondstoffen onderling vervangbaar.

Tabel 24 geeft voor een aantal jaren weer hoe groot het procentuele aandeel in hoeveelheden is voor de produktie van papier en karton. Tot 1969 is de hout-slijp als afzonderlijke produktie van de hout-slijp- en cellulosefabrieken beschouwd. Daarna is deze activiteit opgenomen bij de papier- en strokartonfabrieken.

**Tabel 23.** Bouwmaterialenbalans 1972 voor Nederland ( $10^6$  gld 1972) <sup>1)</sup>

	Invoer	Productie	waarvan door:		Uitvoer	Voorraad-	Afzet	waarvan aan:	
			bouwm.	ov.prod.		vorming	binnen-	bouwm.	overige
			ind.	ind.			land	ind.	verbruikers
			(SBI 32)	(SBI 32)				(SBI 32)	
Klei	46	.	.	.	11	.	.	.	.
Kleiprodukten:									
straatstenen	—	24	24	—	2	—	22	—	22
metsestenen	3	307	307	—	51	8	251	—	251
dakpannen	1	22	22	—	6	—	17	—	17
Aardewerk:									
sanitair	16	46	46	—	18	—	44	—	44
tegels, stenen	50	97	97	—	33	—1	115	—	115
gresbuizen	1	28	28	—	21	—	8	—	8
Zand	30	.	.	.	23	.	.	.	.
Kalkzandstenen	3	93	93	—	—	—	—2	98	98
Grind	75	94	—	94	17	—	152	80	72
Cement	114	x	x	—	8	—	x	—	—
Betonmortel	—	393	393	—	—	—	393	—	393
Betonwaren:									
prod.v.won./util.bouw	10	493	493	—	26	—	477	—	477
prod.v.straataanleg	2	226	226	—	10	1	217	—	217
ov.prod.v.betonw.ind.	19	143	143	—	19	3	140	—	140

<sup>1)</sup> . Gegevens ontbreken  
x Geheim



**Tabel 23** (vervolg). Houtbalans 1972 voor Nederland (10<sup>6</sup> gld 1972)

	Invoer	Productie	waarvan door:		Uitvoer	Voorraad- vorming	Afzet binnen- land	waarvan aan: houtverw. ind.	overige verbruikers
			bosbouw	houtv.ind.					
Rondhout tropisch	73	—	—	—	3	—	70	70	—
overig	55	55	55	—	20	—	90	40	50
Gezaagd hout tropisch	94	46	—	46	14	—	126	73	53
naald	501	—	—	—	6	—	—	132	—
loof	44	81	—	81	3	—	617	61	424
Hardboard	46	12	—	12	6	—	52	48	4
Zachtboard	15	5	—	5	4	—	16	—	16
Triplex-multiplex	101	72	—	72	20	—	153	22	131
Spaanderplaten	83	18	—	18	16	—	85	42	43
Vlasschevenplaten	21	5	—	5	1	—	25	25	—

Om toch enigszins een vergelijking met vroegere jaren te kunnen maken, is voor 1969 de oude en de nieuwe indeling naast elkaar geplaatst.

Uit de tabellen 25 en 26 volgt dat het aandeel van oud papier bij de fabricage van verpakkingspapier (het voornaamste produkt van de strokarton- en grijspapierfabrieken) veel groter is dan in het geval van de andere produkten van de papierfabrieken. Door welke bedrijfstakken papier wordt verbruikt, is onmogelijk precies na te gaan. Krantenpapier wordt uiteraard door de drukkerijen gebruikt, maar het is duidelijk dat verpakkingspapier uiteindelijk door vrijwel elke bedrijfstak zal worden gekocht. Het druk-, schrijf- en tekenpapier wordt voornamelijk aan de papierwarenfabrieken (inclusief golfkarton- en kartonnagefabrieken) en de grafische industrie afgezet.

**Tabel 24.** Procentueel aandeel van de voornaamste grondstoffen voor papier en karton

	1960	1969	1969	1970	1972
Papierhout	—	—	16,7	16,5	15,4
Houtslip	15,7	13,1	2,9	2,8	3,0
Cellulose	19,3	30,6	27,5	28,5	31,7
Stro	38,6	18,2	19,7	17,7	12,0
Oud papier	25,1	34,6	32,1	33,5	36,9
Overige	1,3	3,5	1,1	1,0	1,0
Totaal	100	100	100	100	100

**Tabel 25.** Papier- en strokartonbalans 1972 voor Nederland (10<sup>3</sup> ton)<sup>1)</sup>

	Invoer		Productie		waarvan door:		Uitvoer	Voorraad- vorming	Binnenlandse Totaal	Afzet waarvan aan:			
					papier- fabr. (SBI 26.1)	strokarton fabr. (SBI 26.2) prod.				papier- fabr. (SBI 26.1)	strokarton fabr. (SBI 26.2)	graf. ind. (SBI 27)	overige
Papier naald- hout <sup>2)</sup>	299	134	—	—	—	134	1	—	432	432 <sup>3)</sup>	—	—	—
Houtslip <sup>4)</sup>	44	5	5	—	—	—	1	—	48	48	—	—	—
Sulfiet cellulose	615	—	—	—	—	—	4	—	611	526	16	—	69
Natron cellulose													
Stro	140	—	—	—	—	—	20	—	—	58	155	—	—
Oud papier	87	761	—	—	—	761	228	—	620	137	483	—	—
Courantenpapier	232	131	131	—	—	—	37	-4	330	—	—	330	—
Druk-, schrijf-, tekenpapier:	233	132	132	—	—	—	250	-1	484	—	—	—	—
houhoudend													
houtvrij	372	372	372	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—
Verpakkingspapier en hyg. papier	380	932	323	609	—	—	358	3	951	geen verdere gegevens beschikbaar			

<sup>1)</sup> . Gegevens ontbreken.

<sup>2)</sup> In 1000 m<sup>3</sup>.

<sup>3)</sup> In 1972 een voorraadintering van 56.000 m<sup>3</sup>.

<sup>4)</sup> Niet bestemd voor rayonindustrie.



**Tabel 26.** Papier- en strokartonbalans 1972 voor Nederland (10<sup>6</sup> gld)

	Invoer		Produktie waarvan door:			Uitvoer	Voorraad-	Binnenl.	Afzet			
			papier-	strokarton	ove-		vorming	Totaal	waarvan aan:			
			fabr.	fabr.	rige				papier-	strokarton	graf.	ove-
			(SBI 26.1)	(SBI 26.2)	prod.				(SBI 26.1)	(SBI 26.2)	ind.	rige
											(SBI 27)	
Papier naaldhout	18 <sup>1)</sup>	9 <sup>1)</sup>	—	—	9	— <sup>1)</sup>	—	27	27	—	—	—
Houtslip	15	1	1	—	—	—	—	16	16	—	—	—
Sulfietcellulose	349	—	—	—	—	2	—	347	296	7	—	44
Natroncellulose												
Stro	8	4	—	—	4	—	—	12	3	9	—	—
Oud papier	12	92 <sup>2)</sup>	—	—	92 <sup>2)</sup>	45	—	59	20	39	—	—
Courantenpapier	111	69	69	—	—	19	—2	163	—	—	163	—
Druk-, schrijf-, tekenpapier:	220	112	112	—	—	260	—1 4	509	}	}	}	}
houthoudend												
houtvrij												
Verpakkingspapier en hyg. papier	279	507	262	245	—	219	8	559	geen verdere gegevens beschikbaar			

<sup>1)</sup> Als invoer respectievelijk productie van papierhout is slechts genomen het hout dat door de papierindustrie is verbruikt.

<sup>2)</sup> Per saldo bepaald, derhalve excl. het oud papier, geproduceerd ten behoeve van andere verbruikers dan de papier- en strokartonindustrie.

Tabel 27 tenslotte geeft een beeld van de ontwikkeling van de productie van de voornaamste papersoorten (in hoeveelheden). Bij de productie van druk-, schrijf- en tekenpapier valt de sterke groei van de hoeveelheid houtvrij papier op.

**Tabel 27.** Voornaamste produkten van papier-, grijspapier- en strokartonfabrieken (10<sup>3</sup> ton)

	1960	1965	1970	1972
Courantenpapier	145	164	168	131
Druk-, schrijf-, tekenpapier:				
houthoudend	74	134	120	132
houtvrij	112	188	356	372
Verpakkingspapier	651	771	854	846

### 6.3. Gegevens voor de analyse van de materialenhuishouding

#### 6.3.1. Inleiding

Uit paragraaf 6.1. is duidelijk geworden dat de thans beschikbare statistische gegevens onvoldoende hulp bieden bij het verkrijgen van inzicht in het materialensysteem. Zij zijn te onvolledig en — soms — onbetrouwbaar, te zeer geaggregeerd en, vooral door hun vorm, slechts bruikbaar voor (macro-)economische analyses en nauwelijks voor meer fysisch-technisch gericht systeemonderzoek (men zie ook Hoofdstuk 1). Analyses van de toepassing van materialen worden door diverse instanties en met uiteenlopende doeleinden uitgevoerd. De behoefte aan gegevens zal dien-

overeenkomstig variëren. In deze paragraaf concentreren wij ons op die gegevens welke van belang zijn voor de rol — op een geaggregeerd niveau bezien — die materialen spelen in de menselijke samenleving. Enerzijds gaat het om gegevens betreffende de materialenhuishouding op zichzelf: gegevens omtrent de beschikbaarheid van grondstoffen, de voortbrenging van materialen en de toepassing daarvan. Anderzijds zijn gegevens van belang, die een meer algemeen beeld geven van de menselijke samenleving, bijvoorbeeld van het economisch proces. Essentieel is de samenhang tussen beide categorieën gegevens. Statistisch-technisch betekent dit, dat het samenstellen van materialenstatistieken dient te worden gecoördineerd met de andere statistieken, die voor de eerdergenoemde analyse nodig zijn. Over beide categorieën en hun samenhang zullen in het navolgende enkele opmerkingen worden gemaakt.

#### 6.3.2. Materialenstatistieken

In de jongste tijd is de belangstelling voor gegevens betreffende de materialenhuishouding sterk toegenomen en tevens van karakter veranderd. Deze belangstelling was vroeger geconcentreerd op grondstoffen en materialen als kostenfactor, waarbij de prijs werd geacht voornamelijk te zijn bepaald door de productiekosten. De toegenomen zorg om de beschikbaarheid van grondstoffen op langere termijn en om de milieu-effecten van het grondstoffenverbruik brengt een accentverschuiving met zich mee. De prijs van materialen is in dit verband slechts een bruikbaar richtsnoer voor het economisch handelen voorzover de schaarste op langere termijn en de milieu-effecten



daarin worden weerspiegeld (zie ook 6.3.4.). Dit heeft consequenties voor de statistiek.

In de bestaande statistieken treft men in het algemeen slechts gegevens aan betreffende die grondstoffen en materialen, die in guldens relatief belangrijk zijn. Zo is het bijvoorbeeld niet mogelijk om uit deze statistieken een beeld te verkrijgen van de toepassing van kwik in Nederland. In guldens gemeten, is dit verbruik volstrekt oninteressant in het kader van een analyse van het economisch proces in Nederland. Bezieet men het verbruik van kwik echter tegen de achtergrond van zowel milieuverontreiniging als van uitputting van grondstoffenvoorraden, dan gaat het wel degelijk om belangrijke gegevens. Naast het kostencriterium, afgeleid uit huidige marktprijzen, dienen dan ook tevens criteria als uitputbaarheid en schadelijkheid voor het milieu bepalend te zijn voor de specificatie van materialen in de statistieken. Deze gedachte is niet nieuw. Zij is door het CBS naar voren gebracht in een nota over de systematiek, die aan het samenstellen van een goederennomenclatuur voor statistische doeleinden ten grondslag zou moeten liggen [51].

Indien deze gedachte wordt gerealiseerd in de statistieken, die de structuur van het economisch proces beschrijven, bestaat geen behoefte aan afzonderlijke materialenstatistieken. Men kan dan in de eerste plaats denken aan een tweetal statistieken: de statistiek van de buitenlandse handel per goederensoort en de produktiestatistieken. Met name ten aanzien van de eerstgenoemde statistiek is het van belang, dat de goederennomenclatuur internationaal wordt toegepast. Dit met het oog op de vergelijkbaarheid van de nationale statistieken. Het CBS poogt een dergelijke ontwikkeling te stimuleren.

In alle afzonderlijke produktiestatistieken dient uiteraard dezelfde goederennomenclatuur ten aanzien van grondstoffen en materialen te worden toegepast teneinde het mogelijk te maken, dat deze goederen worden gevolgd in hun gang door de opeenvolgende stadia van het productieproces. Daarbij rijst de vraag in hoeverre van de statistiek mag worden verwacht, dat inzicht wordt verschaft in het „materiaalgehalte” van eindprodukten; bijvoorbeeld de hoeveelheid kunststof verwerkt in een bureaustoel. Er zijn tenminste de volgende twee methoden voor het bepalen van dit gehalte.

- Input-output analyse. Deze vorm van analyse levert globale ramingen van het materiaalgehalte van groepen eindprodukten of halffabrikaten. De mate van detaillering en daarmee de nauwkeurigheid van de uitkomsten kan sterk variëren. Een dergelijke analyse kan in beginsel worden uitgevoerd mits naast een volledige input-outputtabel gegevens beschikbaar zijn betreffende het grondstoffen-/materialenverbruik per bedrijfsklasse.
- Gedetailleerde waarnemingen. Het is in theorie wellicht mogelijk producenten te enqueteren naar het materiaalgehalte van hun produkten, voorzover dit gehalte in hun productieproces is tot stand gekomen. Praktisch lijkt dit echter niet te verwezenlijken, afgezien van uitzonderingen voor zeer speci-

fieke materialen of produkten, indien daarvoor bijvoorbeeld publikatievoorschriften van overheidswege zouden worden gegeven.

De statistische waarneming van materialen zal dan ook beperkt blijven tot de eerste schakels van de produktieketen (grondstof, materiaal, halffabrikaat). De materialentoepassing in de latere stadia van het productieproces wordt slechts waargenomen in de vorm van verbruikt halffabrikaat (blokken, vellen, buizen etc.). Voorzover bij de vervaardiging van eindprodukten materialen in verder verwerkte vorm worden gebruikt, bijvoorbeeld als onderdelen van eindprodukten bestaande uit diverse materialen, zal over het algemeen genoeg moeten worden genomen met de uitkomsten van input-output analyses.

### 6.3.3. Overige ter zake dienende statistieken

Voor een analyse van de rol, die materialen spelen in de menselijke samenleving, dient men dus te beschikken over statistieken betreffende de materialenhuishouding en meer algemene statistieken betreffende de samenleving. Kortheidshalve blijft de bespreking van laatstgenoemde categorie statistieken hier beperkt tot enkele in dit verband veel gehanteerde economische statistieken, die het productieproces beschrijven, namelijk het bruto binnenlands produkt<sup>13)</sup> (BBP) en aanverwante gegevens en de nationale input-outputtabellen.

Een zeer globale analyse, die wel wordt uitgevoerd, bestaat uit het bepalen van de mate, waarin een toeneming van het BBP samengaat met een toenemend materiaalverbruik. Men kan dan in het algemeen een positieve correlatie constateren, zowel bij vergelijkingen in de tijd als tussen landen [43]. De betekenis voor het beleid van een dergelijke uitkomst lijkt echter vrij gering, omdat juist de omstandigheid dat een beleid wordt overwogen erop duidt, dat deze samenhang niet als een gegeven wordt aanvaard. Bovendien zijn er enkele redenen van meer technische aard, waarom de relatie tussen BBP en materiaalverbruik niet eenduidig is. De belangrijkste zijn als volgt.

- Voor volkshuishoudingen met een relatief aanzienlijke buitenlandse handel kan de relatie tussen BBP en materiaalverbruik sterk variëren met de vorm waarin materialen worden in- of uitgevoerd. Zo wordt de invoer van materiaal in de vorm van halffabrikaten (bijvoorbeeld: stalen platen, kunststofvellen) tot het binnenlandse materiaalverbruik gerekend, maar niet de invoer in verder verwerkte vorm (het „staalgehalte” van bijvoorbeeld machines).
- De relatie tussen BBP en materiaalverbruik varieert met de produktiestructuur. Een relatief groot aan-

<sup>13)</sup> Het BBP kan globaal worden omschreven als de som van de in een volkshuishouding verdiende inkomens (inclusief afschrijvingen en belastingen) wat identiek is aan de totale produktie (exclusief de in het productieproces verbruikte produkten).



deel van de dienstensector in de economie zal samengaan met een relatief gering materiaalverbruik. Beide invloeden kunnen worden gekwantificeerd, maar dat vereist een meer gedesaggregeerde analyse. De conclusie zou kunnen zijn, dat globale correlaties tussen BBP en materiaalverbruik weinig informatie opleveren waarop een beleid valt te baseren.

Interessanter lijkt meer gedetailleerd onderzoek zoals de input-output analyse, waaraan in de vorige sectie reeds enige aandacht werd besteed. Een input-output tabel toont de transacties (in guldens) tussen de bedrijfsklassen/productieprocessen onderling en tussen de bedrijfsklassen, de verbruikers van eindprodukten (consumenten, investeerders, overheid) en het buitenland, voorzover deze transacties betrekking hebben op de levering van goederen en diensten. Wanneer men deze tabel koppelt aan gegevens betreffende het fysieke materiaalverbruik per bedrijfsklasse is het mogelijk het materiaalgehalte te schatten van afzonderlijke categorieën eindprodukten. Een eerste aanzet tot zulk een analyse voor de VS en Engeland kan men vinden in [52, 53].

Op de problemen en verfijningen die bij een dergelijke analyse van belang zijn zal kortheidshalve niet worden ingegaan. In beginsel kan op deze wijze worden aangegeven hoe (d.w.z. in welke produktiestadia) het materiaalgehalte van de eindprodukten tot stand is gekomen. Bij vergelijking van de uitkomsten in de tijd is het mogelijk aan te geven in hoeverre een verandering van het materiaalgehalte van bijvoorbeeld het totale consumptiepakket het gevolg is van:

- een verandering van de produktiestructuur;
- een verandering van het bestedingspatroon;
- een verandering van het materiaalverbruik in de afzonderlijke bedrijfsklassen.

Een dergelijke intertemporale vergelijking wordt zilverder, wanneer men beschikt over input-output tabellen in constante prijzen. Het lijkt erop, dat dergelijke informatie aanzienlijk aan betekenis wint, wanneer deze gegevens worden opgeleverd te zamen met verge-

lijkbare gegevens betreffende de in eindprodukten geïncorporeerde energie, milieuverontreiniging, investeringen, werkgelegenheid naar kwaliteit, kwantiteit en verdeling over regio's, etc. Bovendien kan de betekenis voor het beleid toenemen naarmate de specificatie van de eindprodukten, waarvoor deze gegevens worden berekend, verder wordt gedetailleerd. In de praktijk zullen de uitkomsten van dergelijke input-output analyses veelal niet in een mate van detaillering beschikbaar komen, die voldoende is voor onderzoek betreffende specifieke details van het eindproduktenpakket. Er zijn echter mogelijkheden voor onderzoek van statistische aard en/of van technische aard om aan de behoefte aan specifieke details tegemoet te komen.

#### 6.3.4. Het „economisch belang” van materialen

In paragraaf 6.4. wordt iets gezegd over een mogelijk beleid t.a.v. systematische gegevensverzameling, gericht op samenhang en betekenis van het materialen (-energie-milieu-)systeem. Alvorens dit te doen wordt in deze paragraaf de betekenis van materialen in strikt economische zin aan een beschouwing onderworpen. Zo ontstaat een indruk van de waarde *en* de beperking van dit gezichtspunt.

In theorie wordt het economisch belang hier opgevat als synoniem met de economische term relatieve schaarste van een goed, welke per definitie wordt weergegeven door de prijs van dat goed. De economische theorie leert, dat dit slechts geldt, indien aan een aantal veronderstellingen is voldaan. Het gaat er onder meer om, dat:

- over alle schaarse goederen via het prijsmechanisme wordt beschikt;
- de economische subjecten „rationeel” handelen; d.w.z. consumenten streven naar nutsmaximalisatie, producenten naar winstmaximalisatie, waarbij laatstgenoemden zich vrij en flexibel aan de consumptievoorkeuren kunnen aanpassen.

**Tabel 28.** Binnenlandse afzet en productie en daaraan verbonden arbeidsvolume voor enkele materialen; 1972

	Binnenlandse afzet <sup>1)</sup> (10 <sup>9</sup> gld)	Binnenlandse productie <sup>1)2)</sup> (10 <sup>9</sup> gld)	Bruto toegevoegde waarde (marktprijzen 10 <sup>9</sup> gld) <sup>1)</sup>	Arbeidsvolume (loontrekkers) betrokken bij de voortbrenging van materialen (10 <sup>3</sup> manjaren)
1. Metalen	3,2	3,5	2,0	44
2. Bouwmaterialen	2,1	2,1	1,2	30
3. Hout	1,1	0,2	0,1	5
4. Papier	1,2	0,9	0,3	10
Totaal	7,6	6,7	3,6	90

<sup>1)</sup> Exclusief omzetbelasting en bijzondere verbruiksbelasting personenauto's.

<sup>2)</sup> Exclusief levering aan de hetzelfde materiaal producerende bedrijfsgroep.



De relatieve schaarste, die aldus in de prijs tot uitdrukking komt, is de schaarste, zoals deze door de „gemiddelde“ verbruiker wordt ervaren. De term gemiddeld moet worden opgevat als *met de koopkracht gewogen* gemiddeld. Dat wil zeggen, dat koopkrachtige verbruikers in sterkere mate de prijs van een goed bepalen dan minder draagkrachtige. Tegen deze achtergrond zou het economisch belang van grondstoffen, materialen en halffabrikaten kunnen worden afgemeten aan de waarde van het verbruik daarvan. Het economisch belang van de voortbrenging van deze goederen in Nederland kan dan worden geïllustreerd met gegevens betreffende de bij de produktie gevormde toegevoegde waarde (bijdrage tot het nationale produkt).

Aan de goederenbalansen (zie par. 6.2.) kunnen gegevens worden ontleend betreffende de waarde van de voortbrenging en het verbruik van materialen in Nederland. Voor wat de voortbrenging betreft, is het van belang de levering van materiaal aan producenten van datzelfde materiaal buiten beschouwing te laten (het vermijden van dubbeltelling). Tabel 28 vermeldt dergelijke gegevens voor enkele in deze studie betrokken materialen (incl. halffabrikaten). Daarnaast zijn gegevens opgenomen betreffende de bij de produktie van materialen gevormde toegevoegde waarde en het daarbij betrokken arbeidsvolume. Daarbij gaat het om vrij globale ramingen.

De verhouding tussen primaire verwerking van materialen (halffabrikaten) en verdere verwerking (tot eindprodukten) is niet exact weer te geven<sup>14)</sup>. Diverse materialen worden immers in zeer veel eindprodukten producerende bedrijfsgroepen verbruikt, soms intensief, soms in geringe mate. Meer in het algemeen kan men stellen dat de verschillende materialen door vele bedrijfsgroepen worden gebruikt, maar in steeds verschillende verhoudingen. Een globale indruk kan worden verkregen wanneer de bij de produktie van materialen gevormde toegevoegde waarde per categorie materialen wordt gerelateerd aan de toegevoegde waarde van de belangrijkste categorie verbruikers van dat materiaal. Voor de materialen als vermeld in Tabel 28 zijn deze belangrijkste verbruikers respectievelijk: (1) de metaalnijverheid, (2) de bouwmaterialen-, aardewerk- en glasindustrie en de bouwnijverheid, (3) de hout- en meubelindustrie en (4) de papier- en papierwarenindustrie, de grafische industrie en de uitgeverijen. Op de toegevoegde waarde van deze bedrijfsklassen dient dan uiteraard de toegevoegde waarde, vermeld in Tabel 28 in mindering te worden gebracht. Tabel 29 vermeldt deze gegevens, te zamen met analoge gegevens omtrent het arbeidsvolume.

Uit vergelijking van beide kolommen blijkt dat bij metalen en bouwmaterialen de toegevoegde waarde per man bij de primaire verwerking ervan relatief hoger is dan die bij de secundaire verwerking. Bij de interpreta-

<sup>14)</sup> Zie voor het onderscheid tussen primaire en verdere (secundaire) verwerking de toelichting bij de tabellen in par. 6.2.

**Tabel 29.** Toegevoegde waarde en arbeidsvolume bij de primaire verwerking van de materialen uit Tabel 28 als percentage van het overeenkomstig gegeven bij de voornaamste vormen van verwerking; 1972

	Bruto toegevoegde waarde (marktprijzen) (%)	Arbeidsvolume (loontrekkers) (%)
1. Metalen	16	11
2. Bouwmaterialen	11	7
3. Hout	8	10
4. Papier	10	10
Gemiddelde (1-4)	13	9

tie moet nog worden bedacht, dat een deel van de metalen halffabrikaten (regel 1) en van het hout (regel 3) in de bouwnijverheid verder wordt verwerkt. Meer in het algemeen kan men stellen dat de gegevens van Tabel 29 de verhouding tussen de waarden van primaire en secundaire verwerking overschatten, omdat andere dan de hiervoor vermelde belangrijkste verbruikers tevens van genoemde materialen gebruik maken. Zo wordt papier door alle bedrijfstakken verbruikt, zekere metaalprodukten eveneens, terwijl de toepassing van investeringsgoederen, gemaakt uit de eerste drie vermelde categorieën materialen, eveneens in de beschouwing zou dienen te worden betrokken.

Tenslotte wordt in Tabel 30 de toegevoegde waarde en het daarbij betrokken arbeidsvolume voor de primaire verwerking van materialen uitgedrukt als per-

**Tabel 30.** Toegevoegde waarde en arbeidsvolume bij de primaire en voornaamste secundaire verwerking van materialen als percentage van het overeenkomstig gegeven voor alle bedrijven tezamen; 1972

	Bruto toegevoegde waarde in % (marktprijzen)	Arbeidsvolume in % (loontrekkers)
1. Metalen	1,7	1,3
2. Bouwmaterialen	1,0	0,9
3. Hout	0,1	0,2
4. Papier	0,3	0,3
Totaal	3,1	2,7
5. Voornaamste secundaire verwerking	24,2	29,4
6. Andere industriële bedrijven	17,3	13,0
7. Overige bedrijven	55,4	54,9
8. Totaal bedrijven (1-7)	100	100



centage van de overeenkomstige grootheden voor het totaal van de Nederlandse bedrijven.

De gegevens van Tabel 30 laten zien dat het directe „economisch belang” van de primaire verwerking van de genoemde materialen in Nederland relatief gering is. Maar er zijn natuurlijk ook indirecte samenhangen. Zo stimuleert primaire materiaalverwerking veelal de economische activiteit (handel en transport, verdere verwerking etc.). Deze samenhangen zijn echter moeilijk te kwantificeren.

Bij de interpretatie van al deze gegevens dient bovendien te worden bedacht, dat aan de in de aanvang genoemde veronderstellingen slechts in beperkte mate is voldaan. De veronderstelling, dat over alle schaarse goederen via het prijsmechanisme wordt beschikt, is om diverse redenen weinig realistisch. De in het verband van deze studie wellicht belangrijkste reden is, dat aan „milieugoederen” (schone lucht, ruimte, landschap) geen marktprijs wordt toegekend, terwijl materialenproductie en -verbruik belangrijke invloeden op het milieu uitoefenen.

Belangrijker nog is de veronderstelling, dat economische subjecten rationeel handelen. Over de mate, waarin dit werkelijk het geval is, kunnen weinig zinvolle uitspraken worden gedaan. Het is echter onrealistisch om er van uit te gaan, dat het daarbij om rationaliteit op langere termijn gaat. Ten aanzien van het handelen van producenten kan men nog verwachten, dat zij rationeel handelen in die zin, dat zij streven naar maximale winst op iets langere termijn, zonder dat men zich te veel illusies mag maken over de lengte van die termijn. Toekomstige generaties producenten van hetzelfde produkt worden niet in de overwegingen betrokken, vooral niet wanneer huidige investeringsprojecten een beperkte levensduur hebben. Van individuele consumenten kan men echter in nog mindere mate verwachten dat zij ver vooruitzien bij hun economisch handelen.

Voorzover de prijs een indicator van relatieve schaarste is, geldt dit dus alleen voor schaarste zoals die zich op korte termijn voordoet. Het is wel zo, dat het gebruik van materialen door het prijsmechanisme en daarmee — met in achtname van het aan het begin van deze paragraaf gestelde — door de actuele schaarsteverhoudingen wordt gestuurd. Voorzover het aanbeveling verdient, het gebruikspatroon van materialen mede te laten bepalen door in de toekomst te verwachten schaarsteverhoudingen, zal derhalve een beleid moeten worden overwogen.

#### 6.4. Beleid en statistiek

Bij een beleid als hiervoor bedoeld zal behoefte bestaan aan andere gegevens dan de in de eerdere paragrafen vermelde. Een dergelijk beleid kan gericht zijn op:

- a. producenten van belangrijke materialen;
- b. producenten die belangrijke materialen verbruiken;
- c. verbruikers van eindprodukten.

Voor ieder der categorieën geldt dat gegevens omtrent omvang en groei van het materiaalverbruik en van de exploiteerbare grondstoffenreserves noodzakelijk zijn om te bepalen in hoeverre wijzigingen van de schaarsteverhoudingen te verwachten zijn. In theorie zouden deze gegevens voldoende basis kunnen verschaffen voor de ad a genoemde beleidsvorm, indien men bijvoorbeeld zou uitgaan van de doelstelling, dat de bekende reserves niet mogen afnemen. In de praktijk zal een dergelijk beleid echter tevens rekening willen houden met frictieverschijnselen die bij realisering daarvan kunnen ontstaan.

Dit laatste betekent, dat de aandacht zal worden gericht op de verbruikers van materialen. Daarbij zal behoefte bestaan aan gegevens over onder meer mogelijkheden van materiaalbesparing en substitutie tussen verschillende materialen. Waar deze gering zijn, zal het beleid zich kunnen richten op de verbruikers van eindprodukten. Dan gaat het erom het patroon van het verbruik van eindprodukten zodanig te beïnvloeden, dat produkten met een hoog gehalte aan met uitputting of toenemende schaarste bedreigde materialen, worden vervangen door produkten met een laag gehalte aan deze materialen. Andere mogelijkheden kunnen wellicht worden onderzocht in de sfeer van de levensduurverlenging van duurzame eindprodukten. In feite kan een dergelijk beleid erop zijn gericht, het economisch belang van de in deze eindprodukten verwerkte materialen autonoom te wijzigen, voorzover het tracht de preferenties van verbruikers van eindprodukten te beïnvloeden. Dit betekent dat gegevens nodig zijn omtrent het materiaalgehalte van eindprodukten (uitkomsten van bijvoorbeeld input-output analyses), evenals gegevens betreffende de factoren die de levensduur van eindprodukten bepalen.

Het ligt voor de hand, dat een beleid ten aanzien van de toepassing van materialen niet geïsoleerd wordt gevoerd. Vooral wanneer de substitutiemogelijkheden tussen materialen of eindprodukten worden overwogen ontstaat behoefte de consequenties daarvan in termen van werkgelegenheid, inkomensvorming, milieuverontreiniging, energieverbruik, te bezien. Ook daarover zouden dus gegevens dienen te worden verzameld.

Het CBS heeft momenteel een projekt onder handen, dat uitkomsten van input-output analyse op deze uiteenlopende gebieden combineert. Daarbij wordt gestreefd naar een grote mate van detaillering. Het gewenste eindresultaat kan men zich als volgt voorstellen.

- De Nederlandse produktie wordt onderscheiden in een groot aantal produktgroepen (wellicht enkele honderden).
- Van elk van deze produktgroepen wordt per gulden voortgebracht produkt de omvang weergegeven van de bijdrage tot het nationaal produkt, de werkgelegenheid, het energie- en grondstoffenverbruik per energiesoort en grondstof, de milieuverontreiniging per categorie en wellicht nog andere aspecten.



De input-output analyse kan dienen als een voorbeeld van een analyse van de rol van materialen in de menselijke samenleving. De gegevens betreffende het fysieke materialenverbruik, die bij een dergelijk onderzoek worden gebruikt, dienen uiteraard consistent te zijn met de in de input-output tabel geregistreerde waardebedragen. Dit betekent onder meer, dat beide categorieën gegevens moeten worden verzameld bij dezelfde bedrijfseenheden, uitgaande van eenzelfde goederennomenclatuur en dat ze worden geregistreerd in eenzelfde bedrijfsindeling<sup>15)</sup>.

In verband daarmee ligt het voor de hand, dat de samenstelling van materialenstatistieken primair als een taak van nationale statistische bureaus wordt gezien, althans in die landen, zoals Nederland, waar een sterke mate van centralisatie van de statistiek bestaat. De consistentie van de benodigde gegevens is dan het best verzekerd. Deze statistische bureaus zijn in het algemeen ook het best geëquipeerd voor het uitvoeren van de benodigde analyses (zoals de input-output analyses), omdat ze over de gegevens kunnen beschikken in de meest vergaande mate van volledigheid en detaillering. Zij worden daarbij niet gehinderd door geheimhoudingsproblemen. Deze problemen spelen in dat geval pas een rol bij de publikatie van de eindresultaten van de analyse. Meer in het algemeen behoeft het geen betoog, dat geheimhouding en objectiviteit het meest zijn gegarandeerd bij een onafhankelijk statistisch bureau zoals het CBS.

Aan de internationale coördinatie van materialenstatistieken (goederennomenclatuur, bedrijfsindeling) wordt reeds aandacht besteed. Er bestaan diverse samenwerkingsverbanden tussen nationale statistische bureaus in het kader van diverse internationale organisaties (VN, OESO, EEG). Deze organisaties bezitten statistische bureaus, die daarbij een rol spelen. Voor deze bureaus lijkt tevens een taak weggelegd op het gebied van het verzamelen van gegevens betreffende grondstoffenvoorraden. Gegevens betreffende de mogelijkheden van substitutie tussen materialen en betreffende de factoren die de levensduur van eindprodukten bepalen zouden kunnen worden verwacht van instellingen die zich met technische onderzoekingen bezighouden. Tenslotte zouden deze instellingen kunnen bijdragen tot zekere verfijningen van de uitkomsten van de input-output analyses.

## 7. Literatuur

- [ 1]. Euromarkt Nieuws, **18** (1975), no. 4.
- [ 2]. Euromarkt Nieuws, **18** (1975), no. 3.
- [ 3]. The competitiveness of low density polyethylene, polypropylene and polyvinyl chloride after the 1973 oil crisis. The ICI view. Plastics Division, Imperial Chemical Industries Limited, 1974.
- [ 4]. ACS-EEG-Overeenkomst van Lomé, ondertekend op 28 februari 1975.
- [ 5]. J.A. Over, A.C. Sjoerdsma (red.); Energiebesparing. Publikatie no. 19, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag (Staatsuitgeverij, 1975).
- [ 6]. Centraal Economisch Plan 1974 en 1975, Centraal Planbureau, Den Haag (Staatsuitgeverij).
- [ 7]. E.F. Limburg; De gevolgen van de energie- en grondstoffenproblemen voor de economische structuur. Bank en Effectenbedrijf, juni 1974.
- [ 8]. H.C. Bos; Theorieën over de ruilvoet en politieke werkelijkheidszin. NRC/Handelsblad, 16 juni 1975.
- [ 9]. W. Fox; The working of a commodity agreement (International Tin Council). Mining Journal Books Ltd., Londen, 1974 (418 blz.) (De auteur is voormalig Secretaris van de International Tin Council).
- [10]. I.T.C. Staff; The international implications of United States disposal of stockpiled tin. International Tin Council publications, 1973. Editorials, MINING annual review; Published by Mining Journal London, 1972, 1973, 1974, juni 1975.
- [11]. F. Blondel en S.G. Lasky; Mineral reserves and mineral resources. Economic Geology, **51** (1956), No. 7.
- [12]. Joint Geological Survey - Bureau of Mines Resource Classification and Operational Procedures, US Dept. of the Interior Office of the Secretary News Release; 15 april 1974.
- [13]. Departmental terminology and definitions of reserves and resources. Canadian Dept. of Energy, Mines and Resources, Interim Document, Ottawa, 1975.
- [14]. Second target program for the European Atomic Community, Comm. of the European Communities, Euratom Report EUR 5011, Brussel, 1972.
- [15]. F. Friedensburg; Die Zukunftsvorräte der Metalle. Erzmetall, Band X, 1957.
- [16]. V.E. McKelvey; Relation of reserves of the elements to their crustal abundance. American Journal of Science, Bradley Volume, Vol. 258-A (1960), 234-41.
- [17]. Y. Sekine; On the concept of concentration of ore forming elements and the relationship of their frequency in the earth's crust. International Geology Review, **5** (1963), No. 5 (AGI).
- [18]. R.L. Erickson; Crustal abundance of elements, and mineral reserves and resources. US Geological Survey Professional Paper 820, Wash. D.C., 1973.
- [19]. D. Meadows; Rapport van de Club van Rome — De grenzen aan de groei. Het Spectrum, Utrecht, 1972.
- [20]. J. Mabile; Long-range trend for uranium. Conf. on Nuclear Fuel Exploration to Power Reactors. Oklahoma City, 23-24 mei 1968.
- [21]. Raw Materials in the US economy: 1900-1969.

<sup>15)</sup> Deze onderlinge coördinatie van statistieken vormt een belangrijk onderdeel van de huidige werkprogramma's van het CBS.



- US Dept. of the Interior; Bureau of Census; US Dept. of Commerce; Bureau of Mines, 1970.
- [22]. J. Barnea (red.); The neglected resources-small deposits. Important for the future (UNITAR), 1 (1976), No. 2.
  - [23]. H.J. de Wijs; Statistics of ore distribution. *Geologie en Mijnbouw*, november 1951 en januari 1953.
  - [24]. J.W. Brinck; Prediction of mineral resources and long term price trends in the non-ferrous metal mining industry. Proc. 24th Session of the IGC, Montreal, Vol. IV, 1972.
  - [25]. H.J. de Wijs; Models for the estimation of world ore reserves. Symp. Mathematical Methods in Geology. Pribram, oktober 1975.
  - [26]. J.W. Brinck; Mimic. *Eurospectra*, Vol. X (1971), No.2.
  - [27]. D. Gabor en U. Colombo; Beyond the age of waste and plenty. Science, technology and world resources. Rapport van de werkgroep „New directions for Science and Technology“ van de Club van Rome (in druk).
  - [28]. L.H. Ahrens; The log-normal distribution. *Geochemica and Cosmochemica Acta*, 5 (1954) No. 2.
  - [29]. G. Matheron; *Traité de géostatistique appliquée*. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, No. 14. Tomes I et II. Editions Technip, Parijs, 1962.
  - [30]. J.W. Brinck en L. van Wambeke; World resources of mercury. Proc. I Congreso Internacional del Mercurio, Tomo I, Barcelona, 1974.
  - [31]. Final report on the analysis of the global resources of the metals of the platinum group, chromium, tin, fluorine, phosphorus and lead. Research Contract 018/75 between S.C.I.E.N.C.E. sprl and the Commission of the European Communities. Brussel, 1975.
  - [32]. A.A. de Boer en J.W. Brinck; La développement de l'énergie nucléaire dans la Communauté et l'approvisionnement en matières fissiles. *Annales des Mines de Belgique*, 9e livraison, 1972.
  - [33]. F. Roberts; Energy consumption in the production of materials. *Metals and materials*, maart 1974, 167-73.
  - [34]. A.G. Makhijani en A.J. Lichtenberg; Energy and well-being. *Environment*, 14 (1972), No. 5, 10.
  - [35]. J. Clay; Inst. of Metals Summer Conf. on Scrap, 20 maart 1973.
  - [36]. Reclamation Industries International, mei/juni 1973.
  - [37]. D.W. Ballard; An American view of problems of materials conservation. Proc. Conf. on the Conservation of Materials, Harwell, 26/27 maart 1974.
  - [38]. P.J. Bakker en T. Frieling; Milieu-aspecten van kunststoffen. *Plastica*, 25 (1972), No. 12, 572-9.
  - [39]. H.E. Goeller en A.M. Weinberg; The age of substitutability. *Science and Public Policy*, 2 (1975), No. 11, 479 - 92. Hierin is opgenomen een verwijzing naar: H.E. Goeller; Summary of current world resources, production and uses of mercury and possibilities for recycle and substitution. Paper presented to Ad Hoc Committee on the Rational Use of Potentially Scarce Metals, Scientific Affairs Division, NATO (te publiceren in 1976).
  - [40]. M.E. Henstock; 8th World Mining Congress, Lima, nov. 1974. *Resources Policy*, maart 1975, 178-81.
  - [41]. F. Roberts; Material resources conservation — a strategy for action. *Resources Policy*, juni 1975, 204-12.
  - [42]. H.R. Howland; The helium conservation question. *Technology Review*, juni 1975, 42-9.
  - [43]. National Academy of Sciences; Mineral Resources and the Environment. A report prepared by the Committee on Mineral Resources and the Environment (COMRATE) and the Commission on Natural Resources, National Research Council, Printing and Publ. Office, NAS, Wash. D.C., 1975.
  - [44]. H.J. Pick and P.E. Becker; Direct and indirect uses of energy and materials in engineering and construction. *Appl. Energy*, 1 (1975), No. 1, 31-51.
  - [45]. F. Roberts; Management policies for non-renewable material resources. Proc. Conf. on the Conservation of Materials, Harwell, 26/27 maart 1974.
  - [46]. Material needs and the environment today and tomorrow (hfst. 4c). Nat. Comm. on Materials Policy, juni 1973, US Govt. Printing Office, Wash. D.C.
  - [47]. D. Boon e.a.; Het tweede gebruik. Uitg. Grafisch Nederland, 1974.
  - [48]. W.W. Harman; Changing society to cope with scarcity. *Techn. Review*, juni 1975, 29-36.
  - [49]. S. Wiegiersma; Materiaal-affiliatie. Voorlopig rapport Ned. Inst. v. Preventieve Geneeskunde, Leiden, 1962.
  - [50]. C.E. Hollis; Proficiency with polymers. Chemistry and the needs of society, p. 149 - 76. Special publication No. 26, The Chemical Society, London, 1974.
  - [51]. Nota betreffende de Standaard-goederenomenclatuur, met een uitwerking voor de houten papierverwerkende industrieën, Centraal Bureau voor de Statistiek, 1974.
  - [52]. P.E. Becker; Engineering strategies for national economic planning. An input-output study of the manufacture and use of engineering materials in the U.S.A. economy. James Watt Memorial Lecture, Un. of Aston, Birmingham.
  - [53]. P.E. Becker; The economic role of engineering materials in the U.K. *Resources Policy*, Sept. 1976.



## Hoofdstuk 3. De relatie maatschappij-materialensysteem — Fundamentele Aspecten en beïnvloedingsmogelijkheden

### 1. Inleiding

Uit de diverse bijdragen van Hoofdstuk 2 komen enkele meer fundamentele aspecten van de rol van materialen in de maatschappij steeds weer naar voren. Die aspecten blijken te kunnen worden gerangschikt binnen de aandachtsgebieden: schaarste, energie en milieu. In de hoofdstukken 4 t/m 6 zal voor een aantal materialen worden onderzocht hoe deze aspecten in de praktijk, en van geval tot geval, kunnen doorwerken. Mede als voorbereiding daarop probeert dit hoofdstuk deze drie aandachtsgebieden aan een algemene beschouwing te onderwerpen. Waarom gaat het daarbij; hoe liggen de verhoudingen; in welke tijdsperspectieven moet men diverse zaken bezien? Het zal de lezer niet verbazen dat bij ieder van deze doorsneden toch ook de contouren van (o.a.) de beide andere niet buiten het gezicht blijven. Ieder sterk samenhangend systeem zal die eigenschap vertonen. Daarom is het ook zinvol, in opvolging van deze aspect-benaderingen de aandacht te richten op de wisselwerkingen tussen het materialensysteem en de maatschappij. Welke zijn de maatschappelijke kosten en baten; in hoeverre vallen zij binnen de werking van het economisch gebeuren; in hoeverre zijn zij eventueel binnen een ruimer kader zichtbaar te maken en te beïnvloeden?

Na zo'n beschouwing over maatschappelijke effecten kan de vraag worden bestudeerd waar — in algemene termen — de praktische mogelijkheden liggen voor een gewenste beïnvloeding van de materialen-huishouding. In Hoofdstuk 2 werd al duidelijk dat zulke aangrijpingspunten vooral liggen in de onderlinge vervanging en verdringing, in verbetering van de nuttige gebruiksduur van materialentoepassingen, in het effectief hergebruiken van materialen. Deze zaken liggen niet steeds in elkaars verlengde; het gaat dan om onderling afwegen van geval tot geval. Tot slot van Hoofdstuk 3 worden twee beïnvloedingsmogelijkheden behandeld, die — zeker voor Nederland — belangrijk worden geacht en die een grote technologische inbreng zullen omvatten. Het zijn de bijdrage die de ontwerpers — in ruimste zin — van produkten kunnen leveren en de ontwikkeling en toepassing van hergebruiksmethoden en -processen.

### 2. Eindigheid van grondstoffenvoorraden

door dr. J.W. Brinck<sup>1)</sup>

#### 2.1. Inleiding

De mensheid is druk bezig, zich los te maken van de beperkingen van zijn aardse milieu, vrijwel onuitputte-

lijke energiebronnen tot ontwikkeling te brengen en — in het algemeen — zijn materiële levensomstandigheden op een tot dusver ongekennde wijze te verbeteren. Toch wordt er juist de laatste jaren ook weer veel gesproken en geschreven over de eindigheid van onze planeet met haar hulpbronnen en de hierdoor bepaalde onmogelijkheid van voortdurende exponentiële groei. Een argeloos waarnemer zou zelfs kunnen denken dat deze herontdekking van Malthusiaanse waarheden er voornamelijk op is gericht een onwetend publiek vertrouwd te maken met het idee van een welhaast onafwendbare ontwikkeling naar premature sociale en culturele seniliteit in een morsige omgeving, waarin de lucht van koolsoep als één van de meer bevredigende componenten van ons geurbelevens zou moeten worden gewaardeerd.

Het aanhalen van deze schrille tegenstelling tussen waarneembare materiële ontwikkelingen en het daarmee gepaard gaande (cultuur?)-pessimisme zou hier weinig op zijn plaats zijn, ware het niet dat juist de eindigheid en de dreigende uitputting van minerale grondstoffenvoorraden in een opzienbarende studie van Meadows [1] werd gezien als een eerste knelpunt waardoor de groei van onze mondiale maatschappij op noodlottige wijze zou worden geremd. Dat het hierbij gekozen uitgangspunt tamelijk naïef was en nauwelijks in overeenstemming met de reeds bekende feiten betreffende minerale hulpbronnen, wordt inmiddels door de meeste ter zake kundigen wel erkend.

De oliecrisis van 1973 was beslist geen gevolg van acute tekorten, veroorzaakt door fysieke uitputting van de reserves. De crisis demonstreerde echter duidelijk dat er wel degelijk een potentieel gevaar bestaat voor uit politiek-economische overwegingen welbewust gecreëerde grondstoffentekorten. De oorzaken daarvoor moeten echter worden gezocht in processen binnen het sociale systeem. De recente studie van Mesarović en Pestel [2], waarin de wereld in een tiental onafhankelijk van elkaar reagerende regio's werd onderverdeeld, wijst duidelijk in deze richting, maar is, zo mogelijk, nog zorgwekkender in haar voorspellingen dan die van Meadows.

Enkele actuele voorbeelden van zulke processen binnen het sociale systeem zijn de volgende.

- Het faseverschil tussen vraag en aanbod als gevolg van de exploratiecyclus (zie ook Hoofdstuk 2, par. 3). Hierdoor ontstaan spanningen.
- Een mogelijk onvoldoende ontwikkeling van productiecapaciteiten in de gunstigste wingebieden

<sup>1)</sup> Discussiebijdragen en aanvullingen van prof. ir. H.J. de Wijs zijn in de bijdrage opgenomen.



als gevolg van politieke instabiliteit of angst voor nationalisatie van de mijnbouwindustrie.

- Het reserveren van (de ontginning van) grondstoffen voor de nationale industrie.
- Het wegbelasten van exploratie-opbrengsten tot een niveau waarbij verdere exploratie — met zijn hoge risico's — onmogelijk of tenminste onaantrekkelijk wordt.

Voorts zal bij dit alles in toenemende mate rekening moeten worden gehouden met de invloed van aspecten van bevolkings- en milieuproblemen en van verschillen in welvaartsverdeling.

De vaststelling van de mogelijkheid van bepaalde grondstoffentekorten op korte termijn maakt het noodzakelijk, de waarschijnlijkheid en de ernst van deze bedreigingen te evalueren. Daarnaast dient men maatregelen te overwegen om de continuïteit van bestaande voorzieningen te garanderen gedurende de tijd die nodig is om ontstane tekorten op te heffen of eventuele aanpassingen door te voeren.

Tengevolge van verschillen in het specifiek ertsvormend vermogen is de verdeling in de aardkorst van de minerale hulpbronnen vaak zeer inhomogeen (zie Hoofdstuk 2, par. 3). Daarom is een volledige autarkie op korte of langere (50 - 150 jaar) termijn zelfs voor grote mogendheden (US, USSR) of in supranationaal verband (EEG) onmogelijk. Ook het streven naar autarkie is ten eerste ongewenst, omdat het een geweldige economische verspilling met zich mee zou brengen. In de plaats daarvan zou er zowel op regeerings- als op bedrijfsniveau naar kunnen worden gestreefd de industriële produktie zo onafhankelijk mogelijk te maken van de willekeur van derden. Dit zou onder meer kunnen worden bevorderd door spreiding van politiek-economisch onzekere voorzieningsbronnen en door het sluiten van bi- of multilaterale bevoorradingsovereenkomsten. Het kan vooral ook door het zoeken van voorzieningsgaranties in supranationaal (EEG, VN) verband, waarin bijvoorbeeld een recht van gelijke toegang tot de diverse hulpbronnen zou worden gewaarborgd. Daarnaast zou kunnen worden gestreefd naar het ontwikkelen van voorzieningsbronnen onder eigen beheer. Hierbij zouden — mede gezien de nationale verworvenheden en ervaring — de mogelijkheden van grondstoffenwinning op de zeebodem (continentaal plat), op de oceaanbodem of uit zeewater de volle aandacht verdienen. Het industriële produktieapparaat zou hierbij steeds meer kunnen worden gericht op die activiteiten waarvan het eigen potentieel en het comparatieve voordeel de veronderstelde gevaren van wederzijdse afhankelijkheid ondergeschikt maken aan de wederzijdse voordelen.

## 2.2. Het schaarstebegrip

De hierbovengenoemde, door tijd en plaats bepaalde vormen van mogelijke grondstoffentekorten, ontstaan door eindigheid of (tijdelijke) ontoegankelijkheid. Toch geven zij weinig of geen inzicht in het begrip *schaarste* in economische zin. Wanneer we ze hier-

mee gelijk zouden stellen, zou dit vrijwel zeker leiden tot de naargeestige verwachtingen van het eerste en tweede rapport aan de Club van Rome.

Schaarste in economische zin is geen nieuw begrip, noch een begrip dat speciaal met angst voor de toekomst in verband hoeft te worden gebracht. Het is tenminste zo oud als de economie zelf en heeft in bepaalde vormen waarschijnlijk reeds sinds pre-historische tijden bestaan. Het begrip vormt de grondslag voor de verklaring van het waardeverschijnsel en dus ook voor het prijsniveau van „schaarse” grondstoffen en materialen.

De tegenwoordige prijsverhoudingen tussen minerale grondstoffen, mijnbouwprodukten, ertsen en concentraten worden dan ook in eerste aanleg bepaald door hun absolute zeldzaamheid (clarke) en hun specifiek ertsvormend vermogen in de voor exploitatie toegankelijke delen van het geologisch milieu (zie Hoofdstuk 2, par. 3.2.). In deze, op de wereldmarkt door vraag en aanbod bepaalde, prijsverhoudingen zijn de kosten van exploratie en exploitatie volledig verdisconteerd, evenals monopolievoordelen of economische nadelen ten gevolge van de inhomogene verdeling van grondstoffen over de aardbol. Het is wel opmerkelijk dat selectief gebruik van verschillende grondstoffen voor de meest uiteenlopende doeleinden gedurende bijna 9.000 jaar, nauwelijks of geen waarneembare verandering heeft gebracht in hun door natuurlijke parameters bepaalde schaarste. Zij liggen als het ware nog steeds voor het opscheppen, hoewel de samenstelling van het benutte grondstoffenpakket en de kwaliteit van een groot aantal ertsen hierbij aan voortdurende verandering onderhevig was en is. Beschouwen we hun aandeel in het bruto mondiale produkt als een maatstaf voor hun relatieve schaarste, dan zien we dat dit ondanks de snelle kwantitatieve en kwalitatieve groei van het grondstoffenverbruik sinds 1900, eerder is afgenomen dan gelijk gebleven. Hoewel we hieruit niet mogen afleiden dat de toenemende exploitatie van grondstoffen hun economische schaarste doet afnemen, blijkt er wel uit dat andere dan zuiver fysische factoren medebepalend zijn voor de grondstoffenschaarste in de economische zin. Uiteraard volgt er ook uit dat het gebruik van de grondstoffen welvaartverhogend heeft gewerkt.

Schaalvoordelen geven misschien wel de meest voor de hand liggende verklaring voor dit verschijnsel. Hoewel hierdoor grote, laagwaardige ertsafzettingen ontginbaar worden tegen gelijkblijvende of afnemende kosten, vergt het exploiteren van zulke afzettingen een steeds toenemende dosis van kennis en kunnen, naast de toepassing van toenemende hoeveelheden energie. Een 4-5% kopererts aan het begin van deze eeuw kon nog wel door een man met zijn ezeltje en enkele zeer eenvoudige gereedschappen worden ontgonnen. De ontginning van gedissemineerde koperafzettingen, de zogenaamde porphyry coppers met gemiddelde kopergehalten die tot 0,4% kunnen af dalen, vergen echter het gehele gamma van technolo-



gisch en organisatorisch talent van deze tijd, naast grote hoeveelheden thermodynamisch hoogwaardige energie. Prognosen voor de in situ ontginning van nog laagwaardiger ertsen voorzien zelfs het gebruik van nucleaire explosieven.

Ook wanneer we de invloed van vernuft en de beschikbaarheid van energie hun rol in de bepaling van het schaarstebegrip toekennen, geeft dit nog geen voldoende verklaring voor het verschijnsel van de onderlinge samenhang van de grondstoffenprijzen. Het is geen onredelijke aanname dat in 1970, op basis van een ruwe schatting voor koper, slechts een tweehonderdduizendste deel van alle toegankelijke eindige grondstoffen voor dit metaal uit het toen geldende grondstoffenpakket was geëxploiteerd en dat de jaarlijkse winning ongeveer een tienmillioenste deel bedroeg [3]. Toch zou dan kunnen worden verwacht dat het selectieve gebruik van deze en bepaalde andere grondstoffen de verhoudingen van hun relatieve zeldzaamheid in economisch ontginbare afzettingen — en hiermee hun schaarste — zou hebben gewijzigd. Dat dit niet is gebeurd kan m.i. dan ook slechts worden verklaard door een vrijwel volledige vervangbaarheid van ter zake bruikbare grondstoffen aan te nemen. Ieder uitschieten van prijzen (verandering van de relatieve schaarste) werd dus door concurrerende vervanging gecompenseerd.

Deze verklaring wint aan kracht wanneer we de *prijsoontwikkeling* en het *gebruik* van metalen met elkaar in verband brengen. Hierbij spelen metallurgische kennis en de energie die nodig is om de diverse metalen aan hun ertsmineralen te onttrekken een veel belangrijker rol dan hun relatieve zeldzaamheid als grondstof en — in de meeste gevallen — zelfs dan hun specifieke eigenschappen voor bepaalde toepassingen. Zo weten we dat omstreeks zesduizend jaar geleden, toen het smelten van koper en lood uit hun ertsen reeds bekend was, de Egyptische farao's het toen zeer zeldzame (meteoriet-)ijzer hoger schatten dan goud [4]. Naarmate de metallurgische, geologische en mijnbouwkundige kennis groeide en goedkopere energie beschikbaar kwam zien we, met de verandering van het gebruik en de behoeften, duidelijke veranderingen in de onderlinge prijzen optreden, waardoor omstreeks 800 v. Chr. ijzer het voornaamste gebruiksmetaal werd. Deze positie heeft het tot op heden behouden, op grote afstand gevolgd door het als grondstof minder zeldzame aluminium. Dit metaal kwam echter eerst aan het begin van deze eeuw tot industriële ontwikkeling en verdrong in de tweede helft van de vijftiger jaren het veel zeldzamere, maar toch slechts weinig duurdere koper van de tweede plaats. Hoewel aluminium zowel ijzer als koper in vele toepassingen vervangt of zou kunnen vervangen, zetten deze laatste metalen hun jaarlijkse groei toch ook voort, zodat hier nog nauwelijks sprake kan zijn van een door dreigende *uitputting* gedwongen vervanging.

### 2.3. Het verband tussen schaarste en verdringing

Ook de historische verdringing van mens en paard als energiedragers door hout, van hout door steenkool en van steenkool door aardolie en aardgas, zou kunnen worden gezien als een vorm van concurrerende vervanging ten behoeve van één bepaald doel: de productie van energie. Oorspronkelijk kleine kostenverschillen, als functie van prijs en specifieke eigenschappen voor bepaalde toepassingen, kunnen de vervanging van bepaalde materialen door andere inleiden. Nieuwe toepassingen en toenemende productie kunnen deze kostenverschillen accentueren, waardoor de vervanging — onder aanname van tenminste gelijkblijvende welvaart — in de meeste gevallen onomkeerbaar zal blijken.

De studies van Marchetti [5, 6] wijzen uit dat zulke verdringingen ieder een eigen, vaak zeer lange periode (bijv. tientallen jaren) hebben, waarbij de tijd die nodig is om het marktaandeel van een bepaalde hulpbron voor een bepaalde toepassing van 1% op 50% te brengen, als maatstaf wordt gebruikt. Hoewel de studies van Marchetti zich allereerst op energiegroestoffen richtten, mogen soortgelijke tijdsverbanden ook voor andere grondstoffen worden aangenomen [7]. Uitputtingsverschijnselen voor de grondstoffen van het oorspronkelijke materiaal spelen hierbij geen enkele rol en de mate van verdringing alsmede de hiervoor vereiste tijdsduur lijken reeds in een vroeg stadium bepaald.

Het lijkt er veel op dat het hier beschreven verschijnsel in duidelijk verband staat met de optimale productiecapaciteiten van individuele delfstoffenafzettingen. Men denke hierbij bijv. aan de door Lasky [8] beschreven gemiddelde productieplafonds voor steenkool en enkele metalen in de Verenigde Staten. De verdringingsmogelijkheden zouden dan terug te voeren zijn op de natuurlijke zeldzaamheid van verschillende grondstoffen, welke voor een gegeven technologische en mijnbouwkundige ontwikkeling zowel het productieniveau als de groeisnelheid van de productie voor een gegeven materiaal bepaalt. Hoewel we op goede gronden mogen aannemen dat er ook op wereldschaal dergelijke gemiddelde productieplafonds zullen bestaan, zijn deze nog slechts voor weinig grondstoffen waargenomen, laat staan onderwerp van studie geweest.

Het enige, tamelijk speculatieve en bijzondere voorbeeld van zo'n productieplafond dat wereldwijd werd bereikt, betreft de goudindustrie. De meer dan evenredige toename tijdens de zestiger jaren van de goudschaarste t.o.v. de andere componenten van het grondstoffenpakket maakte dat het goud zijn taak als internationale monetaire standaard — en dus van *schaarstemeter* — niet langer naar behoren kon vervullen. De hiertoe vereiste groei van de jaarlijkse productie kon — mede door stijging van de kosten — slechts worden verkregen door het kannibaliseren van de ertsreserves. Dit wil zeggen dat door selectieve ontginning van rijker erts een belangrijk deel van het



minder rijke erts in de mijn achterbleef en bij de bestaande prijsverhoudingen niet langer ontginbaar was. Door de sterke stijging van de prijzen op de vrije goudmarkt sinds 1971 kon dit minder rijke erts weer worden ontgonnen. Dit veroorzaakte, bij gelijkblijvende capaciteit van de verwerkingsinstallaties, een duidelijke teruggang van de goudproductie. Stabilisatie van de prijs door normale marktkrachten kan nu gaan optreden. Gezien de omvang van de aangetoonde en afgeleide reserves lijkt het geen twijfel dat de productie zich nog zeer lang op dit lagere niveau kan handhaven.

Het hier genoemde voorbeeld moet speculatief worden geacht omdat de ontdekking van een tweede Witwatersrandbekken het huidige productieplafond nog belangrijk zou kunnen verhogen.

De geleidelijke vervanging van de monetaire rol van goud door "Special Drawing Rights" en internationale monetaire afspraken is overigens een interessant voorbeeld van een poging tot vervanging van een spe-

cifieke taak van een eindige grondstof door (politek-economisch) vernuft, waardoor het schaarseste-begrip duidelijk naar het sociale vlak wordt verschoven.

## 2.4. Een optimistischer toekomstbeeld

De meest gefundeerde kritieken op de onheilsvoorspellingen van het eerste rapport aan de Club van Rome wijzen steeds weer op bovengenoemde, waarneembare en goed gedocumenteerde, vervangingsprocessen. Overlevingsstrategieën die een vermindering van de groei niet alleen als weinig realistisch maar vaak ook als ongewenst beschouwen, zijn er dan ook meestal op gericht de zeldzamere grondstoffen, met betrekkelijk lage productieplafonds, te vervangen door praktisch onuitputtelijke grondstoffen zoals aluminium, ijzer, magnesium enz., die de hoofdbestanddelen van het geologisch milieu uitmaken.

Uit interessante inleidende studies van Goeller en Weinberg [9] op het gebied van mogelijke vervan-

Tabel 1. De gemiddelde samenstelling van het eindige grondstoffenpakket in 1968 [9]

„DEMANDIET” <sup>1)</sup>			
<i>Verenigde Staten</i>			
(CH <sub>2</sub> ) <sub>1,14</sub> ,8022	(SiO <sub>2</sub> ) <sub>1,115</sub>	(CaCO <sub>3</sub> ) <sub>0,0453</sub>	Fe <sub>0,110</sub>
Al <sub>0,0011</sub>	(Cu,Zn,Pb) <sub>0,0004</sub>	Mg <sub>0,0004</sub>	N <sub>0,0076</sub>
O <sub>0,0053</sub>	Na <sub>0,0053</sub>	Cl <sub>0,0053</sub>	S <sub>0,0023</sub>
P <sub>0,0008</sub>	K <sub>0,0007</sub>	X <sub>0,0008</sub>	
<i>Wereld</i>			
(CH <sub>1,71</sub> ) <sub>0,6660</sub>	(SiO <sub>2</sub> ) <sub>0,2117</sub>	(CaCO <sub>3</sub> ) <sub>0,0815</sub>	Fe <sub>0,145</sub>
Al <sub>0,0007</sub>	(Cu,Zn,Pb) <sub>0,0004</sub>	Mg <sub>0,0004</sub>	N <sub>0,0068</sub>
O <sub>0,0045</sub>	Na <sub>0,0045</sub>	Cl <sub>0,0045</sub>	S <sub>0,0023</sub>
P <sub>0,0007</sub>	K <sub>0,0007</sub>	X <sub>0,0008</sub>	

X vertegenwoordigt hierin alle andere chemische elementen; in volgorde van belangrijkheid Mn, Ba, Cr, F, Ti, Ni, Ar, Sn, B, Br, Zr; alle anderen met jaarproductie minder dan 100.000 ton (wereld) of 30.000 ton (V.S.).

Gegevens voor 1968:	<i>Verenigde Staten</i>	<i>Wereld</i>
Totale geproduceerde hoeveelheid (10 <sup>6</sup> ton)	3.360	17.300
Totale waarde (10 <sup>6</sup> US \$)	42.200	158.500
Gemiddelde waarde (US \$/ton)	12,55	9,16
Gemiddeld energieverbruik (10 <sup>6</sup> J/ton)	4.100	2.880
Totale hoeveelheid (10 <sup>12</sup> mol)	154,8	604,9
Gemiddeld moleculair gewicht	26,7	28,6
Per capita gebruik (ton)	17	5
Per capita energie (10 <sup>9</sup> J)	67,7	13,7
Per capita vermogen (kW)	2,14	0,43

<sup>1)</sup> Bron: Met enkele modificaties afgeleid van gegevens in Mineral Facts and Problems, 1970, US Bureau of Mines Bulletin 650.



gen van grondstoffen blijkt duidelijk dat dit proces zich voor de metalen reeds tot op zeer grote hoogte heeft voltrokken. Zij berekenden zowel voor de Verenigde Staten als voor de wereld als geheel een imaginair molecuul "Demandiet", waarin de componenten de eindige grondstoffen proportioneel met de omvang van de bestaande vraag vertegenwoordigen. Daarnaast berekenden zij soortgelijke moleculen voor specifieke groepen van toepassingen, zoals het gemiddelde metaalmolecuul "Avalloy", het gemiddelde industriële gas "Avgas", "Avchem", "Avfert" enz.. Een volledige vervanging van zeldzame materialen door meer algemeen voorkomende heeft nog niet plaatsgevonden en is op korte termijn ook beslist niet te verwachten. Dit kan worden verklaard uit het feit dat de thermodynamisch hoogwaardige energie die veelal nodig is om deze minder schaarse materialen aan hun erts te onttrekken, zelf een schaars produkt is. De schaarste hiervan wordt voornamelijk bepaald door de zeldzaamheid en produktieplafonds van

steenkool, aardolie en aardgas, die te zamen als koolwaterstoffen 67% (wereld) tot 80% (V.S.) van het Demandiet-molecuul uitmaken (Tabel 1 en 2).

Voor een ruw onderzoek of deze veronderstelling nu de bestaande prijsverschillen tussen verschillende metalen genoegzaam verklaart, zouden we moeten aannemen dat de factor vernuft (technologie, management, marketing enz.) voor de verschillende metaalindustrieën gelijk in omvang is<sup>1)</sup>. Voorts zou voor de invloed van deze factor op de prijs van het produkt een min of meer constante verhouding moeten worden aangenomen tot de moeite (energie) die het kost om een metaal aan zijn erts te onttrekken. Na deze vereenvoudigingen kunnen we dan door het prijsverschil tussen het metaal als baar en als erts (of concentraat) te delen door de hoeveelheid energie die nodig is om

<sup>1)</sup> In hoeverre deze vereenvoudiging toelaatbaar is, moet hier in het midden blijven.

**Tabel 2.** De gemiddelde samenstelling van het in 1968 gebruikte metaal [9]

„AVALLOY” <sup>1)</sup>				
<i>Verenigde Staten</i>				
Fe ,8570	Mn ,0119	Si ,0105	Cr ,0050	Ni ,0015
Al ,0822	Cu ,0138	Zn ,0123	Pb ,0025	Sn ,0003
Ti ,0002	Mg ,0021	X ,0003	Y ,0004	
<i>Wereld</i>				
Fe ,8983	Mn ,0176	Si ,0071	Cr ,0045	Ni ,0009
Al ,0447	Cu ,0135	Zn ,00997	Pb ,0020	Sn ,0003
Ti ,0001	Mg ,0009	X ,0002	Y ,0002	

X representeert de overige ferrometalen; Y de overige non-ferrometalen

<i>Gegevens voor 1968:</i>	<i>Verenigde Staten</i>	<i>Wereld</i>
Totale geproduceerde hoeveelheid (10 <sup>6</sup> ton)	85,6	424,3
Totale waarde (10 <sup>6</sup> US \$)	16.050	75.775
Gemiddelde waarde (US \$/ton)	187,5	178,6
Gemiddelde waarde van Fe, Si, Al, Ti, Mg (US \$/ton)	154,9	145,4
Gemiddeld energieverbruik (10 <sup>6</sup> J/ton Avalloy)	44.280	17.760
Gemiddeld moleculair gewicht	58,1	55,2
Per capita gebruik (ton)	0,43	0,12
Per capita energie (10 <sup>9</sup> J)	18,9	4,7
Per capita vermogen (kW)	0,60	0,15

<sup>1)</sup> Bron: Afgeleid uit gegevens in Mineral Facts and Problems, 1970, US Bureau of Mines Bulletin 650. Alle hoeveelheden hebben betrekking op nieuw metaal, geproduceerd uit ertsen.



**Tabel 3.** Verhouding tussen totale opwerkingskosten en benodigde energie voor de extractie van ijzer, aluminium, koper, titanium en magnesium uit hun erts

	Baarprijs <sup>1)</sup> (US \$/kg)	Richtprijs erts <sup>2)</sup> (US \$/kg)	Benodigde energie <sup>3)</sup> (10 <sup>6</sup> J/kg)	Baarprijs – Ertsprijs Benodigde energie (US \$/10 <sup>3</sup> J)	Ertsprijs Baarprijs (%)
Fe	0,1603	0,01746	36,4	3,92	10,9
Al	0,5975	0,03400	203,8	2,76	5,7
Cu	1,0538	0,70659	67,0	5,18	67,1
Ti	3,1967	0,0638	524,5	5,97	2,0
Mg	0,79	(zeewater)	360,0	2,19	—
Gemiddelde voor de 5 metalen				4,00	

<sup>1)</sup> Gemiddelden over 1966-70 volgens Commodity Data Summaries, 1971, US Bureau of Mines.

<sup>2)</sup> Berekend uit clarke en specifiek ertsvormend vermogen (zie ook Hoofdstuk 2, par. 3), behalve voor Ti, waar de prijs van ilmeniet volgens Commodity Data Summaries is gehanteerd.

<sup>3)</sup> Volgens Goeller en Weinberg [9]: energie als steenkoolequivalenten, 40% rendement voor elektriciteitsopwekking.

het metaal te produceren een prijs per eenheid van energie vinden waarin tevens ligt besloten een prijs voor de (voor de diverse metalen gelijk in omvang veronderstelde) factor „vernunft“ (Tabel 3).

Men zou misschien voor ijzer, aluminium en koper een duidelijker correlatie verwachten tussen opwerkingskosten en benodigde energie. Dat deze niet hoger ligt laat zich deels verklaren uit aanzienlijke verschillen in energieprijzen voor de verschillende industrieën. Zo zal de aluminiumindustrie, met zijn relatief hoge energiebehoeften, aangewezen zijn op de goedkoopste energiebronnen. Door het hoge aluminiumgehalte van bauxiet of het tussenprodukt aluinaarde en de hoge eenheidsprijs van het eindprodukt spelen vervoerskosten een relatief ondergeschikte rol. Hierdoor kan de aluminiumindustrie de plaatsen opzoeken waar de goedkoopste energie voorhanden is.

Ook ijzerertsen hebben een hoog ijzergehalte of zijn op betrekkelijk eenvoudige wijze te concentreren. De veel geringere energiebehoeften en de hieruit voortvloeiende lagere metaalprijs maken echter dat de vervoerskosten van fabriek naar gebruiker een relatief belangrijker rol zullen gaan spelen. Dit maakt verplaatsing van de ijzerindustrie naar de verbruikscentra, met een wat hogere (gemiddelde) energieprijs, acceptabel. Koperertsen daarentegen hebben een dusdanig laag metaalgehalte dat zij zonder belangrijke concentratie, waarvoor een zeer groot deel van de energiebehoeften ter plaatse moet worden geleverd, niet te transporteren zijn. Waar de plaats van de ertsafzetting door natuurlijke oorzaken is bepaald, kan de mijnbouwer weinig invloed uitoefenen op de prijs die hij voor energie zal moeten betalen, hoewel deze uiteraard toch een belangrijke rol speelt bij de beoordeling of een bepaalde koperafzetting al dan niet kan worden ontgonnen.

Titanium en magnesium nemen in dit verband volkomen tegengestelde posities in, die zich in dit geval slechts uit hun metaaleigenschappen laten verklaren. De zeer hoge energiebehoefte voor de productie van

titanium maakt de kostprijs van het metaal zo hoog dat het niet met de normale toepassingen van ijzer, aluminium of koper kan concurreren. Slechts voor speciale toepassingen (80% in lucht- en ruimtevaart) zijn de unieke eigenschappen belangrijk genoeg om het een markt te garanderen. Op deze markt heeft titanium een zekere monopoliepositie en hier wordt zijn prijs voornamelijk bepaald door die van concurrerende legeringen. De toepassingen zijn echter nog beperkt en daardoor spelen voordelen van schaalvergroting nauwelijks een rol. Daar echter de energiekosten (in geld) het gemiddelde niet te boven behoeven te gaan lijkt het waarschijnlijk dat de factor vernunft in dit geval een wat hogere waardering ondervindt dan bij ijzer, aluminium of koper. Bij magnesium liggen de verhoudingen juist omgekeerd en wordt de toepassing voor een groot deel bepaald in concurrentie met aluminium. Het nog hogere energieverbruik dwingt hier juist wel tot het zoeken naar de goedkoopste energie en daar deze bijna niet lager in prijs kan zijn dan voor aluminium is het zeer wel mogelijk dat de factor vernunft hier wat lager is gewaardeerd.

Door de bruikbare energie steeds meer te onttrekken aan thermodynamisch laagwaardige energie uit de onuitputtelijke energiebronnen zon, aarde, wind en water zouden we de afhankelijkheid van eventuele productieplafonds van de schaarsere fossiele brandstoffen kunnen doorbreken. De productie van schone zonne-energie door middel van zonnecellen, gemaakt van het op één na meest voorkomende element in de aardkorst (silicium), lijkt dan ook een gunstige oplossing en is in meerdere studies voorgesteld. De geweldige investeringen van schaarse energie uit de fossiele brandstoffen die hiervoor zouden zijn vereist, maken een dergelijke omschakeling in één stap vrijwel onmogelijk en zeker sociaal-economisch onaanvaardbaar. Een intermediair stadium van productie van (veel minder schaarse) kernenergie lijkt dan ook bijna onvermijdelijk in dit beeld van progressieve vervanging. Het begrip schaarste kan op deze wijze steeds verder



worden verschoven van de door het milieu opgelegde naar de door vrije keuze te bepalen beperkingen, opgelegd door grenzen ten aanzien van de factor vernuft. Een dergelijke simpele verklaring van de geleidelijk voortschrijdende ontwikkeling ten aanzien van het begrip schaarste uit de dingen die we om ons heen zien gebeuren, vraagt uiteraard om een diepere analyse van de factor vernuft. In het kader van deze studie kan hierop nauwelijks worden ingegaan.

De Solla Price heeft gepoogd, de groeiwetten van wetenschap en technologie met wetenschappelijke methoden te bepalen [10]. Hij vond dat deze groei, als functie van de bevolkingsgrootte en de marginale kosten van wetenschappelijk talent, waarschijnlijk door een soortgelijk produktieplafond is begrensd als we reeds eerder voor de exploitatie van eindige grondstoffen veronderstelden. Hij wist met voorbeelden plausibel te maken dat dit plafond voor de Verenigde Staten ongeveer was bereikt of binnen de eerstvolgende verdubbelingsperiode zou worden bereikt. Dat de ontwikkelingslanden hun wetenschappelijk potentieel bijna explosief zouden kunnen ontwikkelen, illustreerde hij aan de hand van de wetenschappelijke ontwikkeling van Japan sinds 1870.

Het is uiteraard speculatief, te veronderstellen dat ook voor de andere componenten van de factor vernuft zulke beperkingen, naar analogie met die voor wetenschappelijk vernuft, zullen gelden. Dat ze niet zouden bestaan, lijkt echter wel zeer onwaarschijnlijk. In ieder geval zijn bij het denken over de mogelijke ontwikkeling van de materiële welvaart de termen vertrouwen en bezorgdheid, gebaseerd op een zo volledig mogelijke kennis van feiten, beter op hun plaats dan optimisme of pessimisme.

### 3. Energie-analyse in zijn maatschappelijke context

door dr. A.A. de Boer<sup>2)</sup>

#### 3.1. Inleiding

De ontwikkelingen in de energiesector hebben de laatste jaren geleid tot een grote belangstelling voor de vraag in welke mate energie een rol speelt in het produktieproces. De aandacht voor een nieuwe tak van technologisch-economisch onderzoek is groeiende: de energie-analyse, die zich bezig houdt met de bepaling van de hoeveelheid energie die bij de vervaardiging van een bepaald produkt totaal is gebruikt bij de opeenvolgende toepassing van een aantal produktieprocessen. Met andere woorden: niet alleen de energie, die direct in het proces wordt gebruikt, maar ook de energie die in vorige stadia — grondstoffen en tussenprodukten, machines, diensten — ten behoeve van het eindprodukt is gebruikt moet bij de analyse

worden betrokken. Alleen dan immers kan men nagaan op hoeveel energie beslag wordt gelegd voor een bepaald produkt. Men kan hierbij verschillende wegen bewandelen [11]. Een speciaal onderwerp binnen dit kader vormt de energie-analyse van de energieproductie zelf [12].

De belangstelling voor dit onderzoek is direct verklaarbaar uit de gebeurtenissen die zich de laatste decennia in de energiesector hebben afgespeeld. De lage olieprijs die een gevolg waren van de mogelijkheid om ongeremd grote hoeveelheden olie tegen lage kosten te winnen, hebben geleid tot een sterke groei van het energieverbruik. Daardoor is niet alleen het energieverbruik als zodanig sterk gegroeid, maar is ook de structuur van de energievoorziening ingrijpend gewijzigd. De zeer lage energieprijzen hebben geleid tot een structuur van de produktie waarbij energie werd toegepast ter besparing op kapitaal en arbeid. Zo ontstond de tendens naar het gebruik van energie-intensieve produkten en produktiewijzen.

Commentaar van dr. ir. H. Hoog en dr. ir. J.W.M. Steeman is in de bijdrage en de appendix opgenomen. Appendix 1 is een bijdrage van drs. W. Smit.

In de volgende paragrafen wordt de betekenis van energie-analytisch onderzoek verkend. In Appendix 1 worden de rechtstreekse doelstellingen en de praktische uitvoering van energie-analyse besproken, alsmede enkele problemen daarbij.

#### 3.2. Energie-analyse als element bij de beleidsontwikkeling

Het ligt voor de hand te verwachten dat de stijging van de energieprijzen remmend werkt op het energieverbruik en dat de veranderende prijsverhoudingen tussen kapitaal, arbeid, energie en grondstoffen leidt tot een andere samenstelling van het pakket produktiemiddelen dat wij aan onze industriële produktie ten grondslag leggen. Hierdoor wordt de neiging tot de keuze van energie-intensieve produktieprocessen geremd. Het is echter een illusie te menen dat de prijzen van de produkten deze samenstelling optimaal zullen reguleren. Dit geldt zowel met betrekking tot de kapitaalmarkt en de arbeidsmarkt als wat betreft de grondstoffensituatie en de energieschaarste. Voor de energiesector betekent dit de noodzaak van een correctie, en het is juist hier dat het belang ligt van de energie-analyse.

Men moet zich dan echter de vraag stellen wat precies de rol van de energie-analyse is met betrekking tot energie en grondstoffen. De volgende vraag is welke mogelijkheden er zijn om tot ondubbelzinnige en praktisch bruikbare resultaten te komen. Verder: in hoeverre kunnen wij voldoende rekening houden met de noodzaak het gebruik van brandstoffen af te wegen tegen de mogelijke toepassing als grondstof voor de chemische industrie. Tenslotte: wat betekent dit alles in de context van de algemene problematiek van groei en uitputting? Deze laatste vraag komt in par. 3.3. aan de orde.

<sup>2)</sup> Commentaar van dr. ir. H. Hoog en dr. ir. J.W.M. Steeman is in de bijdrage en de appendix opgenomen. Appendix 1 is een bijdrage van drs. W. Smit.



### *De rol van energie-analyse m.b.t. energie en grondstoffen*

Wat dit punt betreft moet men onderscheid maken tussen drie zaken: de analyse zelf, het wetenschappelijk verwerken van de resultaten en tenslotte het hierop baseren van een beleidsadvies. De eigenlijke energie-analyse omvat de bepaling van de energiekosten van materialen, producten, installaties en diensten. De energie-analyse van de processen in de energiesector zelf vormt hiervan onveranderlijk een zeer belangrijk onderdeel, in de eerste plaats omdat deze sector zelf een hoofdgebruiker van energie is en in de tweede plaats omdat de producten uit deze sector als energie-verbruiken in elke andere energieanalyse weer een grote rol spelen. Het gebruik van de resultaten van de energie-analyses kan geschieden door deze toe te passen bij systeem-analytische beschrijving van processen en bij de modellenbouw. Dit is de uiteindelijke bedoeling achter het verrichten van de energie-analyse, omdat aldus de consequenties van bepaalde ontwikkelingen op het gebied van industriële productie, dienstverlening en consumptie kunnen worden overzien voor zover het betreft het verbruik van energie. De resultaten van zulke systeemstudies kunnen in aanmerking worden genomen bij het formuleren van bepaalde maatregelen in het kader van een beleid. De energie-analyse wordt daarmee een bouwsteen voor het beleid.

Wat dit laatste betreft is een waarschuwing op zijn plaats. De ervaring heeft geleerd [13] dat fraaie modelstudies als leidraad voor een politiek misleidend kunnen zijn, vooral wanneer men de beperkte realiteitswaarde van een dergelijke studie uit het oog verliest. Studies als de hier bedoelde moeten dienen om ons inzicht te vergroten, niet om een strak programma op te stellen. Er duiken in de ontwikkeling van de werkelijkheid namelijk altijd onvoorziene gebeurtenissen op en bovendien zijn de resultaten van de energie-analyse sterk afhankelijk van gekozen methoden en noodzakelijkerwijs gebruikte benaderingen en simplificaties.

### *Bruikbare resultaten*

Daarmee zijn wij bij de tweede vraag terecht gekomen: welke mogelijkheden zijn er om op betrouwbare wijze de energie te berekenen die in de verschillende fasen van een productieproces wordt toegepast? Bij de beantwoording van die vraag moet men er rekening mee houden dat het nog te vroeg is om van resultaten te spreken. Het is nog maar kort geleden dat Van Gool [14] in ons land wees op het belang van het energie-analytisch onderzoek. Een systematisch overzicht van problemen en mogelijkheden verscheen gedurende 1974/1975 in het tijdschrift *Energy Policy* [15]. Opgemerkt zij dat reeds daarvoor in de vakpers aandacht was besteed aan de totale energie die voor bepaalde systemen is benodigd [16, 17, 18].

Dat er in de praktijk problemen ontstaan wordt nader uiteengezet in Appendix 1. De meest voor de hand lig-

gende mogelijkheid is de technische methode, waarbij de energiekostenberekening is gebaseerd op detailgegevens van processen. Het probleem hierbij is de detailleringsgraad. Het spreekt vanzelf dat de analyse naar believen kan worden voortgezet maar het is inmiddels wel duidelijk geworden dat het doorvoeren van de analyse in extremis geen zin heeft en dat de detaillering daarom op een welomschreven doelstelling moet worden gebaseerd. Meestal immers zal er sprake zijn van vergelijkingen tussen alternatieven: het is van meer belang te weten welk productieproces in totaal op de meeste energie beslag legt dan de absolute cijfers te berekenen. In zo'n geval zijn onderdelen aan begin en eind van de energieketen vergelijkbaar en dus elimineerbaar.

Omdat het echter moeilijk is zo gedetailleerd te werk te gaan wordt dikwijls de methode gevolgd waarbij economische gegevens worden omgezet in energiegegevens. Voor producten die uit energie-oogpunt met elkaar overeenstemmen is het denkbaar binnen zekere grenzen aan te geven hoeveel energie in een proces wordt geïntroduceerd per geld-eenheid die aan dat produkt wordt besteed. Men kan verschillende problemen benaderingsgewijs oplossen door van vuistregels uit te gaan, zoals het aannemen van een energieverbruik van  $10^8 \text{ J}/\$$  voor gebouwen en van  $1,2 \times 10^8 \text{ J}/\$$  voor elektrische installaties [19].

Met behulp van dergelijke benaderende berekeningen kan men een aantal misverstanden corrigeren die bestaan met betrekking tot de mate waarin bepaalde materialen of productieprocessen een hap nemen uit de schaarse energievoorraad. Van Gool [14] noemt in dit verband de productie van aluminium. Hoewel veelal zonder meer wordt aangenomen dat het produkt zoveel energie vergt dat een vermindering van het gebruik energiebesparend zal worden, blijkt dat althans in sommige sectoren de toepassing van aluminium integendeel kan leiden tot energiebesparing, waarbij een rol speelt dat terugwinning van aluminium uit energetisch oogpunt aantrekkelijk is. De totale balans kan er in zo'n geval gunstiger uitzien dan men op het eerste gezicht zou verwachten.

Inmiddels levert de energie-analyse resultaten die slechts één factor vormen temidden van andere in de economische context van het energiegebruik en die slechts kunnen worden vergeleken met op dezelfde wijze verkregen resultaten voor vervangende producten of andere wegen om hetzelfde doel te bereiken. Zij kan dus slechts in beperkte mate bijdragen tot de oplossing van de problemen van vandaag.

### *Grondstoffen voor de chemische industrie*

De derde vraag die wij ons stelden was die betreffende de afweging van de toepassing van energiegrondstoffen voor energieproductie of als grondstof voor de chemische industrie. Ongeveer 7% van de in West-Europa gebruikte olieproducten gaat als grondstof naar de chemische industrie — die overigens zelf weer een groot energieconsument is [20]. Ten opzichte van de lichte koolwaterstoffen ligt dit percentage zelfs op



35 of meer. Hier treedt een directe concurrentie op met het verbruik als benzine-bestanddeel. Hier grijpen meerdere problemen in elkaar. Zo vragen bijvoorbeeld petrochemische produkten dikwijls minstens evenveel koolwaterstoffen om in het eindprodukt te worden opgenomen als om het te maken.

Hoe zeer echter de energiesituatie mede van betekenis is voor de chemische industrie blijkt uit een opmerking van Steiner (Hoechst AG). Hij meent dat met betrekking tot de grondstoffenvoorziening ten behoeve van de chemische industrie elke maatregel ter beperking van het gebruik van fossiele grondstoffen voor deze industrietak een doelstelling is [21]. Dit is een duidelijke aanvulling op de gebruikelijke bedrijfs-economische taakstellingen waarbij kostprijzen als kompas dienen.

Bestond tot het begin van de vijftiger jaren de grondstoffenbasis voor organisch-chemische produkten uit steenkool, op dit moment ligt de nadruk overwegend op aardolie en aardgas. De chemische industrie, die energiedragers als energiebron en als grondstoffen gebruikt, ziet zich geplaagd voor de opgave, zowel energie in het algemeen te besparen als specifiek zuinig te zijn op olie en gas. Het eerste lukt wonderwel; in [21] vermeldt Steiner dat de Duitse chemische industrie er in is geslaagd het energieverbruik in verhouding tot het produktievermogen met 40% omlaag te brengen, terwijl die daling voor de gehele Duitse industrie 15% beliep. Het streven is, het specifieke verbruik van olie en aardgas te verminderen door voor de energievoorziening in toenemende mate gebruik te maken van steenkool en kernenergie. Zou men hierin slagen, dan zou de grondstoffenvoorziening voor de komende decennia verzekerd zijn.

Wil men de in de voorgaande paragrafen besproken problemen kwantitatief benaderen, dan moet men rekening houden met een belangrijke beperking die inherent is aan het type studies waarvan hier sprake is. Deze is het statische karakter van de energie-analyse, dat voortvloeit uit het feit dat zij voor een bepaalde periode een beeld kan ontwerpen van de vertakkingen in de energiecyclus, maar veel moeilijker kan nagaan waar toekomstige ontwikkelingen in dit verband toe zullen leiden. Dit ontnemt geenszins het belang aan de studies: veel beslissingen die de ontwikkelingen nog jaren beïnvloeden worden genomen op basis van een actuele situatie en iedere bijdrage tot beter begrip van die situatie is welkom. Maar dit dieper inzicht mag niet leiden tot de misvatting dat aan de hand daarvan een dwingend uitspraak over het te volgen beleid kan worden gedaan. De verrassingen die de toekomst voor ons in petto heeft, worden er niet door onthuld en voorzichtigheid blijft dus geboden, alle recente vorderingen van de econometrie en de prognostiek ten spijt.

De historie heeft geleerd hoe belangrijk dit verrassingselement is. Toen na de jaren vijftig de toepassing van aardolieprodukten steeds belangrijker werd en de aardolie de steenkool als grondstof ging verdringen, bleek de relatief sterke groei van de vraag naar zwaar-

dere fracties (de markt voor stookolie groeide sneller dan de markt voor benzine) te leiden tot een groot nafta-aanbod <sup>3)</sup>. Deze omstandigheid heeft eigenlijk gedurende vele jaren de structuur bepaald van de ontwikkeling van de chemische industrie. Daarna trok echter de vraag naar lichtere fracties aan (benzine) en vervolgens leidde de sterke stijging van de olieprijs tot vervanging van juist de zwaardere fracties door steenkool. Het gevolg is dat de automobilist en de chemische industrie elkaar nu beconcurreren om de schaarse lichte fracties [22]. De chemische industrie consumeert meer dan een derde deel van de lichte fracties van alle in West-Europa verbruikte aardolie en is dus uitermate gevoelig voor dergelijke ontwikkelingen. Daar staat tegenover dat de hogere olieprijs op zichzelf geen groot beletsel is voor de chemische industrie, wier produkten ook bij de huidige prijzen nog altijd goedkoper kunnen zijn dan in het geval van de winning van overeenkomstige natuurprodukten. Omdat de toekomstperspectieven voor de oliewinning tegen hoge kostprijs uiteraard veel ruimer zijn dan in het geval van winning uit uitsluitend goedkope bron, kan men zich dus ten aanzien van de toekomst optimistisch opstellen wanneer wij althans erin zullen slagen de ongebreidelde groei een halt toe te roepen. Daarmee is nog eens een aspect onderstreept dat grondstoffen en energie gemeen hebben.

### 3.3. Energie- en grondstoffenproblemen tegen de achtergrond van groei en uitputting

Er wordt wel eens gedacht dat de belangstelling voor energie- en grondstoffenproblemen louter is ingegeven door zorgen, voortvloeiend uit de eindigheid van onze natuurlijke hulpbronnen, gecombineerd met de overtuiging dat er éénmaal een eind komt aan de mogelijkheid, materiële tekorten op te vangen met behulp van onze wetenschappelijke en technische inventiviteit. Dat is echter maar één kant van de zaak en het is daarom goed om ter afronding van deze beschouwingen de vierde en laatste van de aan het begin van de vorige paragraaf geformuleerde vragen aan de orde te stellen, namelijk: wat betekent dit alles in het kader van de algemene problematiek van groei en uitputting? Men zou de vraag eigenlijk moeten aanvullen met een andere: gaat het hier eigenlijk wel alleen om deze problematiek? Het antwoord op deze laatste vraag is ontkennend. Men moet duidelijk onderscheid maken tussen de knelpunten waarmee wij in de komende decennia te maken hebben en de grondstoffen- resp. uitputtingsproblemen op langere termijn. De problematiek die de belangstelling voor de energie-analyse deed ontstaan, komt voort uit de noodzaak om op korte termijn een correctie aan te brengen in de vorm van een geforceerde zuinigheid met aardolieprodukten waar die niet voldoende door de prijsstijgingen wordt teweeggebracht. De mogelijkheid, op de oliemarkt ruimte te maken voor de grondstof-

<sup>3)</sup> Nafta is een lichte aardolie-fractie met een kooktraject in de orde van dat van benzine en petroleum.



fenverbruiker in de chemische sector, staat of valt met het welslagen van het streven, in eerste instantie steenkool en splijtstof, en eventueel nieuwe energiebronnen in belangrijke mate te doen bijdragen in de energievoorziening.

Van grote problemen zal daarna nauwelijks sprake kunnen zijn, als de tendens tot vermindering van de groei van de vraag die sommigen al signaleren, een feit is en zich doorzet. Er is bij herhaling op gewezen dat zelfs een lichte vermindering van deze groei een grotere bijdrage levert tot het oplossen van de langetermijn problemen, dus die van de uitputting, dan de zuinigheid in de rendements sfeer die juist de centrale plaats inneemt in de huidige politiek [23].

Nu is er de laatste jaren een groeiend inzicht waar te nemen dat deze groeiremming op zijn minst een nuttig streven is. Maar zelfs als de groei in de westerse wereld geforceerd wordt afgeremd, dan zal de noodzakelijke ontplooiing van de derde wereld toch altijd nog grondstoffen en energie eisen. Met andere woorden: de groei zal op wereldniveau zeker nog enige decennia doorzetten. Zelfs in dat geval zal de mogelijkheid om in de eerste decennia van de 21ste eeuw tot een zeer lage groei of een nulgroei te komen, veel wegnemen van de scherpte van de bespiegelingen die thans worden gehouden op basis van onrealistische veronderstellingen over een nog tot in lengte van jaren voortdurende welvaartsexplosie, gepaard aan een voortdurende verdere groei van het gebruik van grondstoffen en energie.

Dat het wereldenergie- en grondstoffenverbruik in de komende decennia nog sterk toeneemt is voor de wereld als geheel gezien aanvaardbaar, onder voorwaarde dat de groei van de vraag gedurende die periode sterk wordt gereduceerd. Onderzoek naar de betekenis van de energie voor de verschillende fasen van de produktieketen en naar het energieverbruik bij winning uit arme erts en of met behulp van duurdere winningsmethoden is van betekenis als bijdrage tot de beleidsvorming. Van belangwekkende resultaten op dit gebied van onderzoek kan nog niet worden gesproken. Anderzijds moet men van dit onderzoek ook niet zozeer verwachten dat het opzienbarende beleidselementen zal opleveren ten aanzien van een te concipiëren energie- of grondstoffenpolitiek. Vaak is een directe benadering voldoende om aan te geven in welke richting wij het moeten zoeken.

Desondanks kan een verdere ontwikkeling van de energie-analyse een positieve bijdrage leveren tot ons inzicht in de structuur van energievoorziening en energieverbruik en ook kan dit bij het ontwarren van de vaak uitermate gecompliceerde problemen van grote betekenis zijn.

## Appendix 1. Begrippen en afspraken in de energie-analyse

door *drs. W. Smit*

### 1. Inleiding

Energie-analyse is het berekenen van energiewaarden van produkten. De energiewaarde van een produkt geeft aan hoeveel energie er per eenheid produkt is vereist om het volgens een bepaald productieproces te maken. De vereiste energie omvat zowel het directe energieverbruik (elektriciteit en brandstoffen) als het indirecte energieverbruik in de vorm van energie die is vastgelegd in voor het proces benodigde materialen, kapitaalgoederen en vervoersdiensten. Als toepassingsmogelijkheden van energie-analyse kunnen de volgende worden genoemd.

- Wanneer de keus bestaat tussen verschillende productieprocessen, kan met behulp van energie-analyse worden nagegaan hoeveel energie de verschillende processen vereisen. De keuze van een minder energie-intensief proces kan leiden tot lagere produktiekosten en het heeft ook tot gevolg dat de produktiekosten minder gevoelig zijn voor een verhoging van de energieprijzen.
- Vergelijking van feitelijke energiewaarden met de energiewaarden die volgens de theorie minimaal zijn vereist (bij inachtnaam van bepaalde praktische wensen omtrent bijv. produktiesnelheid en opbrengst) geeft aan welke processen energetisch nog kunnen worden verbeterd. Mede op grond van deze gegevens kan de richting van het onderzoek en ontwikkelingswerk worden bepaald.
- Uitgaande van berekende energiewaarden en van verwachtingen omtrent de vraag naar produkten is het mogelijk een prognose voor de toekomstige vraag naar energie op te stellen. Een dergelijke prognose kan betrouwbaarder zijn dan een globale prognose die bijvoorbeeld is gebaseerd op het verband tussen nationaal inkomen en energieverbruik. Prognoses van de vraag naar energie zullen belangrijke diensten kunnen bewijzen bij het signaleren van mogelijke toekomstige spanningen tussen vraag naar en aanbod van energie. Daarmee wordt het mogelijk, doeltreffende middelen aan te geven waarmee zulke spanningen kunnen worden verminderd.

### Begrippen

Een werkgroep onder auspiciën van de International Federation of Institutes for Advanced Study (IFIAS) deed aanbevelingen omtrent de begrippen en afspraken die in de energie-analyse dienen te worden gehanteerd [24]. De voornaamste begrippen zijn de volgende.

- De voor een proces vereiste energie. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de energie voor benodigde materialen, voor kapitaalinstallaties en voor vervoer.



- De bruto vereiste energie. Hierbij wordt tevens de verbrandingswarmte van grondstoffen voor het proces in de beschouwing betrokken.
- De netto vereiste energie. Hierbij wordt bovendien nog de verbrandingswarmte van resulterende producten in rekening gebracht.

## 2. Afspraken

Naast de definities is een aantal afspraken nodig, opdat de definities uniform worden toegepast en de uitkomsten van berekeningen vergelijkbaar zullen zijn. In het volgende worden enkele belangrijke afspraken behandeld.

### *De grens van het beschouwde systeem*

Men kan het beschouwde systeem beperken tot het betreffende proces en alleen nagaan hoeveel directe energie voor dat proces is vereist. Het beschouwde systeem kan echter ook worden uitgebreid met de produktieketens die aan het betreffende proces — of een gedeelte daarvan — voorafgaan en die de toelevering van de materialen, kapitaalgoederen en transportdiensten verzorgen. Uitbreiding van het beschouwde systeem leidt er toe dat de energie die aan een proces wordt toegerekend, toeneemt. Als grenzen van het beschouwde systeem kunnen o.a. de volgende in aanmerking komen.

- De fabrieksgrens: alleen het directe energieverbruik van de fabriek is in de analyse van betekenis; geen inzicht wordt verkregen in wat zich buiten de fabrieksgrenzen afspeelt. Dat houdt in dat inzicht ontbreekt in de energie die bij de produktie van materialen, kapitaalgoederen en transportdiensten is vereist.
- De grens, getrokken om fabriek + toeleveranciers: het directe energieverbruik van fabriek + toeleveranciers wordt in beschouwing genomen, de overige bestanddelen van de vereiste energie blijven buiten beschouwing. Aldus vindt men meestal een goede benadering van de situatie van het proces met alle toeleverende produktieketens. In een beperkt aantal gevallen moeten de grenzen ruimer worden gekozen wanneer een goede benadering wordt gewenst.
- De landsgrens: voor energie-analyse ten behoeve van een nationale overheid kan het nuttig zijn, uitsluitend directe energie-verbruiken binnen de landsgrenzen te beschouwen. Geen inzicht wordt dan verkregen in wat zich buiten de landsgrenzen afspeelt, hetgeen betekent dat inzicht ontbreekt in de hoeveelheid energie die elders in geïmporteerde goederen wordt gestoken.

### *Waardering van de directe energie-verbruiken*

De directe energie-verbruiken moeten worden omgerekend tot de daarvoor vereiste primaire energie. Daartoe behoort in de eerste plaats de energie die is vereist voor de winning van de primaire energiedrager. Een indruk van de verschillen tussen de verschillende primaire energiedragers die daarbij optreden,

**Tabel 4.** Energie-opbrengst bij de winning van enige energiedragers <sup>1)</sup>

Energiedrager	Plaats van winning	Energie-winst-factor <sup>2)</sup>
Aardolie	Midden-Oosten	1500
	Noordzee (zuid)	155
	Noordzee (noord)	50
Steenkool	Engeland (ondergronds)	45
	Verenigde Staten van Amerika (open mijnbouw)	160
Nucleair materiaal	Erts met 0,3% uraniumgehalte	20
	Uranium uit zeewater	6 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Gegevens: dr. H. Hoog.

<sup>2)</sup> Verhouding tussen de energie die als gevolg van een winningsactiviteit wordt verkregen en de voor deze winning benodigde energie.

<sup>3)</sup> Zeer globale schatting; de waarde ligt — bij benutten in kweekreactoren — in elk geval wel hoger dan 1 (mededeling: prof. J.J. Went).

geeft Tabel 4. Nadat de primaire energiedrager is gewonnen, vereisen het transport en eventueel ook de verwerking of omzetting nog energie. Naar de in totaal voor energie vereiste energie, c.q. de verhouding vereiste energie/afgeleverde energie zijn verschillende studies verricht (zie Tabel 5). Het wordt duidelijk uit deze tabel, dat er nog te weinig bekend is over dit onderwerp. Desalniettemin deed Slesser een poging, te onderzoeken hoe het gewogen gemiddelde van de verhouding vereiste energie/afgeleverde energie voor de EEG (van de negen) zou kunnen veranderen [25]. Hij vond dat deze waarde zou kunnen oplopen van 0,13 in 1973 tot 0,16 in 1985, bij een stijging van het netto verbruik over deze periode voor alle energiesoorten te zamen van ca. 25%.

De verhouding vereiste energie/afgeleverde energie kan per land nog verschillen door verschil in afstand tot de plaats waar de grondstoffen worden gewonnen en door verschillen in gebruikte transportmethoden. Ook is van belang of de energiewaarde van de benodigde kapitaalgoederen en importartikelen bij het bepalen van de vereiste energie al dan niet wordt meegerekend.

Bovendien kunnen verschillen optreden doordat de onderzoekers niet dezelfde methoden gebruikten, bijvoorbeeld procesanalyse tegenover input-output analyse. Chapman c.s. waarden de elektriciteit uit kerncentrales op basis van de thermische energie en nemen voor hydroelektrische energie de opgewekte elektriciteit als waarderingsgrondslag [28]. Een recente studie van Kistemaker [30] houdt zich specifiek bezig met de voor kernenergie vereiste energie.

Van de verbruiker uit gezien is het onderscheid tussen verschillende soorten elektriciteit alleen ter zake wan-



**Tabel 5.** Vereiste energie/afgeleverde energie voor enige energiedragers

	CCMS [26] VS; 1970/71	Herendeen[27] VS; 1963	Chapman, VK; 1963	Leach en Slesser [28] 1968	1971/1972	Koorn en stoffers [29] Ned. 1972
Steenkool	0,0075	0,024	0,047	0,042	0,047	0,3 <sup>2)</sup>
Gas	0,0049	0,169	0,545 <sup>1)</sup>	0,390 <sup>1)</sup>	0,233 <sup>1)</sup>	0,0 <sup>2)</sup>
Aardolie	0,157	0,208	0,237	0,134	0,116	0,1 <sup>2)</sup>
Elektriciteit	2,017	2,87	3,541	3,192	2,968	2,4 <sup>2)</sup>
Opmerkingen (methode, beschouwde systeem)	procesana- lyse omvat uitsluitend direct energie- verbruik	input-output analyse excl. energiewaar- de van kapitaal- goederen en importartikelen	input-output analyse excl. energiewaarde van importartikelen			input-output analyse excl. energiewaarde van kapitaal- goederen en importartikelen

<sup>1)</sup> Cijfers weerspiegelen overgang van stadsgas naar aardgas.

<sup>2)</sup> Voorlopige waarden.

neer er voor hem werkelijk keuzemogelijkheden zijn; is dit niet het geval dan dient voor elektriciteit, die respectievelijk op basis van kolen, gas, olie, waterkracht of kernenergie wordt geproduceerd, één gewogen gemiddelde te gelden. Hetzelfde geldt voor olie- en gasverbruik wanneer de gebruiker de vrije keus daartussen niet wordt gelaten. Het verdient aanbeveling de verhoudingen voor Nederland — in aanvulling op de in Tabel 5 vermelde getallen — ook te bepalen, rekening houdend met de energiewaarde van benodigde kapitaalgoederen en importartikelen.

#### Energie voor materialen

Voor de USA is een aanzet gegeven tot het achterhalen van energie-investeringen in belangrijke materialen (zie Tabel 6). Het gaat daarbij om de totale primaire energie die is gebruikt om het materiaal in gebruiksklare toestand te brengen. In literatuur ter zake zijn vele, van de in Tabel 6 gegeven cijfers afwijkende (meer of minder gedetailleerde en betrouwbare), opgaven te vinden. Ter illustratie zijn twee andere bronnen in de tabel opgenomen.

**Tabel 6.** Energie-investeringen in belangrijke materialen (10<sup>9</sup>J/ton)

	Data Base [26] <sup>1)</sup>	Roberts [31]	NCMP [32]
Ruw ijzer	20,4	—	—
Staal	—	46,8	50,4
Koper	122,2	43,2	—
Aluminium	195,6	234	230
Flessenglas	19,2	—	12,6
Cement	—	8,3	4,7
- Portland droog	8,7	—	—
- Portland nat	7,8	—	—
Kunststoffen	—	54	90
- Lage Druk Polyetheen	98,7	—	—
- Hoge Druk Polyetheen	93,6	—	—
- Polystyreen	122	—	—
- Polyvinylchloride	87,6	—	—
Synthetische rubber	—	—	—
- Styreen Butadieën Rubber	140,3	—	—
Papier	—	—	18
- Krantenpapier	23,1	—	—
- Schrijfpapier	25,7	—	—
- Golfkarton	22,9	—	—
- Gladkarton	23,1	—	—

<sup>1)</sup> Cijfers geldig voor de USA (1970/71) en gebaseerd op gedetailleerde produktie- en verbruiksgegevens voor gemiddelde omstandigheden. De cijfers voor de kunststoffen en de synthetische rubber zijn hoger dan die voor Europese omstandigheden; de cijfers voor papier juist lager.



**Tabel 7.** Potentiële energiebesparingen door terugwinning (alle cijfers in  $10^9$  J/ton) [31, 32, 33]

	Energie voor de bereiding:		Verschil
	uit primaire grondstof	uit secundaire grondstof	
Staal			
- volgens Roberts	57,6 <sup>1)</sup>	28,8	28,8
- volgens Chapman	47,5 <sup>1)</sup>	23,4	24,1
- volgens NCMP	50,4 <sup>1)</sup>	23,4	27
Aluminium			
- volgens Roberts	234	7,2	226,8
- volgens Chapman	327,6 <sup>1)</sup>	10,8	316,8
- volgens NCMP	230,4	4,7—0,7	228
Koper			
- volgens Roberts	43,2	7,2	36
- volgens Chapman	72	9	63
Zink			
- volgens Roberts	36	7,2	28,8
- volgens Chapman	72	9	63
Lood			
- volgens Roberts	34,2	7,2	27
- volgens Chapman	54	7,2	46,8
Papier			
- volgens NCMP	18	5,4	12,6

<sup>1)</sup> Deze cijfers zijn voor Nederlandse omstandigheden te hoog [29, pp. 45 en 49].

#### Afvalstromen

De energie die is besloten in afvalstromen wordt *niet* als mogelijke energie-opbrengst beschouwd, maar op 0 gesteld. In een nationaal kader is het zelfs mogelijk dat het goed verwerken van de afvalstroom nog extra energie vereist die dan ook als zodanig in de berekeningen moet worden opgenomen.

#### Terugwinning

Wanneer gebruikte materialen middels een proces van terugwinning beschikbaar kunnen komen, worden twee analyses uitgevoerd, waarin er van wordt uitgegaan dat respectievelijk 0% en 100% van deze materialen opnieuw beschikbaar komen.

Tabel 7 somt enkele gegevens uit de literatuur op, m.b.t. mogelijke energiebesparingen door terugwinning.

#### Kapitaalgoederen

Economische afschrijving van kapitaalgoederen moet plaatsvinden op basis van de economische levensduur. Ook de afschrijving van de voor de fabricage ervan benodigde energie dient plaats te vinden op basis van de economische levensduur. Dat wil zeggen dat in het eenvoudigste geval de jaarlijkse afschrijving van de energie, benodigd voor fabricage van een kapitaalgoed, bij een economische levensduur van bijvoorbeeld 10 jaar kan worden gesteld op 1/10 van de energiewaarde van dat kapitaalgoed.

#### Energie voor het onderhoud van menselijke arbeid

De IFIAS-werkgroep stelt het energieverbruik voor levensonderhoud van een klein gezin in een geïndustrialiseerde samenleving op ongeveer 80 GJ per jaar en concludeert dat het niet nodig is, deze geringe factor in energie-analyses van geïndustrialiseerde processen op te nemen.

#### Verbrandingswarmte

Onder verbrandingswarmte van een energiedrager wordt verstaan de onderste calorische waarde onder 1 bar druk en bij 298,15 K, uitgedrukt in joules per massa-eenheid, zoals vermeld in „Handbook of chemistry and physics” (The Chemical Rubber Corporation, 1975).

#### Een proces dat meerdere produkten voortbrengt

Wanneer een proces één produkt voortbrengt, volgt de energiewaarde op eenvoudige wijze uit de vereiste energie. Wanneer een proces meer dan één produkt voortbrengt, moet de vereiste energie over de verschillende produkten worden verdeeld. Dat kan op tenminste vijf manieren:

1. de vereiste energie wordt geheel toegerekend aan het belangrijkste produkt;
2. de vereiste energie wordt verdeeld op basis van de geldswaarde van de produkten;
3. het gewicht van de produkten;
4. de calorische waarde van de produkten;



5. een ander kenmerk van de produkten of diensten (bij vervoersdiensten bijvoorbeeld tonkm. of reizigerskm.; tevens kan worden gedacht aan bepaalde belangrijke eigenschappen zoals sterkte, stijfheid of roestbestendigheid).

De methoden 2 en 4 komen voor een industrieel productieproces het meest in aanmerking. Bij toepassing van methode 2 is er het nadeel dat de energiewaarde wordt gekoppeld aan de geldswaarde van het produkt. Deze geldswaarde zal veranderen in de tijd, waardoor het moeilijker wordt een prognose op te stellen voor het verloop van de energiewaarden. Een nadeel dat bij methode 4 kan optreden, is dat aan minder gewaardeerde bijprodukten soms veel energie zou worden toegekend. De energiewaarde van het hoofdprodukt wordt dan ten onrechte geflatteerd.

Een probleem bij de waardebepaling van bijprodukten is soms dat de waarde afhankelijk is van de mogelijkheid, het betreffende produkt ter plaatse als invoermateriaal voor een ander productieproces te benutten.

De noodzaak van het verdelen van energieverbruiken over meerdere eindprodukten is vooral in de chemische industrie veelal aan de orde. Dit kan aanleiding geven tot problemen, die in hun algemeenheid niet oplosbaar zijn. Ter illustratie hiervan kan dienen de elektrolyse van natriumchloride, die als eindprodukten levert natriumhydroxyde, chloor en waterstof. Alleen de waterstof heeft calorische waarde.

Methode 1 werkt niet, want natriumhydroxyde en chloor zijn beide waardevol.

Methode 2 heeft als probleem dat de uitkomst erg afhankelijk is van de mogelijkheid, de waterstof te benutten, bijvoorbeeld voor de ammoniakbereiding.

Methode 3 geeft weinig waarde aan de waterstof. Methode 4 zou alle vereiste energie aan de waterstof toerekenen.

Methode 5 is niet toepasbaar omdat de produkten niet een belangrijk gemeenschappelijk kenmerk bezitten.

Dit probleem kan wellicht — zoals Steeman voorstelt [34] — worden aangepakt door bij de berekening van energiewaarden uit te gaan van integratie van diverse productieprocessen in een industrieel complex. Men zou dan kunnen werken met marginale waarden welke behoren bij die mate van integratie welke minimaal noodzakelijk is vanwege de vraag- en aanbodverhoudingen.

#### *Specificatie*

Bij de berekende energiewaarden moeten worden gespecificeerd:

- eigenschappen van het produkt, onder andere de levensduur;
- eigenschappen van het productieproces: type, capaciteit, bouwjaar;
- beladingsgraad (=deel van de capaciteit dat wordt gebruikt) en de fluctuaties hierin.

#### *Verdere ontwikkeling*

Uit het voorgaande wordt geconcludeerd, dat een

verdere ontwikkeling van de energie-analyse vooral zou zijn gebaat bij een nadere uitwerking van:

- de bepaling van energieverbruiken, nodig voor de energievoorziening op zichzelf;
- de bepaling en toedeling van energieverbruiken in het geval van geïntegreerde processen waarbij meerdere (tussen)-produkten in het spel zijn.

## **4. Milieubeheer en materialenhuishouding**

door prof. dr. M.F. Mörzer Bruyns

### **4.1. Inleiding**

Het milieubeheer speelt vooral de laatste decennia een belangrijke rol bij alles wat in de samenleving wordt ondernomen. Dat geldt voor de landbouw, de bosbouw, de mijnbouw, de verstedelijking, de industrie, het verkeer, de recreatie en vele andere denkbare menselijke activiteiten. De reden daarvan is dat de invloeden van uiteenlopende bedrijvigheden het natuurlijk milieu op vele plaatsen zozeer hebben aangetast dat maatregelen moeten worden genomen om onaantoonbare verslechtering van dat milieu te voorkomen of te beperken en — waar nodig — de omstandigheden zo snel mogelijk te verbeteren. Daarom is een doelbewust milieubeheer noodzakelijk. Daaraan wordt door overheid, bedrijfsleven en ook de burgerij terecht aandacht gegeven. De overheid en het bedrijfsleven hebben de laatste jaren vele belangrijke stappen genomen die op zich alle waardering verdienen, maar die nog niet voldoende zijn.

De acties van personen, werkgroepen, verenigingen enz. zijn tegenwoordig zeer talrijk en niet altijd op voldoende kennis van zaken gebaseerd. Zou men echter op grond daarvan te weinig aandacht aan de inbreng van deze zijde schenken, dan gooit men het kind met het badwater weg. Er zijn genoeg acties die op goede motieven en kennis van zaken zijn gebaseerd en die ook gerechtvaardigd blijken.

Uiteraard heeft de huidige situatie een voorgeschiedenis die decennia omvat, maar het resultaat is toch zo recent dat het velen niet duidelijk is waarom er aan het milieubeheer zo serieus aandacht moet worden besteed. Het is moeilijk, zich te realiseren hoe ver oorzaak en gevolg van ingrepen vaak uiteenliggen, zowel wat plaats als wat tijd betreft (zie ook Hoofdstuk 1).

De mens heeft waarschijnlijk het natuurlijk milieu en vooral zijn natuurlijk milieu beïnvloed zolang hij op aarde is, maar in ieder geval sinds honderdduizenden jaren. Er zijn echter aanwijzingen voor de hypothese dat de invloeden van de menselijke cultuur tot ongeveer de jongste eeuwwisseling de natuurlijke omgeving per saldo hebben verrijkt. Daarna evenwel is in samenhang met de ontwikkeling van de wetenschap en vooral de toepassing daarvan (techniek) de beïnvloeding van het natuurlijk milieu door de mens veel ingrijpender geworden. Dat is allereerst zichtbaar als



veranderingen in de patronen van natuurlijke ecosystemen, bijv. als gevolg van ontbossing, ontginning, vormen van rooibouw (uitbreiding van woestijnen) en verstedelijking. Het is daarnaast maar al te duidelijk merkbaar in de verstoring van kringloopprocessen van de biosfeer. De verstoringen, veroorzaakt door de lozing van afvalstoffen, zijn hiervan wellicht de meest bekende voorbeelden. De omvang en het aantal van deze invloeden nemen nog steeds toe. Zij zijn al lang niet meer beperkt in lokale en regionale zin; zij werken continentaal en in sommige opzichten zelfs mondiaal. De gevolgen treden soms pas aan de dag als het te laat is om het verlies van waardevolle elementen te voorkomen. In regio's zoals Europa en Noord-Amerika leeft thans — ten langen leste — het besef, dat vele — zo niet alle — aspecten van de beïnvloeding van de biosfeer door de mens nader moeten worden bestudeerd. Dit is o.a. bijzonder duidelijk gesteld in de conclusies en aanbevelingen van de in 1972 te Stockholm gehouden „U.N. Conference on the Human Environment“. De materialenhuishouding vormt in dit verband een uitgebreid en belangrijk aandachtsgebied, dat meer prioriteit verdient.

#### *Wat is milieu en wat is milieubeheer?*

Wanneer er sprake is van milieu en milieubeheer moet niet alleen worden gedacht aan water, bodem en lucht. De planten- en dierenwereld en hun ecosystemen behoren ook tot het milieu, evenals bepaalde aspecten van de menselijke samenleving. De wisselwerking van de plantengroei en de dierenwereld met water, bodem en lucht bepalen zelfs voor een belangrijk deel — o.a. door de kringloopprocessen — de hoedanigheid van het milieu voor de mens. Voorbeelden van zulke interacties zijn de koolstofkringloop; de verhouding tussen zuurstof en koolzuurgas in zijn verband met assimilatie en ademhaling; de kringlopen van het water en van de voor het leven belangrijke elementen, zoals fosfor, stikstof en zwavel. De menselijke samenleving is overal op aarde afhankelijk van het goed functioneren van natuur- en cultuurecosystemen. Daarbij gaat het niet alleen om voedsel en schone lucht, maar ook om grondstoffen, beschutting, leefbaarheid en nog andere belangrijke behoeften.

Met deze overwegingen moet een milieubeheer rekening houden. Dit beheer moet zich daarom primair richten op de instandhouding en het optimaal doen functioneren van de planten- en dierenwereld en hun ecosystemen. Het beheer van water, bodem en lucht vloeit daaruit rechtstreeks voort als een facet. Deze noodzaak om bij het milieubeheer uit te gaan van de samenhang tussen water, bodem en lucht en de planten- en dierenwereld, wordt tegenwoordig ingezien. Men is meer en meer bereid daarmee rekening te houden, ook wanneer het gaat om niet direct zichtbare verbanden, zoals in het geval van lozing van giftige stoffen en bij voorzorgsmaatregelen voor de kwaliteit van atmosfeer of oppervlaktewater bij vervoer en fabricage.

De planten- en dierenwereld hebben daarenboven

nog een speciale functie in verband met het menselijk welzijn. Zowel gekweekte als wilde planten en dieren kunnen van het grootste belang zijn als indicatoren voor veranderingen in het milieu. Omdat deze veranderingen anders aan de aandacht zouden ontsnappen, spreekt men hierbij wel van een signaalfunctie. Het gaat er daarbij om te werken met daarvoor geschikte soorten groepen. Deze dienen te worden betrokken in het bewakings-onderzoek, dat in bepaalde gevallen nationaal, maar in een aantal gevallen ook internationaal en zelfs mondiaal zou moeten worden verricht, conform de aanbevelingen van de Stockholm-conferentie 1972.

#### *Werkingen en nevenwerkingen*

Ieder menselijk ingrijpen beïnvloedt — al of niet opzettelijk — het milieu. In het laatste geval spreekt men van nevenwerkingen. Bij het milieubeheer moet men zowel met het doelbewuste ingrijpen als met de nevenwerkingen rekening houden. De gevolgen van beiden dienen zorgvuldig te worden nagegaan. Dikwijls hebben weloverwogen ingrepen toch onvermoede nevenwerkingen met ongewenste gevolgen. In beginsel zouden alle ingrepen moeten worden onderzocht die op meer dan lokale schaal het milieu zouden kunnen beïnvloeden. Hiertoe behoren het onttrekken van grote hoeveelheden grondstoffen aan een omgeving (aardgas, aardolie, water, grind), het toevoegen van verrijkende stoffen, het lozen van afvalstoffen (organisch afval, zware metalen) en het toevoegen van energie (koelwater). Het gaat bij dit soort onderzoek allereerst om de gevolgen die direct of binnen enkele jaren optreden. Wij weten tegenwoordig echter ook dat het onderzoek van de gevolgen over tientallen van jaren niet mag worden veronachtzaamd. Men moet daarbij zoeken naar alle functies die de elementen van het milieu voor de samenleving hebben of kunnen krijgen. Deze functies kunnen ook met elkaar in concurrentie zijn.

Het voorgaande geldt natuurlijk ook voor werkingen en nevenwerkingen van de materialenhuishouding. Het gaat er om, van geval tot geval maatstaven te vinden waarmee kan worden vastgesteld op welk punt beïnvloedingen tot onaanvaardbare schade of bezwaren leiden. Op basis van die inzichten dienen normen te worden bepaald. Dit is een moeizame opgave. Er is zorgvuldig onderzoek in nauwe samenwerking tussen alle betrokken instanties voor nodig. Het karakter van dit onderzoek is multidisciplinair; de ecologische inbreng behoort daarbij voldoende gewicht te krijgen. De gegevens moeten op diverse manieren worden verzameld: door incidentele en systematische waarnemingen in de praktijk, maar ook op basis van experimenten, zowel in het veld als in het laboratorium. Vastgestelde normen zullen door het beschikbaar komen van nieuwe gegevens van tijd tot tijd moeten worden herzien. Een verantwoord milieubeheer maakt dit onvermijdelijk, met dien verstande dat moet worden gewaakt tegen minder essentiële of minder noodzakelijke verbeteringen.



Het ware te overwegen, nationale en/of internationale regelingen te treffen voor het bijstellen, c.q. afremmen van processen die aantoonbaar (d.m.v. fysische of chemische metingen, of met indicatoren) marginale levensvoorwaarden met zich brengen. Indien aanwijsbare, onaanvaardbare schade wordt veroorzaakt, moet men verbeteringen kunnen invoeren of zelfs activiteiten kunnen beëindigen. Doen er zich geen problemen voor, dan is toch voortdurende waakzaamheid geboden.

In de beide volgende paragrafen komt in algemene zin een aantal aspecten van het verband tussen materialenhuishouding en milieubeheer aan de orde. Voor aanvulling met enkele concreter uitgewerkte voorbeelden zij verwezen naar de hoofdstukken 4 (o.a. de studies over zink en aluminium) en 5 (o.a. de studies over cement en bakstenen).

#### **4.2. Materialen en de praktijk van het milieubeheer**

De milieubeïnvloeding door toepassingen van materialen is soms erg opvallend, maar veel vaker onopvallend. Er treden dan veranderingen op die niet spectaculair zijn of die zich heel geleidelijk voltrekken. De veroorzakers bemerken het niet, leven er aan voorbij. Dit maakt de gevolgen soms ernstiger en moeilijker te herstellen. Ieder facet van de materialenhuishouding kan milieuproblemen opleveren, maar de grootste treden veelal op bij de afvalverwerking. Toetsing van mogelijke beïnvloedingen is dus theoretisch nodig voor alle fasen in deze huishouding. Dit is in de praktijk niet mogelijk en ook niet nodig: een stelselmatige benadering is toereikend. Een dergelijke aanpak is echter nog slechts in een beperkt aantal gevallen gerealiseerd. Er dient in ieder geval aan de hierna te noemen fasen te worden gedacht. In dit verband kan op de invloed van de processen in deze fasen niet worden ingegaan. Men zou in vervolgstudies de voornaamste aspecten moeten opsporen die van nut zijn bij het in beginsel onderkennen van potentiële bronnen van milieubeïnvloeding.

##### *Winning van grondstoffen*

Het onttrekken van grondstoffen aan de natuurlijke omgeving brengt uiteenlopende milieubeïnvloedingen met zich mee. Dat zal voor grondstoffen uit diepliggende aardlagen doorgaans niet erg opvallend zijn, verzakkingen en catastrofes uitgezonderd. De winning van grondstoffen uit de aardoppervlakte heeft vaak bijzonder opvallende invloeden op lucht, water en bodem, maar in het bijzonder op de planten- en dierenwereld.

##### *Vervoer*

De gevolgen van vervoer kunnen bijzonder ingrijpend zijn, zeker wanneer men tevens rekening houdt met de aanleg van transportwegen met bijbehorende

faciliteiten. Dat geldt meteen al voor het eerste transport vanaf de winplaats, met daaropvolgend vervoer naar de lokaties voor de verwerking, alsmede de overslag, aflevering en opslag ter plaatse.

Bij het vervoer moet rekening worden gehouden met normale en bijzondere omstandigheden. Als alles goed gaat zijn er wellicht slechts beperkte milieuproblemen. Gebeuren er echter ongelukken, bijv. door het kantelen van vrachtwagens of wagons, het stranden van schepen of het lekken of breken van pijpleidingen, dan kunnen de gevolgen rampzalig zijn. Deze kwade kansen behoren te worden gewogen en ingecalculeerd.

##### *Verwerking*

Bij het evalueren van de invloeden van verwerking moet al worden gedacht aan de vestiging en bouw van fabrieken, werkplaatsen en bijbehorende emplacementen en van aan- en afvoerwegen in de omgeving. Vervolgens hebben de werkzaamheden in eenmaal gevestigde bedrijven altijd bepaalde invloeden op het omringende milieu. Zo heeft men te maken met de onrust en andere werkingen van de dagelijkse aan- en afvoer van grondstoffen, produkten en personeel en met de verontreinigingen die bij vrijwel ieder proces in het milieu terecht komen.

##### *Distributie*

Bij de distributie treden diverse en gecompliceerde beïnvloedingen op. Deze houden verband met aan- en afvoer, vervoer, overslag, opslag, verdeling, activiteiten bij tussenhandel, verkoop en tenslotte aflevering aan de gebruiker. De invloeden van alle bedoelde handelingen tellen in niet verwaarloosbare mate mee bij de belasting van het milieu.

##### *Gebruik*

Ook hier is een zorgvuldige analyse op zijn plaats. Men denke aan de invloeden van het verbruiken van steeds meer energie of aan de voorzieningen om het afval (bijv. fosfaten) zonder problemen te kunnen lossen.

##### *Afvalverwerking*

Uiteindelijk komen de afvalstromen weer in de natuurlijke omgeving terecht. Ten dele in de lucht, groten-deels in het water en op stortplaatsen. Gelukkig komt ook meer en meer afvalmateriaal (schroot, oud papier, afvalglas, compost etc.) weer in de kringloop terug, al is het zeker nog niet zo dat dit aandeel relatief toeneemt. Een groeiend probleem vormt het groot vuil, zoals autowrakken, koelkasten, puin, onverkoopbare restanten en verouderd materiaal. De moeilijkste en meest opvallende milieubeheersproblemen vindt men wellicht in de afvalverwerking. Er is daaraan lange tijd te weinig aandacht gegeven. Nu zijn de problemen soms zeer moeilijk oplosbaar, vooral wanneer het gaat



om ongewenste maar in kleine hoeveelheden en zeer verdund in het milieu verspreide stoffen. Het terugbrengen van afvalstoffen in de kringloop wordt in het algemeen als de meest ideale oplossing gezien. Dit is evenwel niet altijd te verwezenlijken. In veel gevallen kan er wellicht beter naar worden gestreefd, de processen zo in te richten dat de verspreiding van ongewenste stoffen wordt voorkomen.

De ongunstige invloeden op het milieu van de verschillende fasen van de materialenhuishouding kunnen onder de drie volgende categorieën worden gerangschikt.

#### *1. Verlies van ruimte, natuur en landschap*

Dit verlies is er steeds wanneer terreinen in gebruik worden genomen die waardevol voor de samenleving zijn uit een oogpunt van milieu (bijv. natuurgebieden, landbouwgronden, fraaie landschappen). Men denke aan installaties voor het winnen van grondstoffen, wegeaanleg, vestiging van bedrijven en het bergen van afval.

#### *2. Achteruitgang van de kwaliteit van het milieu*

Dit betreft de ontaarding, c.q. het bederf van het milieu door verontreiniging en verstoring, zowel van lucht, water en bodem als van de planten- en dierenwereld. Hierbij moet niet slechts worden gedacht aan de meest besproken vormen van milieuaantasting door allerlei verontreinigingen, maar ook aan lawaai, stank, vernieling en ingrepen die de schoonheid van de omgeving aantasten.

#### *3. Verlies van produktievermogen*

Ook anders dan in beide bovengenoemde betekenissen kan het milieu worden bedreigd door activiteiten van de mens, wanneer hij natuurlijke hulpbronnen met verkeerde methoden exploiteert. Het gaat dan om de gevolgen van vormen van rooibouw (zoals overexploitatie van bos), van uitputting (zoals overbevissing) en van verkeerd gebruik (zoals bij overbemesting of overmatig gebruik van bestrijdingsmiddelen).

Nader beschouwing van gevallen van ongunstige beïnvloeding leert doorgaans dat activiteiten die van belang zijn voor de hedendaagse materialenhuishouding, in beginsel toelaatbaar en aanvaardbaar zijn. Dit dan echter op voorwaarde dat van meet af aan rekening wordt gehouden met de eisen van verantwoord milieubeheer en men bereid is zich aan te passen aan datgene wat binnen dat kader kan worden toegestaan. Dit laatste houdt in dat men binnen de grenzen blijft van datgene wat het natuurlijke milieu kan verwerken zonder te ontaarden. Ter illustratie van dit beginsel zullen in de navolgende paragraaf een aantal gevallen wat nader worden bezien.

### **4.3. Enkele aspecten van de toepassing van milieubeheer bij de materialenhuishouding**

#### **4.3.1. Waterbeheer**

Een essentieel aspect van verantwoord waterbeheer is dat men bij welke exploitatie dan ook rekening moet houden met de verscheidenheid van wateren en met de beperkingen die altijd aan het gebruik moeten worden gesteld. Er zijn grote verschillen in kwetsbaarheid en opnamevermogen tussen stromende en stilstaande wateren; tussen grote en kleine; ondiepe en diepe; voedselrijke en voedselarme; zoete, brakke en zoute. Alle typen hebben hun eigen levensgemeenschappen, die zich in de loop van miljoenen jaren ontwikkelden. Ieder type water-ecosysteem heeft daardoor een karakteristieke produktiviteit en daarmee een bepaald opvang- en buffervermogen voor afvalstoffen. Deze ecosystemen kunnen zich wel in zekere mate aanpassen aan zich wijzigende omstandigheden, zoals een toenemende belasting met afvalstoffen, maar ontaarden onherroepelijk wanneer dit te ver gaat. Zulke wateren verliezen dan hun produktiviteit en hun zelfreinigend vermogen. Zij worden onbruikbaar of zelfs schadelijk.

Alle gebruik van wateren dient er dus van uit te gaan dat ontaarding moet worden voorkomen. Dat is het meest belangrijk voor het zoete water, dat slechts 2% omvat van het oppervlaktewater op aarde. Het vervult functies m.b.t. drinkwater, huishoudelijk gebruik, landbouw, veeteelt, visserij, industrie, transport, recreatie en tenslotte het lozen van afvalstoffen. Deze functies behoeven elkaar bij verantwoord gebruik niet uit te sluiten. Zulk gebruik houdt rekening met kwantiteit en kwaliteit. Dit is thans evenwel geen regel. Wateren worden te vaak eenzijdig geëxploiteerd, waarbij met andere belangen onvoldoende rekening wordt gehouden. Daarom lanceerde de Raad van Europa in 1970 het *Handvest voor het Water*. Daarin zijn de beginselen van goed waterbeheer samengevat.

De drie navolgende aspecten van waterbeheer in het kader van de materialenhuishouding geven een idee van de gevolgen die moeten worden beheerst.

#### *Afvalstoffenlozingen in water*

Nederland ondervindt de gevolgen van wanbeheer aan den lijve, zowel door de afvallozingen in de Rijn als door de lozingen op het oppervlaktewater in het eigen land. Zouten van (o.a.) zware metalen, giftige stoffen en organische stoffen van uiteenlopende aard maken het Rijnwater vrijwel onbruikbaar. Het gaat om lozingen van industrieën, van bedrijven en van huishoudelijk gebruik. Men is zich in Nederland van dit milieuprobleem bewust. Het is voor iedereen duidelijk dat daarin verandering moet komen, maar de verwezenlijking van verbeteringen is niet eenvoudig. Het afvallozingsprobleem beperkt zich overigens niet tot de Rijn. Het hoort overal in Nederland hoog op de urgentielijst.



#### *Wateronttrekking*

Waterwinning uit diepere lagen, voornamelijk ten behoeve van drinkwaterbedrijven en van de industrie, zoals deze wordt toegepast in de Nederlandse duingebieden en hogere landbouwgronden, heeft bijna altijd vergaande verdroging en daarmee verarming van de betreffende landschappen met zich gebracht. Aangevoerd rivierwater is in bepaalde opzichten wel een verbetering, maar brengt een nieuwe ecologische verstoring en is voorts geen herstel van de oorspronkelijke toestand. De milieuverarming is vermoedelijk irreversibel.

#### *Zand- en grindwinning*

De waterplassen, ontstaan na het tot op diepten van 30, 40 of zelfs 60 m winnen van zand en grind, zijn in de meeste gevallen biologisch extreem arm. Zij zijn ongeschikt voor een gevarieerd waterleven van o.a. vissen en vogels. Men dient in zulke gaten brede ondiepe oeverzones of plasbermen te handhaven en langs de oeverlijn kwalitatief waardevolle oeverland-ecosystemen te scheppen. Dat is bij dit soort gaten vrijwel nimmer gedaan, omdat voorrang werd gegeven aan maximale opbrengsten. Uit een oogpunt van milieubeheer valt dit te betreuren.

#### **4.3.2. Bodembeheer**

Bij het bodembeheer gelden heel andere overwegingen dan bij het waterbeheer. Toch moet ook in dit geval rekening worden gehouden met een grote verscheidenheid van bodemtypen en de daarbij behorende karakteristieke ecosystemen. Men raadplege hiervoor de bodemkaarten. Ook de bodem vervult talrijke functies voor de samenleving, welke alleen tot hun recht komen bij verantwoord gebruik en een juiste ordening (o.a. op basis van de bodemgeschiktheidskaart). Het gaat daarbij om landbouw, veeteelt, bosbouw, mijnbouw, recreatie, stedenbouw, enz. Het behoud van bodembruikbaarheid en bodemvruchtbaarheid dient bij alle ontwikkelingsplannen voorop te staan.

De richtlijnen voor goed bodembeheer zijn bekend genoeg. Helaas wordt er dikwijls niet of onvoldoende rekening mee gehouden. Reden voor de Raad van Europa, ook daarvoor een *Handvest* te publiceren.

In het kader van de materialenhuishouding in Nederland is een groot aantal activiteiten van belang, die direct met bodemgebruik en milieubeheer te maken hebben. Op een drietal wordt bij wijze van voorbeeld nader ingegaan.

#### *Mergelwinning*

Aan de winning van mergel, voornamelijk voor de cementindustrie, zoals die in Zuid-Limburg en omliggende gebieden voortgang vindt, zijn onverwacht veel milieubeheersaspecten verbonden. Zo gingen en gaan daarbij, zowel in het St. Pietersberg-gebied bij Maastricht als elders, wezenlijke waarden verloren. Er zou in het mergelwinningsproces meer voor het

behoud en het herstel van dergelijke waarden kunnen worden gedaan. De omstandigheid dat de winning van groot economisch belang is, behoeft en behoort niet tot consequentie te hebben, dat aan de andere aspecten te weinig aandacht wordt besteed. De gevaren worden bepaald dreigend wanneer de thans geconcipieerde, zeer vergaande plannen worden uitgevoerd.

Vergelijkbare overwegingen gelden voor de winning van bijv. zilverzand (voor de glasindustrie), zand, klei, leem en veen. In alle gevallen bestaat de mogelijkheid, te voorkomen, dat er extreem verarmde (maanland-schap-achtige) en niet of nauwelijks op basis van natuurbouw restaureerbare gebieden ontstaan. Er zijn vele voorbeelden in andere landen bekend, waarvoor dezelfde overwegingen gelden. Daarbij wordt in vele gevallen helemaal niet aan milieubeheer gedacht.

#### *Gas- en oliewinning*

De gedachte, dat iedere boring blijvende schade berokkent aan het milieu, vooral wanneer het boringen in natuurgebieden betreft, is wellicht niet in alle opzichten juist. Er wordt thans in Nederland een onderzoek op dit punt ingesteld bij verlaten en in bedrijf zijnde lokaties.

#### *Bodemverontreiniging*

Het storten van afvalstoffen is de meest voorkomende vorm van bodemverontreiniging. Dit storten is steeds van lokale aard, maar de gevolgen kunnen ernstig zijn, mede omdat het vrijwel onmogelijk is de verontreiniging weg te nemen. Dat geldt al voor officiële storten, maar nog meer voor het storten van industrieafval in landbouwgebieden, bijv. om laaggelegen land op te hogen of kolken en sloten te dempen. Dit heeft bijna zonder uitzondering ongewenste consequenties.

#### **4.3.3. Het belasten van de atmosfeer**

De gedachte, dat het lozen van as, stof, roet, afvalgassen en andere stoffen in de atmosfeer niet bezwaarlijk zou zijn, als de emissie maar geschiedt via hoge schoorstenen, is in beginsel niet acceptabel uit een oogpunt van goed milieubeheer. Ook al verdeelt de emissie zich over een zo groot gebied, dat de directe hinder voor de mens aanvaardbaar is, dan gaat het in wezen bij bepaalde emissies toch om uitstel en niet om afstel. Onderzoek heeft aangetoond, dat verontreinigingen in de lucht, afhankelijk van de hoogte van de lozing, de hoeveelheden afvalstoffen, de heersende windrichtingen, de neerslag enz., vergaande gevolgen kunnen hebben. Dit geldt niet alleen voor de volksgezondheid en de levensvreugde van de mens, maar ook voor corrosie van materialen en voor het goed functioneren van planten- en dierenwereld. Enkele van de meest opvallende verschijnselen — die ook de grote problemen opleveren — zijn de lozingen van gassen als zwaveldioxyde, stikstofoxyden en fluorverbindingen, de smogvorming als gevolg van de uitlaatgassen van verbrandingsmotoren en de stank, die vrijkomt bij bepaalde processen. De



invloed van de verzuring van het milieu door de verspreiding van zwaveldioxyde tot in duizenden kilometers ver weg gelegen gebieden heeft in zulke streken o.a. nadelige gevolgen gehad op aquatische ecosystemen. Tal van luchtverontreinigingsproblemen zijn nog onvoldoende onderzocht. Voorbeelden zijn de verspreiding van lood in het milieu door uitlaatgassen, de beïnvloeding van het CO<sub>2</sub>-gehalte van de atmosfeer door verbranding van fossiele brandstof en de vraag naar de invloed van drijfgassen in spuitbussen op de ozon-huishouding.

Men zal moeten komen tot het vaststellen van normen en gedragsregels i.v.m. emissies. Ook op dit gebied staat de techniek voor moeilijke, soms door hun gecompliceerdheid onoplosbaar lijkende opgaven. Eventuele voorschriften zullen namelijk met alle in een bepaald gebied geloosde emissies en hun onderlinge interacties rekening moeten houden. Met veel overleg, onderzoek en technische vindingrijkheid kunnen de oplossingen stellig worden gevonden.

#### 4.3.4. De planten- en dierenwereld

De vitale betekenis van een goed functionerende planten- en dierenwereld voor het milieu van de menselijke samenleving en de plaats, die het behoud en beheer van ecosystemen in het milieubeheer dienen in te nemen, zijn reeds gememoreerd. Het behoud en beheer op dit terrein is al sedert tientallen jaren onderwerp van studies ten behoeve van het beleid. In bijna alle landen staat dit aspect nationaal in de belangstelling en door belangrijke organisaties ook internationaal. Wezenlijke elementen zijn daarbij steeds het tegengaan van erosie, het behoud van de wilde fauna, het ontwikkelen van nieuwe produktierassen en het behoud van de zogenaamde biologische evenwichten in verband met ziekten en plagen.

Eén van de argumenten is de noodzaak tot het behoud van genenbronnen. Dit is in het bijzonder urgent, doordat met huidige technische middelen ontwikkelingsplannen, zoals ontginningen voor landstreken van miljoenen ha., kunnen worden verwezenlijkt. Deze bieden weliswaar veelbelovende perspectieven op het gebied van vooral agrarische produktie of de exploitatie van bodemschatten, maar zij betekenen door te eenzijdige technische uitvoering ook grote bedreigingen voor de noodzakelijke gevarieerdheid van ecosystemen. In Afrika, maar ook wel in Zuid-Amerika en —in mindere mate— Azië zijn deze problemen zeer dringend. Deskundigen vrezen, dat daar binnen ongeveer een decennium een groot maar moeilijk vast te stellen percentage van inheemse planten en dieren (waarbij medicinaal en landbouwkundig belangrijke soorten) zal zijn uitgeroeid. Dit is uiteraard een onomkeerbaar proces, zodat deze soorten voor het zover is in voldoende en representatieve reservaten *moeten* zijn beschermd. Het ziet er helaas niet naar uit, dat dit zal gelukken.

Naast de betekenis die moet worden toegekend aan

het behoud van het natuurgegeven genenmateriaal is het behoud van de plantenwereld van belang voor de bodembescherming, voor het behoud van produktievermogen en voor de leefbaarheid van cultuurlandschappen.

Voor de dierenwereld gelden vergelijkbare overwegingen. Een belangrijk aspect is ook hier het uitsterven van o.a. door moderne ontwikkelingen bedreigde diersoorten. Hiertoe werd in 1973 de zogenaamde Washington Conventie betreffende de internationale handel in bedreigde, wilde plant- en diersoorten getekend. Daarnaast is het beschermen van de dierenwereld van betekenis in verband met de functies voor het behoud van biologische evenwichten. Men denke bijv. aan de instandhouding van het biologisch zelfreinigend vermogen van de oppervlaktewateren. Deze functies van de dierenwereld hebben wezenlijke relaties met verschillende aspecten van de materialenhuishouding, ook al zijn de verbanden secundair.

#### 4.4. De mens stuurt de materialenhuishouding

De processen van de materialenhuishouding zijn gericht op de bevordering van welvaart en welzijn van de *menselijke* samenleving. Vastgesteld moet worden, dat een aantal van die processen het milieu van die samenleving zo ongunstig beïnvloeden, dat een op verbetering gericht milieubeheer noodzakelijk is. Dat moet de processen zodanig begeleiden, reguleren en sturen, dat deze ongewenste gevolgen worden ondervangen. Bij dat streven kan centraal staan het voor de mens optimaal leefbaar houden of maken van de biosfeer in al zijn onderdelen (lithosfeer, hydrosfeer, atmosfeer). Dat is direct verbonden met het behoud van leefbaarheid voor de planten- en dierenwereld. Een dergelijke optimale leefbaarheid wordt alleen verkregen, wanneer het ontginnen en benutten van alle natuurlijke welvaartsbronnen zo geschiedt, dat ontaarding van de kwaliteit van het milieu niet worden toegestaan. Daarbij behoort weloverwogen gebruik van materialen en van energie, binnen de daarbij behorende beperkingen t.a.v. beheer van water, bodem, lucht, ecosystemen, planten- en dierenwereld en aspecten van de menselijke omgeving. Daarin is geen plaats voor overexploitatie, noch van minerale bodemschatten, noch van watervoorraden, noch van vegetaties (vooral bossen), noch van dierpopulaties (walvissen!), noch van leefruimte. Dit impliceert zorgvuldige planning en uitvoering van alle processen in de materialenhuishouding, inclusief het verwerken van het afval op een zodanige manier, dat de kwaliteit van het milieu wordt ontzien.

Het milieubeheer anno 1976 is van een dergelijke opzet nog ver verwijderd. Andere belangen dan die van een goed milieu —vooral economische— krijgen in het algemeen nog voorrang. De met deze nog steeds voortgaande opoffering van milieuwaarden gepaard gaande verliezen en/of lasten worden op de



koop toe genomen. Dat gebeurt vaak omdat men niet beter weet of omdat men meent, dat het niet anders kan. Het besef, dat het in beginsel wel anders kan en dat de kennis daarvoor kan worden verworven, is nog geen gemeengoed. Gelukkig wordt er in de heden-daagse samenleving al wel bewust op aangestuurd. Voor het welslagen van dit streven is het van het grootste belang, in het oog te houden, dat de gewenste verbeteringen tot stand moeten worden gebracht zonder processen en ontwikkelingsmogelijkheden lam te leggen door *onnodige* belemmeringen.

De mens staat centraal in al deze overwegingen. Dat is begrijpelijk, normaal en aanvaardbaar, maar er mag nooit worden vergeten, dat ook de mens niet meer is dan een factor in de huishouding van de biosfeer. Hij is en blijft onderworpen aan de natuurwetten. Het veronachtzamen van die wetten heeft onherroepelijk gevolgen, die altijd nadelig zijn. Zij zijn des te ernstiger, naarmate men de verkeerde aanpak of het verkeerde beheer langer doorzet. Zulk doorzetten is vaak het gevolg van de omstandigheid, dat de gevolgen lang niet altijd direct duidelijk zichtbaar worden. Er zijn evenwel al zoveel goed gedocumenteerde voorbeelden van zulke situaties, dat het onbegrijpelijk is, dat er nog steeds, ook in de ontwikkelde landen, zoveel fouten worden gemaakt. Het is in beginsel mogelijk alle vitale processen van de materialenhuishouding voortgang te doen vinden zonder het milieu op onaantvaardbare wijze te schaden. Dat kan evenwel alleen worden bereikt door een weloverwogen, doelbewust milieubeheer waaraan alle betreffende instanties meewerken.

Deze toestand is heden nog nergens werkelijkheid, maar de mogelijkheid bestaat en er wordt van verschillende kanten ernstig naar gestreefd. De verwezenlijking is een stuk toekomstbeeld van de techniek.

Voor een diepergaande bestudering van de in deze bijdrage aangesneden onderwerpen wordt verwezen naar de literatuur-opgaven [1, 2, 35 t/m 46].

## 5. Maatschappelijke waardering van het winnen en toepassen van materialen

door dr J.B. Opschoor en drs. J.H.A. Stapel

### 5.1 Inleiding

In de meest gangbare opvatting zijn activiteiten economisch van aard, indien zij zich —door zo goed mogelijk van de beschikbare middelen gebruik te maken— richten op het bevredigen van behoeften. Zij dragen dan bij tot het verminderen van de spanning, die wordt gevoeld tussen behoeften en de middelen om die te bevredigen: zij vergroten de welvaart. Productie en consumptie kunnen gewoonlijk als zodanige activiteiten worden aangemerkt.

Vele elementen en aspecten van het natuurlijk milieu waarin de mens leeft, behoren eveneens tot de middelen, die bijdragen aan zijn welvaart. Op vergroting van de welvaart gerichte produktieve en consumptieve activiteiten kunnen echter neven-effecten oproepen welke die welvaart weer verminderen. Als in het kader van deze studie relevante neven-effecten gelden: de verandering van het milieu, of zelfs de vernietiging van onderdelen daarvan en in bepaalde gevallen: effecten, verbonden met de winning van grondstoffen, c.q. uitputting daarvan.

### 5.2 Maatschappelijke kosten en baten: wat houdt het in?

Probeert men vast te stellen of en in welke mate bepaalde activiteiten (bijv.: een industrievestiging inclusief de daarmee gepaard gaande vervuiling; het tempo, waarin een grondstof wordt gebruikt) gewenst zijn, dan zou men de daarmee gepaard gaande maatschappelijke kosten en baten willen kennen en afwegen. Hieronder verstaat men de waardering van alle positieve effecten (baten) of negatieve effecten (kosten) door alle betrokken individuen en groepen. Die waardering kan worden gezien als een resultante van de effecten op het welzijn van de betrokkenen. Onder bepaalde veronderstellingen kan zo'n afweging in termen van maatschappelijke kosten en baten worden aangeduid als een kosten-baten-analyse. Het plezierige van zo'n analyse (als men de daarbij gehanteerde veronderstellingen en rekenmethoden accepteert) is, dat alle ter zake doende aspecten van een vraagstelling zouden zijn uitgedrukt in één en dezelfde maatstaf. Eenvoudig aftrekken zou dan leren of een alternatief gewenst is of niet! Een in dit verband belangrijke praktische vraag is die naar de mogelijkheid, bij het invullen van die maatschappelijke kosten en baten gebruik te maken van *prijzen*, zoals het marktmechanisme die oplevert (de zogenaamde private kosten en baten, in tegenstelling tot de maatschappelijke). Op dit thema willen wij in deze paragraaf preluderen, waarna de stap naar de grondstoffen- en milieuproblematiek zal worden gezet.

De *vraagfunctie*, als verband tussen de prijs van een goed en de bij die prijs gekochte hoeveelheid van dat goed, is een aggregatie van alle individuele vraag-uit-oefeningen. Daarbij spelen dus ook elementen als macht en inkomensongelijkheid een grote rol. Voor de meeste goederen geldt, zeker binnen bepaalde grenzen, dat de hoeveelheid, die ervan wordt gevraagd, toeneemt naarmate men rijker wordt. De ongelijkheid in het verbruik van grondstoffen tussen het Westen en de Derde Wereld (zie Tabel 8) vormt hiervan een illustratie.

De *aanbodsfunctie*, als verband tussen de prijs en de daarbij aangeboden hoeveelheden, is afhankelijk van de prijzen van de produktiefactoren (arbeid, grondstoffen, kapitaal) en de stand der techniek. Ook aan aanbodszijde kan door concentratie aan machtsvorming worden gedaan.



Confronteert men vraagfunctie en aanbodsfunctie op een markt, dan zal er in het algemeen een prijs zijn, waarbij gevraagde en aangeboden hoeveelheid van een goed of produkt aan elkaar gelijk zijn. Dit betekent dus, dat prijzen, die op markten tot stand komen, mede kunnen zijn bepaald door factoren als inkomens- en machtsongelijkheid. We zullen nog zien in hoeverre dit op grondstoffen en materialen van toepassing is.

Een mogelijkheid van onderling afwijken van private en maatschappelijke kosten — dus van een in maatschappelijk opzicht gebrekkige werking van het markt- of prijsmechanisme — is die van de zogenaamde *externe effecten*. Het gaat daarbij om beïnvloeding van de bevredigingsniveaus van anderen dan de direct bij markttransacties betrokkenen; anderen dus dan diegenen, wier stem doorklinkt in de vraag- en aanbodsfuncties. Milieuverontreiniging is daarvan een goed voorbeeld. In de produktiekosten (en daarmee in de aanbodsfunctie) van goederen en diensten is die immers niet of slechts ten dele verwerkt. Evenmin betaalt de consument voor de overlast, die hij anderen soms aandoet met zijn verbruik van goederen en diensten. Omdat deze effecten ten opzichte van het marktmechanisme extern zijn, komen ze ook niet in de prijs tot uitdrukking; soms worden ze dan ook wel als *expetiale effecten* aangeduid [47].

Men kan dus tenminste de volgende bronnen van divergentie tussen private en maatschappelijke kosten onderscheiden:

- de mate waarin (potentiële) vragers en aanbieders in het marktproces zijn vertegenwoordigd (zie par. 5.3);
- gegeven die mate waarin (potentiële) vragers en aanbieders in het marktproces zijn vertegenwoordigd: de externe effecten (zie par. 5.4).

Op beide zal hieronder nader worden ingegaan, in verband met de grondstoffen- en materialenproblematiek.

### 5.3. Maatschappelijke kosten en baten van grondstoffenwinning

Een maatschappelijke waardering van iets in de gangbare, neoklassieke visie, die wij hier aan de orde stellen, moet worden gebaseerd op het oordeel van alle individuen en groepen, die met dat iets te maken hebben. Het is daarom al direct duidelijk, dat een maatschappelijke waardering van beïnvloeding van de welvaartspositie van toekomstige generaties op moeilijkheden stuit: horen deze generaties wel of niet tot „de maatschappij”? Zo ja, dan wordt een maatschappelijke afweging uiterst moeilijk of onmogelijk, omdat die generaties hun voorkeuren niet in het geding kunnen brengen. Zo neen, dan blijft er het ethische vraagstuk in hoeverre de maatschappij gerechtigd is, nakomelingen op te zadelen met bepaalde gevolgen van verontreiniging of uitputting. In het licht van in de tijd gespreide effecten verliest de

term maatschappelijke kosten veel van zijn betekenis.

In verband met de maatschappelijke kosten van grondstoffengebruik zijn de volgende drie aspecten van groot belang.

- A. De *ongelijke verdeling* van de grondstoffenvoorraden en -verbruiken over de (geografisch en politiek) verschillende gebieden op de wereld.
- B. De *eindigheid* van de voorraden van diverse van die grondstoffen.
- C. De *milieu-implicaties* verbonden aan de winning en het gebruik van grondstoffen.

#### A. Ongelijke verdeling

Tabel 8 geeft een globale indruk van de verdeling van de produktie en het verbruik van een aantal minerale grondstoffen.

**Tabel 8.** Verdeling van produktie en verbruik van enkele minerale grondstoffen (gewogen gemiddelde voor bauxiet, koper, tin, lood) [2]

	Grond- stoffenver- bruik (%)	Grond- stoffenpro- duktie (%)	Grond- stoffenom- vang (%) <sup>1)</sup>
Westerse geïndustrialiseerde landen	70,4	36,6	19,5
Communistische landen	21,7	20,9	31,5
Ontwikkelingslanden	7,9	42,5	49,0
Totaal	100	100	100

<sup>1)</sup> Op basis van de bewezen, economisch exploiteerbare reserves.

Deze gegevens illustreren de afhankelijkheid tussen (vooral) de westelijke geïndustrialiseerde landen en de hen van grondstoffen voorzienende Derde Wereld. Ze maken ook duidelijk, dat een economische analyse alleen het laatste woord niet kan zijn: er is sprake van een onderling verweven complex van economische, technisch-natuurwetenschappelijke en politieke factoren. Deze omstandigheid dwingt ertoe, zich bij elk oordeel, dat men over de grondstoffenproblematiek heeft, te bezinnen op daaraan ten grondslag liggende waardeoordelen [48]. In situaties van grote inkomensongelijkheid zijn het vooral de groeperingen met de grootste koopkracht wier wensen doorklinken op de markt en die, in dit geval, de richting van de grondstoffenstroom bepalen; in situaties van machtsongelijkheid is het uiteraard de stem van de machtige, die het beste wordt gehoord. Bovendien kan macht zich manifesteren door beheersing van het marktproces via (o.a.) prijzen en aangeboden hoeveelheid. Veelal lopen zulke vormen van ongelijkheid parallel; is dat niet zo, dan verplaatsen de gebeurtenissen zich naar een meer politieke sfeer (de oliecrisis van 1973 en de daarmee samenhangende pogingen om tot een



mondiaal grondstoffendebat te komen, demonstreren dit).

#### B. Eindigheid

Zoals eerder in dit hoofdstuk (par. 2) uitvoeriger is behandeld, dient hierbij onderscheid te worden gemaakt tussen eindigheid in verband met privaateconomische kosten en baten en eindigheid in absolute zin [49].

#### C. Milieu-implicaties

Met name valt hier te denken aan het omwoelen van de aardoppervlakte, het veroorzaken van erosie, aan het feit, dat steeds grotere volumes moeten worden verwerkt om gegeven hoeveelheden van een grondstof te verkrijgen. Bij dit laatste kunnen ook steeds grotere hoeveelheden energie nodig zijn (o.a. thermische verontreiniging).

Tussen de onder A, B en C genoemde punten bestaan ook onderlinge verbanden. De ongelijke verdeling klemmt te meer, gezien vanuit de eindigheid van hulpbronnen. Eindigheid van voorraden van een gegeven kwaliteit vergroot vaak de milieu-implicaties. Gegeven eisen met betrekking tot de kwaliteit van het milieu hebben gevolgen voor de snelheid waarmee materialen kunnen worden gewonnen en verbruikt.

Al met al kan men er dus aan twifelen of het marktmechanisme de grondstoffenstromen op de juiste wijze stuurt, in het bijzonder vanuit de huidige mondiale welstands-verdeling. Maar ook vanuit de problematiek van de eindigheid van grondstoffen rijzen grote twijfels. De marktprijs is een weerspiegeling van vraag en aanbod, van wensen en mogelijkheden van de huidige generatie, hoe ongelijk (c.q. onrechtvaardig) het gewicht ook moge zijn, dat ieder lid van die generatie in de schaal legt. Het belang echter, dat toekomstige generaties bij die eindige voorraden zouden kunnen hebben, is er niet in verdisconteerd. Of slechts ten dele, zoals in het geval wanneer de bezitters van eindige bronnen via machtsvorming tot aanbod-beperking overgaan. Het is immers de vraag, in hoeverre hier een claim van toekomstige generaties ter tafel komt of het belang van de thans levende machthebbers.

Wanneer men de vraag naar grondstoffen uit de verschillende werelddelen zou willen herwegen alsof bestaande verschillen in koopkracht zouden zijn opgeheven en tevens de hypothetische vraag van toekomstige generaties zou vertalen in huidige, effectieve vraag, zou de prijs van veel grondstoffen hoger liggen dan de huidige. *In die ruime zin liggen de maatschappelijke kosten van grondstoffenwinning boven de huidige marktprijs.* Maar ook in engere zin is er een — in dezelfde richting wijzende — discrepantie tussen private en maatschappelijke kosten van grondstoffenwinning en -gebruik. Als de hogere maatschappelijke kosten, gepaard gaande met een veel gelijkmatiger welvaartsverdeling, zouden worden opgelegd in huidige markten, dan zou dat veel kleinere en anders

gerichte grondstoffenstromen tot gevolg kunnen hebben. Hoeveel kleiner is niet te zeggen voordat die maatschappelijke kosten en de vraagelasticiteiten *precies* bekend zijn. Voor een uitgebreidere confrontatie van verschillende visies op dit punt zie Pearce et al [50].

#### 5.4. Maatschappelijke kosten van milieuverandering

Van de betekenis in economisch opzicht van de milieuverandering zijn in de recente Nederlandse literatuur twee, in elkaars verlengde liggende, benaderingen gegeven [51, 52]. Uitgaande van algemene ecologische begrippen kan men zeggen, dat organismen op een bepaalde plaats kunnen leven, indien aan bepaalde, vaak soort-specifieke, eisen ten aanzien van een groot aantal *milieufactoren* is voldaan (zoals de aanwezigheid van licht, vocht, warmte, voedsel en bepaalde stoffen). Voor deze milieufactoren kan men — bij gelijkblijvende overige omstandigheden — tolerantie-grenzen vaststellen; *milieuverandering* is dan een — vanuit menselijk standpunt gewenste of ongewenste — verandering in de aanwezigheid van bepaalde milieufactoren. Milieuverontreiniging is nu elke door de mens veroorzaakte toevoeging van milieufactoren, voorzover deze het huidige of toekomstige welzijn van de mens negatief beïnvloedt [51].

Het theoretische en empirische werk inzake de economische waardering van de als milieuverontreiniging aangeduide vorm van milieuverandering is het verst gevorderd. Daarom kan aan de hand van dit voorbeeld de algemenere problematiek van milieuverandering als economisch vraagstuk het beste worden toegelicht. Milieuverontreiniging kan een directe beïnvloeding van menselijk welzijn inhouden (stank, geluidshinder). Ook kan er sprake zijn van een indirecte beïnvloeding (toegenomen corrosie, aantasting van landbouwgewassen). Een ander onderscheid is dat tussen beïnvloedingen van het welzijn, die nu optreden en beïnvloedingen, die zich in de toekomst zullen manifesteren.

In deze paragraaf zullen wij de potentieel zeer gewichtige categorie van toekomstige effecten buiten beschouwing laten omdat de economische theorie er nog weinig raad mee weet. Wij beperken ons hier dus tot de directe en indirecte effecten op het welzijn van de thans levende generaties. Ook laten wij buiten beschouwing de verdelingsproblematiek, zoals die in de vorige paragraaf aan bod kwam.

Een eerste vereiste voor een economische evaluatie van milieuverontreiniging is, dat de omvang ervan in fysische, niet-economische maatstaven bekend is en kan worden gerelateerd aan de aanvankelijke mate en aard van de blootstelling (dosis-effect relaties). Economen duiden deze verbanden veelal aan met de term: fysische schadefuncties (FS-functies). Voor een groot aantal terreinen (vooral waar het effecten op langere termijn betreft) blijkt het echter met de kennis



van deze FS-functies zeer slecht gesteld te zijn. Vaak zijn ze niet bekend, dikwijls is erover grote onenigheid tussen deskundigen, of gelden ze slechts onder ideale laboratorium-omstandigheden (zie bijv. [52, 53, 54]).

Bij één studie zullen we kort stilstaan. Jansen et al. [53] hebben getracht de schade te ramen van de luchtverontreiniging in Nederland in 1970. Zij hebben zich beperkt tot de schade aan materialen (corrosie), de schade aan landbouw en veeteelt (oogstreductie, sterfte onder dieren), de schade aan de menselijke gezondheid en tenslotte schade ten gevolge van verlies aan woongenot. Ondanks een intensief onderzoek hebben de auteurs slechts zeer weinig bruikbare FS-functies kunnen vinden voor beide eerstgenoemde schadecategorieën en slechts niet algemeen aanvaarde voor de schade aan de menselijke gezondheid. De resterende schadecategorie is direct in economische termen geanalyseerd, zodat daarbij geen probleem optrad inzake FS-functies.

Ook in het geval dat de fysieke schades tengevolge van milieuverontreiniging bekend zouden zijn, blijft er een probleem van economische meting en waardering van de maatschappelijke kosten. Economen hebben meestal gezocht naar een waardering in *geld*. In het algemeen geldt, dat voor de behandeling van dit probleem (nog) geen erg overtuigend instrumentarium is ontwikkeld. Bepaalde aspecten van de schade door milieuverontreiniging kunnen wel in geld worden gewaardeerd, mits men de marktwaarderingen van die aspecten als terzake dienend aanvaardt<sup>4</sup>). Men kan daarbij denken aan schades, die te bestrijden zijn met op de markt verkrijgbare goederen, zoals corrosie van metalen, of die op zich een marktwaarde hebben, zoals aantasting van landbouwprodukten. Andere aspecten, zoals die welke te maken hebben met de subjectieve beleving van milieuverontreiniging en de daarmee samenhangende schades, kunnen tot op heden niet of niet bevredigend worden gewaardeerd [52, 53].

Gunstiger staat het met betrekking tot de mogelijkheden voor bepaling van de kosten van *verbetering* van het milieu. Dit geldt niet alleen voor de kosten in engere zin (de financiële offers van bijvoorbeeld de derde trap waterzuivering), maar ook voor de gevolgen voor het nationaal inkomen, de werkgelegenheid, consumptieniveaus e.d. De maatschappelijke consequenties van het voorkomen van milieuverandering blijken gemakkelijker te evalueren dan de maatschappelijke kosten van schades ten gevolge van milieuverandering [55, 56].

Een illustratie hiervoor is de zogenaamde schaduwprojectbenadering [57]. Deze gaat er van uit, dat verdere aantasting van het milieu ongewenst is. Wanneer een project wordt overwogen met (direct en/of indirect) ongunstige effecten op het milieu, dan dienen de kosten van compenserende maatregelen te worden opgeteld bij de kosten van het project in

<sup>4</sup>) Dat hierop ook fundamentele kritiek mogelijk is, wordt op vele plaatsen betoogd (zie bijv. [52]).

kwestie. Voor een nadere analyse van deze methoden zie [52].

De *baten* (de maatschappelijke waarde van de vermindering van schade) van een programma ter bestrijding van milieuverandering kunnen dus niet of nauwelijks in geld worden uitgedrukt, de *kosten* vaak wel. Een eenduidige afweging in geld van maatschappelijke kosten en baten is derhalve niet mogelijk, zelfs niet als we ons — zoals in deze paragraaf — beperken tot de uit economisch gezichtspunt eenvoudigst te kwantificeren soort van milieuverandering.

## 5.5. Elementen in de ontwikkeling van een beleid

Zolang de huidige materiaalstromen door verdere exploratie in stand kunnen worden gehouden, zullen de directe kosten hiervan wel in de prijs worden verdisconteerd. Vaak wordt gesteld, dat de omvang van economisch winbare reserves van een aantal materialen (ijzer, tin) sterker dan recht evenredig zou toenemen met een prijsverhoging; betrouwbare en volledige informatie hierover is schaars. Het is de vraag of het mogelijk is, voor langere tijd te voorzien in een verbruik, dat zou volgen uit extrapolatie van huidige trends<sup>5</sup>), aangevuld met een toenemend verbruik door ontwikkelingslanden [58]. Het verbruik van de geïndustrialiseerde wereld gaat ten koste van potentiële (huidige en toekomstige) verbruikers in de ontwikkelingslanden. Dit kan leiden tot een zo urgente situatie, dat de eigen voorziening onzeker wordt, zoals het geval is met aardolie. Deze aspecten komen niet in de marktprijs tot uiting: in welke mate zal de wal het schip moeten keren?

Het is vooral de *groei* in het huidige verbruik, die de beperkte beschikbaarheid van grondstoffen tot een belangrijk punt maakt. De vraag is dan ook gewettigd of overheden vanuit hun afweging van maatschappelijke en private consequenties van grondstoffen-gebruik die groei niet moeten matigen. Dit kan rechtstreeks worden beproefd of via prijsverhogende maatregelen (zodat de beperkte voorzieningsmogelijkheden méér in de prijs tot uitdrukking komen).

In het geval van substitutie kan er sprake zijn van vervanging van materialen uit natuurlijke kringlopen door materialen uit eindige voorraden of vervanging van het ene materiaal uit een eindige voorraad door een ander. Het is daarbij niet a priori duidelijk, dat de totale maatschappelijke kosten zullen afnemen. In het verdere verleden heeft substituering veelal ingehouden een vervanging van een op een bepaald moment voor een bepaald doel meest geëigend materiaal door een minder geëigend materiaal, op

<sup>5</sup>) De waarde van zulke extrapolaties is natuurlijk ook twijfelachtig voorzover stijgende exploitatielasten (moeilijker toegankelijke vindplaatsen, lagere ertsgehalten) in de prijzen tot uitdrukking zullen komen (zie ook Hoofdstuk 2, par. 3), waardoor remming van de vraag zou kunnen optreden.



grond van optredende schaarste [59]. Hoewel deze situatie in het industriële tijdperk anders werd, is het toch de vraag of er geen grenzen zijn aan het tempo waarin wetenschap en techniek oplossingen op dit terrein kunnen aandragen. Deze vraag onttrekt zich overigens aan wetenschappelijke beantwoording; het lijkt riskant een relatief jonge technische ontwikkeling als belangrijkste indicatie te nemen (zie ook Hoofdstuk 1).

Men kan door herverwerking, levensduurverlenging en beter ontwerpen proberen de materialenstroom te doen afnemen [58, 60]. Thans geldt veelal dat de mogelijkheden hiertoe sterk afhangen van bestaande, private kostenverhoudingen. Zo moet bij hergebruik van produkten en bij het opnieuw in roulatie brengen van materialen worden geconcentreerd tegen prijs en kwaliteit van nieuwe produkten en materialen. Gaat het om hergebruik door consumenten dan spelen bovendien sociale factoren een belangrijke rol, zoals attitudes ten aanzien van nieuwe of tweedehands goederen (zie ook Hoofdstuk 2, par. 5) [60]. Economische aspecten in dit verband zijn: de stijgende kosten van onderhoud en reparatie; de neiging om bij stijgende inkomens meer over te gaan tot nieuwe produkten.

De afweging tussen vervanging van een goed of verder gebruik ervan vindt ook weer plaats op basis van een afweging van private kosten en baten. Aan deze private afweging dient men echter elementen van maatschappelijke kosten toe te voegen door heffingen op afval, c.q. premies op het voorkómen ervan (zie ook par. 7) [60]. Wel dient onderscheid te worden gemaakt tussen de economische levensduur (EL) en de technische levensduur (TL) [60]. De EL kan niet groter zijn dan de TL, zodat het uiterst zinvol kan zijn, ook te zoeken naar mogelijkheden om de TL te verlengen. Het gaat hier om een methode van beperking van grondstoffenverbruik, die niet gemakkelijk via het prijsmechanisme kan worden gestuurd. Toch betekent dat nog niet, dat verlenging van de TL minder belangrijk zou zijn dan verlenging van de EL, zoals Beek concludeerde [61]. Wel geldt, dat verlenging van de TL slechts zinvol is wanneer deze gepaard gaat met een verlenging van de EL. Eenvoudig zal dat echter niet zijn: zoals gezegd spelen hier naast het prijsmechanisme evenzeer attitudes van de gebruiker een rol.

Bewustmaking door voorlichting en beïnvloeding van de mentaliteit kunnen dus evenzeer aspecten vormen van een op zuinig verbruik gericht grondstoffenbeleid als subsidiëring van onderzoek of heffingen op afvalveroorzaking.

## 5.6. Behoeftte aan studie

Het voorgaande leidt tot de constatering, dat een aantal belangrijke consequenties van het grondstoffenverbruik niet tot uitdrukking komt in de prijs van die grondstoffen. De bijbehorende aspecten laten zich moeilijk kwantificeren in termen van geld, deels

omdat het hier gaat om onbekende toekomstige ontwikkelingen en om onbekende huidige neven-effecten, deels omdat een dergelijke kwantificering moet worden gebaseerd op een in principe niet-wetenschappelijke weging van belangen van groepen verbruikers, potentiële verbruikers en ook zij, die uitsluitend de externe effecten ondervinden. Tenslotte kan worden vastgesteld, dat er een aantal natuurwetenschappelijke en ecologische aspecten zijn aan het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, waarvoor een economische waardering weinig houvast biedt en waar moet worden gezocht naar waardering in andere, fysieke maatstaven (zie ook Hoofdstuk 2, par. 6).

Hoewel het vraagstuk een wereldomspannend karakter heeft, vertoont het voor ons land in een aantal opzichten een eigen aspect. Men zie hiervoor bijvoorbeeld een recente uiteenzetting van De Wolff [62] over de economisch-technologische gevolgen van schaarste voor Nederland.

Een mogelijke aanpak kan worden geïllustreerd aan de hand van een studie van Ridker et al. [63] over de relaties tussen grondstoffenverbruik, bevolking, milieu en economische ontwikkeling in de Verenigde Staten tot het jaar 2020. De basis van het model, dat aan die studie ten grondslag ligt, is een input-output model van 185 sectoren van de economie van de V.S. waaraan o.m. per sector gekoppeld zijn: emissiecoëfficiënten en coëfficiënten voor grondstofverbruik. Dit model is doorgerekend voor verschillende veronderstellingen met betrekking tot de bevolkingsontwikkeling (3, resp. 2 kinderen per vrouw), de economische groei (2,25% resp. 1,50% groei van de produktie per man per jaar) en het milieubeleid. De gevolgen zijn voor enkele grondstoffen weergegeven in Tabel 9.

Natuurlijk moet men in het oog houden, dat het hier gaat om een model, dat wel zeer gedetailleerd is, maar toch noodzakelijkerwijs gebaseerd op een groot aantal veronderstellingen. Toch duiden de verschillen tussen de percentages voor het jaar 2020 en die voor het cumulatieve verbruik er op, dat voorbij 2020 de besparingen in het cumulatieve verbruik nog aanzienlijk zullen kunnen stijgen.

Een andere presentatie van deze uitkomsten, meer gericht op het isoleren van de bijdragen, die verminderde economische groei en verminderde bevolkingsgroei kunnen leveren, is die van Tabel 10.

Een daling van het nationaal produkt per hoofd sorteert dus voor de beschouwde periode meer effect ten aanzien van vermindering in grondstoffenverbruik dan eenzelfde daling van de bevolkingsomvang. Deze gegevens vormen wellicht een eerste ruwe aanwijzing voor de materiële offers, nodig voor een op verminderd verbruik gericht grondstoffenbeleid.

De studie levert ook een indicatie over mogelijke



**Tabel 9.** Enkele model-uitkomsten voor de economie van de V.S. en de daaruit voortvloeiende veranderingen in het materiaalverbruik in 2020 (géén herverwerkingsbeleid) [63]

	Bevolking hoog		Bevolking laag	
	hoge economische groei	lage economische groei	hoge economische groei	lage economische groei
Bevolking (10 <sup>6</sup> )	440	440	229	229
Bruto nat.prod. (10 <sup>9</sup> \$)	5.571	3.798	4.373	2.974
Bnp/hoofd (\$)	12.661	8.632	14.625	9.946
Besparingen in het verbruik in 2020 (in % t.o.v. de verbruiken die bij de eerste kolom horen); tussen haakjes deze zelfde percentages voor het cumulatieve verbruik tot 2020.				
IJzer	—	27,3(17,4)	22,0(11,8)	43,7(27,2)
Aluminium	—	28,7(19,7)	21,4(12,0)	43,9(28,8)
Koper	—	28,4(19,4)	22,2(11,7)	44,4(28,2)
Lood	—	29,2(18,8)	20,8(10,2)	43,5(27,4)
Zink	—	31,2(20,9)	23,7(14,1)	47,3(32,3)
Tin	—	23,7(13,4)	6,7( 3,9)	29,6(16,9)
Energie	—	31,9(23,5)	22,1(13,3)	47,1(33,1)

**Tabel 10.** Daling van het materialenverbruik in de V.S. in 2020 als gevolg van een geringere bevolkingsgroei en een geringere economische groei [63]. (Referentiekader: 1e kolom van Tabel 9)

	Daling van het jaarverbruik bij:	
	1% geringere bevolkings-omvang	1% lager bruto nationaal produkt/hoofd
IJzer	0,56%	0,85%
Aluminium	0,48%	0,88%
Koper	0,56%	0,97%
Lood	0,46%	0,79%
Zink	0,64%	0,99%
Tin	0,22%	0,68%

kosten-ontwikkelingen zonder ingrijpen in het marktgebeuren. Ridker veronderstelt, dat in de periode tot 2020 de kostprijs van nieuwe grondstoffen zal stijgen (hiervoor kunnen verschillende redenen zijn, zoals al in par. 2 van dit hoofdstuk is besproken). Voor wat betreft de kostprijs van teruggewonnen materialen zijn er, volgens Ridker, naast enkele indicaties voor een stijging, vooral aanwijzingen voor een mogelijke daling. Dit omdat onderzoek en ontwikkeling in vele gevallen meer mogelijkheden zullen gaan bieden voor hergebruik. Bovendien wordt hergebruik gestimuleerd door het milieubeleid en toenemend ruimtegebrek, waardoor het aanbod van afval aan de terugwinningsbedrijven zal toenemen. Tabel 11 geeft voor enkele grondstoffen een indruk over wat een intensieve stimulering van herverwerking door de overheid zou kunnen betekenen volgens de ramingen van Ridker (geldig voor de Verenigde Staten).

Geprobeerd zou kunnen worden, naar analogie van en voortbouwend op de methoden van Ridker et al., een gedetailleerd input-output model van de Nederlandse

economie te voorzien van een matrix van gegevens betreffende het hulpbronnen-verbruik in al de sectoren. Zo een systeem zou zich moeten uitstrekken tot de relaties tussen de economische structuur en alle ter zake doende factoren zoals energie, grondstoffen, water, ruimte en milieuvervuiling. In sectoren waarin zekere relaties van vitaal belang blijken te zijn, dient een aanzienlijke verdere verfijning te worden beproefd. Het moeilijkste probleem lijkt het verminderen van het in principe statische karakter van een dergelijke opzet door middel van het inbrengen van mogelijke technische, economische en maatschappelijke ontwikkelingen. Daarnaast zal het nodig zijn een goede aansluiting bij de buitenlandse activiteiten te vinden; anders zou het belang voor de grondstoffenproblematiek te gering zijn.

Op enkele plaatsen in Nederland (o.a. het Instituut voor Milieuvraagstukken, V.U. Amsterdam en het C.B.S., zie ook Hoofdstuk 2, par. 6.4) worden aanzetten voor een dergelijke veelomvattende methodiek beproefd of overwogen. De kennis, die hiermee kan worden verkregen, zal na voldoende ervaring met de te ontwerpen systemen betekenis kunnen krijgen voor de beleidsvorming. Gezien ook de ervaringen van onderzoekers als Isard [64], dient wel te worden gewaakt tegen al te hooggespannen verwachtingen.

**Tabel 11.** Ontwikkeling van het hergebruik als percentage van het jaarlijks verbruik in de V.S. ([63], pp. 67 en 98)

	1954-1958 (jaargemiddelde, schroot)	Begin 70'er jaren	Gestimuleerd hergebruik
Aluminium	15,5	17,3	42,6
Koper	36,4	44	54,4
Lood	37,3	43,9	47,2
IJzer	—	47,3	48,9
Zink	—	16,5	34,6



## 6. De bijdrage van de ontwerper

### 6.1. De sleutelpositie van de ontwerper

door prof. dr. J.M. Dirken <sup>6)</sup>

#### 6.1.1. Het industriële ontwerpen

Bij de beheersing van de materialenstroom kan de ontwerper een veel grotere invloed uitoefenen dan de (in Hoofdstuk 2, par 5 behandelde) consument. Hij speelt immers een centrale rol bij de vaststelling welk produkt wordt gefabriceerd en vooral hoe dit wordt gedaan. Hij kan worden beschouwd als de schakel tussen grondstoffenaanbod en materiaalbeslag door eindprodukten: hij vormt materialen om tot functie-vertuilers.

Het ontwerpproces vormt de draaischijf tussen het bovenstroomse terrein van mijnbouw en grondstofverwerking en het benedenstroomse terrein waar functionaliteit, technische levensduur, repareerbaarheid en herwinbaarheid e.d. zo'n grote rol spelen. Daarom ligt hier ook de sleutel voor de aanpak van bijbehorende milieu-, energie- en schaarsteproblemen. Een paar voorbeelden kunnen dit verduidelijken. Zo schatten Becker en Pick [65], dat in de eindprodukt-industrie 20 tot 50% van de gebruikte ijzeren staal-materialen tijdens de bewerkingen procesafval wordt. Uiteraard kan dit worden herverwerkt, maar volgens hen zou waarschijnlijk 20% van de oorspronkelijke grondstof kunnen worden bespaard door betere produktiemethoden. Theoretisch volgt daaruit, dat één op de vijf hoogovens en staalfabrieken feitelijk overbodig is, evenals 20% van de toeleverende mijnen, opslag, transport etc. Daarmee kan dus ook de milieu- en energieproblematiek danig worden verlicht. Nader onderzoek van deze globale stellingname zou uiteraard gewenst en belangrijk zijn. Een ander voorbeeld kan zijn de automobiellindustrie. In de V.S. kan ca. 15% van het energieverbruik worden toegerekend aan fabricage, gebruik en toelevering van en voor de personenauto. Ondanks toevoeging van uitlaatgaszuivering, veiligheidsconstructies en —eventueel— airconditioning mag toch worden verwacht, dat auto's steeds lichter en kleiner kunnen worden ontworpen, o.a. door toepassing van kunststoffen, aluminium en magnesium. De US-NCMP [32] verwacht dat in 1985 ca. 20% van de in de USA voor transport nodige energie op die manier kan worden bespaard.

Het is wel duidelijk, dat veel technisch mogelijk is, maar ook dat er veel onderzoek en ontwikkeling op gang moet komen. Het gaat dan niet om het type vernieuwing, dat wel eens als wildgroei wordt aangeduid, maar om materiaalbesparende vernieuwing: een minstens zo moeilijke ontwerp-opgave. Wetgeving betreffende milieubescherming en veiligheid kan een

belangrijke vernieuwende kracht zijn [66]. Ook materiaalbesparende wetgeving kan wellicht een katalyserend effect op de ontwerp-inventiviteit hebben.

#### 6.1.2. Het materiaalkeuze probleem

Een in principe positief te waarderen feit, dat desalniettemin in de praktijk grote problemen oproept, is de enorme verscheidenheid waarin materiaalsoorten worden aangeboden. Wanneer geen hoge eisen aan de materiaaleigenschappen worden gesteld, wordt de materiaalkeuze vaak sterk bepaald door de gebruikte fabrikagemethode. Zo zal men bijvoorbeeld bij massafabrikage van kleine, licht belaste onderdelen d.m.v. dieptrekken zijn keuze — vanwege de verwerkingseigenschappen — laten vallen op messing of dieptrekstaal. In zulke gevallen zoekt men die optimale combinatie van fabrikagemethode en materiaal die tot minimale kosten leidt. Schaarsteaspecten op langere termijn spelen daarbij slechts een kleine, indirecte rol.

Aan de andere kant van het spectrum staat het geval, waarin de keuze vooral wordt bepaald door de specifieke eigenschappen van het materiaal in het gereede produkt. Voor fotografisch materiaal is zilver nodig, voor supergeleidende magneten niobiumtin etc. Hier is de keuze beperkt; men zoekt vooral naar de voor het betreffende materiaal beste en goedkoopste verwerkingstechniek. Overgang op een verwant materiaal betekent dan vaak een forse, meestal onomkeerbare technologische omzwaai; overgang op een heel ander materiaal voor dezelfde functie is nog drastischer.

Een verdere stap is het — tot op zekere hoogte — ontwerpen van materialen op basis van te voren gestelde eisen. Onlangs is een lichtmetaal-legering ontwikkeld waaruit in één keer een motorblok met cylindervoeringen kan worden gegoten. De gebieden van de kunststoffen, de halfgeleiders, de keramische magnetische materialen en glas zijn illustraties van de betekenis van dit ontwerpen van materialen. De rol van technisch kennen en kunnen is hier uiteraard groot en neemt nog verder toe.

Materiaalkeuze is dus geen eenduidig bepaald begrip, waarbij echter kosten van het materiaal zelf en de verwerking traditioneel een grote rol spelen. Meestal gaat het daarbij dan om vervaardigingskosten; bedrijfskosten tijdens de levensduur blijven dikwijls buiten beschouwing. In groter kader bezien is dit onjuist. Het is trouwens gewenst, ook de levensduur van een produkt niet als vaststaand te beschouwen, maar op te nemen als variabele in een optimaliseringsproces [60], naast aspecten als milieubelasting bij fabricage- en verbruiksprocessen, schaarste en hergebruiksmogelijkheden. Zulke overwegingen zullen leiden tot vervanging en verdringing van (groepen) materialen door andere. Het materiaalkeuze probleem neemt hierdoor verder in complexiteit toe.

<sup>6)</sup> Aanvullende opmerkingen van prof. ir. P. Jongenburger zijn in deze paragraaf verwerkt onder 6.1.2. en 6.1.3.



### 6.1.3. Het ontwerpproces en materialenkennis

Het ontwerpen van nieuwe, in bredere zin verantwoorde producten wordt steeds ingewikkelder. Prestatie, kwaliteit en betrouwbaarheid dienen toe te nemen, kosten van materialen, arbeid en „overhead“ dienen verminderd [67]. Het pakket van eisen wordt gedetailleerder en omvattender; een groot deel van de ontwerpinspanning is nodig voor het vaststellen van de vele criteria. Daar komt bij dat veel van deze criteria niet van technische aard zijn, maar van sociale, psychologische of macro-economische.

In de bouw, de constructie en het transport — tezamen gebruikers van het grootste deel van de materialenstroom — zal die toename van heterogene criteria minder snel verlopen dan in de massafabrikage van ge- en verbruiksgoederen. Wel blijken de voor de diverse technische sectoren benodigde ontwerpsystematieken veel overeenkomsten te vertonen [68]. Al met al is het bedenken van nieuwe eindproducten een langdurig en riskant proces met een bijzonder breed spectrum van eisen en normen [69].

Gaan wij nog even terug naar het denkmodel van Figuur 10 uit Hoofdstuk 2 (par. 5), dan zal de industriële ontwerper de gebruiksduur, de gebruiksfrequentie en het gebruiksnut van een produkt de beste kansen moeten geven, maar afgewogen tegen energie, milieu en grondstof. Niet ieder van deze factoren is makkelijk in maat en getal uit te drukken. Evenmin zouden zulke resultaten eenduidig onderling te vergelijken en te wegen zijn. Veel inzicht in het verband tussen de uitkomsten van zulke wegingen en bedrijfseconomische rendementsoverwegingen is er ook niet. Hoe moet men bijvoorbeeld komen tot de noodzakelijke meeweging van de relatieve grondstofschaarste in Fig. 10 van Hoofdstuk 2, ondanks het gegeven dat de grondstofprijs hiervoor een ontoereikende aanwijzing levert [32, 49, 70, 71]?

De ingenieur is opgeleid in de wereld van structuren en thermodynamica en niet in de omvattender wereld van functie en prestatie [66]. Hij zou eerst op macro-niveau dienen te denken en vanuit maatschappij, markt en gebruik moeten overgaan naar grondstof. Tegelijkertijd echter worden steeds hogere eisen gesteld aan zijn technische materiaalkennis. Naast inzicht in de globale mechanische en fysische eigenschappen van traditionele materialen is nu tevens kennis nodig van elektrische en elektronische eigenschappen en van optische, atomaire of ionische hoedanigheden.

De industriële ontwerper dient ook bekend te zijn met de energieinhoud van verschillende grondstoffen en dat zowel na primaire winning, als na herwinning. Hierover komen gegevens beschikbaar, in voor ontwerpers hanteerbare vorm [32, 72, 73]. Verschillende studies zijn gaande om het energieverbruik van vele fabrikage-methoden te berekenen. Veel is dus bekend en dient door voorlichting, bijscholing en middels de ingenieursopleiding aan de technische ontwerpers te

worden aangereikt. Meer dient alsnog te worden verzameld, onderzocht en hanteerbaar gemaakt.

Bij het ontwerpen van een constructie kan gebruik worden gemaakt van een systeem-analytische optimaliseringsprocedure. Hieruit kunnen de eisen voortvloeien die aan het materiaal worden gesteld, mede rekening houdend met de eerder genoemde nieuwere gezichtspunten. Een dergelijke procedure kan echter alleen dan maximaal effect sorteren wanneer er goede en toereikende materiaal-informatiesystemen worden opgebouwd. Deze moeten het mogelijk maken, één of meer materialen te vinden die een gegeven pakket van eigenschappen en kentallen bezitten. Dit betekent dat de beschikbare gegevens zodanig dienen te worden geordend dat de eigenschappen (in ruime zin, dus incl. schaarste-, energie- en milieu-aspecten) de ingang vormen en de materialen de uitgang. Dit is het omgekeerde van de huidige praktijk, zodat hieraan nog veel werk vastzit. Enkele stappen in deze richting zijn overigens wel genomen.

### 6.1.4. Strategieën voor materiaalbesparing

In paragraaf 6.2. zal een eerste aanzet worden beproefd tot het ontwikkelen van een methodiek voor het ontwerpen die recht doet aan de hiervoor gegeven overwegingen. Als voorbereiding hierop zal nu van een viertal materiaalbesparingsstrategieën worden bezien wat de ontwerper daarin kan bijdragen. Dit laatste zal in voorlopige zin wat worden uitgewerkt met een aantal vuistregels voor de ontwerper. De vier strategieën zullen, in navolging van Roberts [74], worden aangeduid als: vervanging, hergebruik, spaarzaam ontwerpen en levensduurverlenging.

#### *Vervanging*

Het vervangen van schaarse door minder schaarse grondstoffen is in sommige gevallen onvermijdelijk [7,75]. Het gaat hier echter om geleidelijk verloopende, langdurige processen. Wellicht zijn polymeren (kunststoffen) de belangrijkste vervangers van andere stoffen: zij kunnen in belangrijke mate worden ontworpen (par. 6.1.2.). Toch wordt de verbreiding van polymeren al geruime tijd vooral gekenmerkt door nieuwe toepassingen van oude, bekende kunststoffen. In de hoofdstukken 4, 5 en 6 kan men daarvan voorbeelden aantreffen, evenals van de bij vervangingsprocessen horende voorwaarden en gevolgen die op het eerste gezicht veraf lijken van het eigenlijke proces. Een voorbeeld ter illustratie van dit laatste: voor meer toepassing van hout in de bouw zullen daaraan voorwaarden moeten worden gesteld, maar het heeft ook verstrekkende gevolgen voor de bosbouw (zie Hoofdstuk 5). Daarnaast zal het de behoefte aan conserveringsmiddelen (verf, vernis etc.) doen toenemen. Vervanging zit nog vol technische en andere onzekerheden; het zal een groeiend aandeel kunnen hebben



in materiaalbesparingen, maar prognoses hierover zijn thans nauwelijks te maken.

Voor de ontwerper is overstappen op nieuwe grondstoffen moeilijk omdat zijn materiaal fysieke en technische kennis veelal tekort schiet. Zo wordt bij polymeren vaak de schuld gegeven aan het materiaal, terwijl in feite een verkeerde technologie is gekozen. Het daarbij beheersen van visco-elastische eigenschappen is nog veelal meer kunst dan kunde en vergt dus veel ervaring [70].

### *Hergebruik*

De bijdrage van de technische ontwerper van eindproducten aan het potentiële hergebruik is vooralsnog niet substantieel. Hij kan bij zijn materiaalkeuze meer oog gaan krijgen voor de herwinningstechnologie. Composiete materialen — waarvan het gebruik zich blijft uitbreiden — kunnen onherwinbaar zijn. Dit kan echter door grotere duurzaamheid of andere voordelen worden gecompenseerd.

### *Spaarzaam ontwerpen*

Het tekenbord is de wieg van de produktiekosten. De materiaalaspecten van het ontwerp zijn van veel groter belang dan veelal vermoed. In de finaalprodukt-industrie wordt naar vage schatting tot aan de helft van de kosten uitgemaakt door grondstof. Het besparen op materiaal kan vaak 2 1/2 tot 3 maal zo economisch zijn als besparing op arbeidskosten [67]. De produktontwerper kan de besparing op twee gebieden uitvoeren: a) het vollediger benutten van materiaal-eenheden (plaat, staf e.d.) bij de produktie en b) het lichter, kleiner en eenvoudiger maken van het produkt.

Het vollediger benutten van materiaal is in menig opzicht de taak van de produktie-ontwerper, die bijvoorbeeld door een handiger nevenschikking meer eenheden uit een plaat kan laten stansen, of de ingekochte plaatvorm en -grootte meer daarop kan afstemmen. Ook de produktontwerper kan echter door zijn keuze van vormen en verbindingen bepalen of niets, een gering, dan wel een aanzienlijk deel van het plaatmateriaal procesafval wordt. Hij kan kiezen tussen verkleiningstechnieken (zoals verspanen) en opbouwtechnieken (zoals gieten en opbouw uit elementen).

Op het tweede gebied gaat het om de moeilijke ontwerpogave om een produkt juist niet ingewikkeld te maken. Het gaat om een zo volledig mogelijk functioneel toepassen van materie, om minder onderdelen, om vaker gebruik maken van standaardcomponenten, om het terugbrengen van het aantal fabrikagehandelingen. Naast het ontwerpen van gebruiksnut is dit bij uitstek het terrein waarin de industriële ontwerper zijn meesterschap kan tonen.

Dyson [67] doet overtuigend verslag van de „MMM-Campagnes” in de industrie (Make the Most of Materials), die 15% materiaalbesparing opleverden. Hierbij bleken de belangrijkste winstpunten te kunnen worden geboekt in het produktie-ontwerp en in de tweede plaats het produkt-ontwerp.

### *Levensduurverlenging*

Een hoeveelheid grondstof langer gebruiken voor dezelfde functie in hetzelfde produkt is de belangrijkste besparingsstrategie. Er zijn dan immers minder vaak transformaties nodig in alle andere fasen en dat betekent in het algemeen vermindering van milieubelasting en energieverbruik. De ontwerper kan zijn ontwerp richten op een langere levensduur, op hogere bedrijfszekerheid, repareerbaarheid en onderhoudbaarheid, op makkelijkere vervanging van componenten die de grootste kans op stukgaan hebben. Het gaat daarbij niet alleen om materiaalkeuze, maar meer nog om het vaststellen van constructie, werking en vormen. Hij moet daarbij meer weerstand bieden tegen schijnvernieuwingen, die er immers juist op zijn gericht de werkelijke levensduur korter te maken dan de technische. Een uitdaging is het, naast de langere bezitsduur ook intensiever gebruik te bewerkstelligen: collectieve gebruiksmogelijkheden, produkten die meer dan één functie kunnen hebben. Een ingewikkelde ontwerpogave kan het zijn, meer in te spelen op doe-het-zelf activiteiten en standaardgereedschap voor onderhoud en reparatie.

Als gevolg van deze activiteiten kan men een vertraagde produktstroom — maar samengesteld uit duurdere eenheden — over de markt verwachten. Op zulk een markt zullen wijzer handelende kopers en gebruikers moeten opereren: voorlichting en opleiding zullen moeten groeien in omvang. De detaillist krijgt een uitgebreider, deels ook meer technisch, takenpakket, met meer nadruk op service, onderhoud, reparatie, vervanging van onderdelen en uitbreiding van hulpstukken.

Er is nog verbazend weinig bekend over bezitsduur en gebruikswijzen van eindprodukten. Veel onderzoek is dus nodig om consument en ontwerper de nodige kennis te verschaffen. Een waardevolle principiële beschouwing over het vaststellen van de maatschappelijk gezien optimale gebruiksduur van produkten en de factoren die daarop van invloed zijn, is gegeven door Van der Kuil en Pieters [60].

De voorgaande vier globale besparingsstrategieën kunnen soms met elkaar in conflict komen. Vanuit het gezichtspunt van de ontwerper moeten beide laatstgenoemde dan prevaleren, omdat zij weinig of geen extra investeringen vereisen. Bovendien zijn de *technische* mogelijkheden ervoor beter bekend dan die voor vervanging en hergebruik, waar eerst nog grote wetenschappelijke en industriële inspanningen moeten worden geleverd alvorens de ontwerper ook hier zijn sleutelrol kan uitoefenen.

Het spreekt overigens vanzelf dat de potentieel grote invloed van de ontwerper zich alleen kan ontplooiën als technische en economische collega's medewerking verlenen, evenals — in het bijzonder — de overheid. Het is voor de ontwerper immers alleen mogelijk, de voorgaande gedachten in praktijk te brengen, voorzover dit economisch verantwoord is. De realisatie



tie berust dus op het succes van een geëigende — zeker niet eenvoudige — consumentenbeïnvloeding, gecombineerd met overheidsvoorschriften. Daarnaast schort het de ontwerper voorlopig aan inzichten en aan technieken. Aan onderzoek en ontwikkeling op dit terrein en aan voortgezette scholing ontbreekt thans nog veel.

Wat hier wel kan worden gedaan, is het opstellen van enkele voorlopige vuistregels, geboden en streefpunten. Het valt te hopen dat deze lijst door velen spoedig wordt uitgebreid, verbeterd, gezuiverd, gedetailleerd en toegespitst. Bovendien zullen diverse bijlagen nodig zijn, bijvoorbeeld lijsten met de energie-inhoud van materialen en technieken.

### 6.1.5. Een aantal vuistregels

#### *Betreffende het vernieuwingsproces van produkten*

- omdat per saldo menselijk welzijn wordt beoogd, is innovatie geen doel op zich en kunnen materiaalbesparende re-novatie, of zelfs denovatie, nuttig zijn;
- wees minder uit op het bedenken van materiële vervullers van *nieuwe* functies dan van *oude*, maar dan met meer duurzaamheid, betere materiaalbenutting en minder energie- en milieulast;
- vermijdt veelvuldige modelvernieuwing en assortimentsverbreding;
- bereken of schat welke voordelen op lange termijn zouden kunnen worden gerealiseerd, in de afzonderlijke fasen van de materialenstroom, door voor het huidige produktassortiment andere of kleinere hoeveelheden grondstoffen te gebruiken.

#### *Betreffende het definiëren van het produkt*

- geef in het programma van eisen een hoge prioriteit aan duurzaamheid, bedrijfszekerheid, onderhoud- en repareerbaarheid en onderdeelvervanging;
- streef naar vereenvoudiging, verkleining en gewichtsvermindering van produkt, verpakking en hulpstukken;
- beoog een intensiever gebruik van het produkt door het voor meer dan één functie te ontwerpen of door de mogelijkheid te scheppen van gebruik door meer personen;
- verminder het aantal onderdelen;
- voorkom door de aard van de constructie zoveel mogelijk corrosie en slijtage;
- ontwerp zoveel mogelijk op dynamisch materiaalgebruik (benut krachtlijnen en sterkte);
- let bij het eerste concept van de produktdefinitie speciaal op transport en opslag en zo mogelijk op scheiding en zuivering voor materiaalgebruik.

#### *Betreffende de materiaalkeuze*

- kies zoveel mogelijk gestandaardiseerde soorten en maten van uitgangsmaterialen;

- gebruik bij voorkeur de overvloedige materialen of die uit hernieuwbare bronnen; combineer dit zo mogelijk met de eis dat het materiaal herwinbaar of eenvoudig afbreekbaar moet zijn;
- geef voorkeur aan materiaal met lage primaire of secundaire energie-inhoud;
- gebruik het hoogwaardige materiaal alleen voor het vervullen van hoge functionele eisen.

#### *Betreffende de keuze van produktietechniek*

- besteed extra zorg aan het volledig gebruiken van grondstofeenheden (plaat, staf e.d.);
- verminder het aantal fabrikage-handelingen (lijmen in plaats van bouten, zelftapschroeven e.d.);
- kies de techniek die zo direct mogelijk tot de uiteindelijke vorm leidt, liefst ook de uiterlijke verschijningsvorm (gieten, sinteren, rollen, forceren e.d.);
- gebruik zo snel mogelijk het ontstane procesafval en organiseer de toevoer van afval en van tweedehands componenten;
- geef de voorkeur aan technieken, die laag-energetisch zijn en die evenmin hoge energiekosten elders veroorzaken;
- standaardiseer zoveel als kan de technieken voor afwerking, oppervlaktebehandeling en roestpreventie.

## 6.2. Methodisch ontwerpen voor materiaalbesparing

door prof. dr. ir. H.H. van den Kroonenberg <sup>7)</sup>

### 6.2.1. Inleiding

Is met de bovenstaande vuistregels tenminste op korte termijn een zekere basis gelegd voor de integratie van grondstoffen-, energie- en milieuoverwegingen in het ontwerpproces, het is uit het voorgaande tevens duidelijk dat een veel completere methodiek voor deze integratie moet worden gezocht. In het volgende zal hiervoor een startpunt worden gebouwd. Ter vereenvoudiging zal daarbij vooral de aandacht vallen op het ontwerpen in de werktuigbouwkundige sfeer. Aan de hand van een beschouwing van de ontwerpomgeving, het ontwerpproces en het ontwerponderwerp zal ter zake een bewustwordingsproces bij de ontwerper tot stand moeten komen.

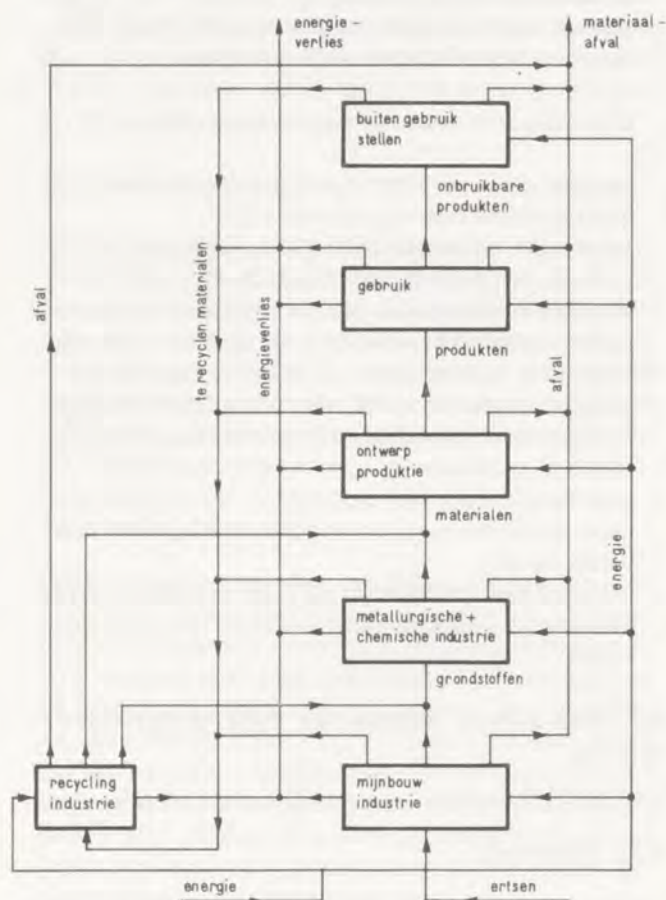
#### *Uitgangspunten*

Als *eerste uitgangspunt* wordt gekozen de plaats van het ontwerpen in de levenscyclus van produkten. Bij het ontwerpen van produkten moet enerzijds rekening worden gehouden met de fabrikage en anderzijds met het gebruik van deze produkten. Beide fasen in de levenscyclus stellen hun eisen aan het ontwerp en dus ook aan de toe te passen materialen.

<sup>7)</sup> Voorbereidend onderzoekwerk werd verricht door: J. Cnossen; H.P. Feldbrugge; J. Landré; G.J. Maten; W. Vuisting (allen Btw, TH Twente).



Als *tweede uitgangspunt* kan dienen de in Figuur 1 getoonde materiestroom die nodig is voor de verwezenlijking van ontworpen inrichtingen. De hiermee gepaard gaande energiestromen en verliesstromen zijn eveneens in het schema opgenomen.



Figuur 1. Materiestroom ter verwezenlijking van ontworpen inrichtingen.

Beschouwing van dit schema maakt nog eens zichtbaar op welk een strategische plaats in deze probleemomgeving de ontwerper zich bevindt.

Als *derde uitgangspunt* kan het ontwerpproces zelf dienen. In dit proces zijn een aantal duidelijke en verschillende fasen te onderscheiden [68].

In de eerste fase wordt het probleem zo goed mogelijk gedefinieerd. Hier dient men zich vooral de vraag te stellen of en waarom het te ontwerpen produkt gewenst is.

In de tweede fase wordt nagegaan op welk werkingsprincipe de te ontwerpen inrichting berust. Hier gaat het om de vraag hoe de gewenste functie door de inrichting wordt vervuld. De wijze waarop de ter zake dienende processen verlopen heeft niet alleen invloed op de uiteindelijke materiaalkeuze, maar ook op energieverbruik en milieubeïnvloeding. De ontwerper sluit deze tweede fase af met een principeschets, waarin de gekozen werkwijze wordt afgebeeld. Men noemt dit de structuur van de inrichting.

In de derde fase wordt, uitgaande van deze structuur, de uiteindelijke vorm van de inrichting bepaald. Op dit

punt gekomen worden — fabricage en gebruik in beschouwing nemende — de te gebruiken materialen vastgelegd.

Het ontwerpproces mondt uit in de materialisering en vastlegging van zowel de materiaalsoorten als de gewenste afmetingen en vormen. Met betrekking tot de grondstoffenproblematiek zullen de meeste aanknopingspunten in deze derde fase liggen.

Het *vierde uitgangspunt* kan zijn een beschouwing van het ontwerp-onderwerp. Voor de werktuigbouwkunde is daarbij een indeling in niveaus volgens Figuur 2 mogelijk [76]. Onder niveau wordt hier verstaan de mate van complexiteit van een inrichting. Dergelijke indelingen zijn ook voor andere vakgebieden, zoals de bouwkunde, mogelijk.



Figuur 2. Ontwerpniveaus.

De onderdelen kunnen als kleinste mogelijke elementen van een systeem worden beschouwd. Een uitbreiding tot buiten het domein van de technische inrichtingen is echter mogelijk door aanvulling met materialen en grondstoffen. Contact met systemen van hogere orde ontstaat door aanvulling met economische en sociale systemen.

Uit het schema volgt dat de meeste overwegingen omtrent grondstoffenproblemen betrekking zullen hebben op onderdelen en componenten. De onderdelen zijn immers juist de monolieten die uit het toe te passen materiaal worden vervaardigd.

De hiervoor besproken vier uitgangspunten zullen worden gehanteerd bij een methodische benadering van grondstoffenvraagstukken tijdens het ontwerpen.



Het grondstoffen-(c.q.materialen-)verbruik ten behoeve van het maken van produkten kan als volgt worden geformuleerd:

$$G = \sum \frac{P \cdot M \cdot (1 - R)}{L}$$

waarin:

G = het materiaalverbruik in kg per jaar

P = het aantal produkten

M = de materiaalhoeveelheid in kg per produkt

R = de terugwinningsfactor ( $0 < R < 1$ )

L = de levensduur in jaren.

In de volgende paragraaf zullen de diverse componenten van bovenstaande formule aan een nadere beschouwing worden onderworpen, waarna nog zal worden ingegaan op schaarste en energiekosten van materialen.

## 6.2.2. Aangrijpingspunten voor grondstofbesparing

### 6.2.2.1. Het aantal produkten

Om het materiaalverbruik gering te houden, kan op de eerste plaats het aantal produktensoorten en voorts het aantal produkten per soort gering worden gehouden. Dit is een zaak die de ontwerper niet kan regelen. Het is een opdracht aan de samenleving als geheel om niet zinvolle en ongewenste produkten die toch een beroep doen op schaarse grondstoffen, af te wijzen. Hier staat dus de rol van voorlichting en bewustwording — te ondersteunen met ter zake dienend onderzoek — voorop. Zie ook de slotopmerkingen van par. 6.1.4.

In de eerste fase van het ontwerpproces — beter nog in het verkennende uitvoerbaarheidsonderzoek dat vooraf gaat aan het ontwerpproces — speelt de behoeftenbepaling een rol.

### 6.2.2.2. De materiaalhoeveelheid per produkt

Hieronder wordt verstaan de hoeveelheid materiaal die nodig is om tot het produkt te komen. Hierbij is inbegrepen het materiaal dat tijdens de fabrikage wordt verwijderd. Dyson [67] geeft zes gedragsregels voor de ontwerper en de producent om materiaal te besparen.

- Miniaturisatie.
- Vermindering van het aantal onderdelen per produkt.
- Maximaal materiaalgebruik door minimale materiaalverwijdering.
- Minimum aantal productieprocessen.
- Het gebruik van nieuwe materialen en productieprocessen (innovatie).
- Standaardisatie en vereenvoudiging van materialen en onderdelen.

Deze gedragsregels gelden vooral voor kleine, lichtbe-

laste constructies. Voor zwaarder belaste constructies worden hieraan, na een nadere bespreking van bovenstaande regels, nog een aantal andere toegevoegd.

#### a. Miniaturisatie

Hieraan zijn de twee volgende aspecten te onderkennen.

- Door produkten klein te maken met behulp van verbeterde technieken en materialen kan materiaal worden bespaard (voorbeeld: printed circuits). Andere voordelen van kleine produkten zijn de geringe ruimte die ze innemen en hun lage gewicht (hetgeen betekent gemakkelijk vervoer en betere hanterbaarheid).
- Door de ontwerpbelastingen in een constructie op te voeren, worden de mogelijkheden die materialen kunnen bieden, beter benut. Hierdoor kan kleiner en lichter worden geconstrueerd. Dit vereist het gebruik van hoogwaardige materialen. Dit geldt zowel voor mechanische, thermische als elektrische belastingen. Als nadeel van deze vorm van materiaalbezuiniging moet worden gewezen op de mogelijk grotere kansen op falen door deze hoge belastingen. Ook andere minder gewenste verschijnselen, zoals geluidshinder, kunnen toenemen bij intensivering van de belasting.

#### b. Vermindering van het aantal onderdelen

Door te streven naar zo weinig mogelijk onderdelen in het produkt, kan het volgende worden bereikt.

- Hogere betrouwbaarheid, dus bijv. lagere uitvalsn snelheid, waardoor de gemiddelde levensduur wordt verlengd.
- Materiaalbesparing, omdat elke verbinding tussen twee onderdelen extra materiaal vergt.
- Gemakkelijker onderhoud en repareerbaarheid, wat ook ten goede komt aan de levensduur van het produkt.

Voorzover het aantal bewegende onderdelen wordt teruggedrongen, zal ook de slijtage verminderen. Dit heeft een gunstige invloed op de levensduur.

#### c. Minimum aantal productieprocessen en handelingen.

De na de Tweede Wereldoorlog ingezette trend om het productieproces in zo veel mogelijk kleine handelingen en deelprocessen te splitsen, heeft bijgedragen tot een groter materiaalverbruik. Door handelingen weer meer te gaan combineren, kan men gereedschapskosten, insteltijden, materiaalvervoer e.d. verminderen. Door bijv. gebruik te maken van zelftappende schroeven of losse, gesmede moeren met clip (plaatwerk) worden veel handelingen en gereedschap overbodig.

#### d. Minimale materiaalverwijdering

Dit valt te bereiken door het meer toepassen van materiaalvorming in plaats van materiaalverspanning. Dyson vermeldt een onderzoek waaruit de materiaalverliezen in afhankelijkheid van de productie-



methode werden afgeleid. In Tabel 12 staan hiervan enkele resultaten.

**Tabel 12.** Mate van vervorming van materiaal bij diverse bewerkingstechnieken [67]

Bewerking	Percentage nuttig gebruikt materiaal
Spuitsgieten	88
Thermische vormgeving van kunststoffen <sup>1)</sup>	82
Knippen etc. (plaat en strip)	67
Draaien (stafmateriaal)	52

<sup>1)</sup> Het betreft thermohardende kunststoffen. Bij thermische vormgeving van thermoplasten ligt dit percentage dicht bij de 100.

#### e. Gebruik van nieuwe materialen en productieprocessen

De efficiëntie van het materiaalgebruik bij precisiegieten, sinteren, forceren en rollen is maximaal. Door voor deze processen geschikte materialen toe te passen, kan veel afval worden voorkomen en dus veel materiaal worden bespaard. De ontwerper zal deze ontwikkeling in gunstige zin kunnen beïnvloeden.

#### f. Standaardisatie en vereenvoudiging van materialen en onderdelen

Beperking van het aantal materiaalsoorten kan een bijdrage leveren aan het verstandiger toepassen van grondstoffen. Zo wordt het voor de ontwerper door beperking van het aantal metaallegeringen gemakkelijker om te kiezen en dit vergroot de kans dat hij de juiste keuze doet. Ook beperking door standaardisatie van het aantal verschillende onderdelen zal het materiaalgebruik kunnen matigen. In de automobiellindustrie liggen hier grote mogelijkheden omdat tot nu toe praktisch elke autofabrikant zijn eigen specifieke onderdelen maakt. Deze mogelijkheden liggen in het ontwerpen van gestandaardiseerde onderdelen die in elke auto worden gebruikt (bijv. een remsysteem). Acceptering hiervan door vele autofabrikanten betekent het terugdringen van het aantal typen.

#### Zwaardere belaste constructies

Voor zwaardere belaste constructies moeten aan de hiervoor behandelde regels nog de volgende worden toegevoegd.

- Het volledig benutten van de trek- of druksterkte van het materiaal.
- Het oriënteren van het materiaal naar de werklijnen van de krachten.
- Het zo veel mogelijk vermijden van buiging.
- Het produkt van een kracht en de lengte waarover die kracht werkt, minimaal houden.

In [77, 78] wordt op deze constructieregels uitvoerig ingegaan. Men dient te zoeken naar constructies met een minimaal eigen gewicht. Dit is uiteraard van belang wegens de rechtstreekse materiaalbesparing. Daarenboven worden zo de massakrachten van bewegende delen kleiner, verminderen de transportkos-

ten en kan het dragend vermogen (de toelading) van zulke constructies groter zijn. Minimalisering van dit eigen gewicht wordt bereikt door de in Tabel 13 aangegeven verhoudingen tussen materiaaleigenschappen zo klein mogelijk te houden.

**Tabel 13.** Verhoudingen welke laag moeten worden gehouden om tot een laag eigen gewicht van constructies te komen.

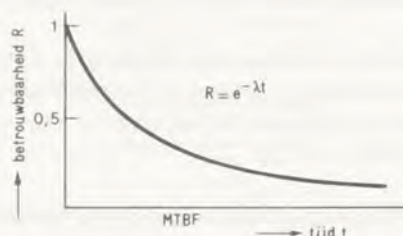
Belastingtype	Dimensionering <sup>1)</sup> van: sterkte	stijfheid
Trek/druk	$\frac{\gamma}{\bar{\sigma}}$	$\frac{\gamma}{E}$
Buiging	$\frac{\gamma}{\sqrt{\bar{\sigma}_b^2}}$	$\frac{\gamma}{\sqrt{E}}$
Wringing	$\frac{\gamma}{\sqrt{\bar{\tau}^2}}$	$\frac{\gamma}{\sqrt{G}}$

<sup>1)</sup> Verklaring van de symbolen:  $\gamma$  = soortgelijk gewicht;  $\bar{\sigma}$  = toelaatbare trek- of drukspanning;  $E$  = elasticiteitsmodulus;  $\bar{\sigma}_b$  = toelaatbare buigspanning;  $G$  = glijdingsmodulus;  $\bar{\tau}$  = toelaatbare afschuifspanning.

Uit de regels van Tabel 13 volgt tevens dat het werken met zo hoogwaardig mogelijke materialen in beginsel materiaalbesparend is, uiteraard op voorwaarde dat hun eigenschappen effectief worden benut.

#### 6.2.2.3. Levensduur

De mogelijkheden tot beheersing van de levensduur kunnen worden toegelicht aan de hand van de betrouwbaarheidscurve van produkten (Fig. 3) [79], hier geschetst voor een constante waarde voor het faalt tempo.



**Figuur 3.** De betrouwbaarheidscurve van produkten.

De betrouwbaarheid van een inrichting is de kans dat de inrichting gedurende een bepaalde tijd onder gedefinieerde omstandigheden goed functioneert. Het verband met de tijd wordt weergegeven door:

$$R = e^{-\lambda t}, \text{ met } 0 < R < 1.$$

Hierin is  $R$  de betrouwbaarheid (Reliability),  $\lambda$  het faalt tempo (failure rate) en  $t$  de tijd.

Voor de gemiddelde tijd tot het eerste falen van de constructie (MTBF = mean time before failure) geldt:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$



Omdat het eerste falen van een inrichting kan nopen tot het buiten bedrijf stellen ervan, is het vooral zaak deze MTBF zo hoog mogelijk op te voeren.

In grafische vorm wordt het verloop van het faalt tempo met de tijd wel aangeduid als „badkuipkromme“. Er kunnen drie gebieden in worden onderscheiden (Fig. 4). De waarde van  $\lambda$  in gebied 2 behoeft uiteraard niet constant te zijn, zoals in Fig. 4 aangenomen.



Figuur 4. De afhankelijkheid van het faalt tempo van de tijd.

Het begin van de levenslijn van een produkt kenmerkt zich door een hoge „kindersterfte“. Dit is een gevolg van montagefouten, materiaal fouten, slordigheden bij het fabriceren etc. Het hiermee gepaard gaande materiaalverlies kan dus worden voorkomen door kwalitatieve verbetering van het fabricageproces.

Het tweede gebied omvat het normale gebruik van het produkt. De nu lage waarde van het faalt tempo betekent dat onder normale omstandigheden elk produkt een gelijke, relatief kleine kans heeft op falen door toevalligheden. In dit gebied kan men de waarde van  $\lambda$  verder verkleinen door verbetering van het produkt. De waarde van  $\lambda$  kan echter ook worden verlaagd zonder iets aan het produkt te veranderen, nl. door doeltreffende gebruiksvoorlichting. Door op deze wijze de gebruikers in te schakelen kan het materiaalverlies worden voorkomen dat gepaard gaat met voortijdig vervangen van produkten. Hiervoor moet men dus op de hoogte zijn van en anticiperen op de gewoonten van de gebruiker. Dit kan enerzijds door in het ontwerp rekening te houden met zulke gewoonten, anderzijds door er voor te zorgen dat hij de juiste instructies krijgt voor een optimaal gebruik.

Het derde gebied van de badkuipkromme geeft het verouderingsproces weer. Door vermoeiing, slijtage en corrosie gaat nu het faalt tempo omhoog. Dit gebied kan naar rechts worden verschoven door goed onderhoud. Deze wijze van levensduurverlenging valt ook te bevorderen door bij het ontwerp met onderhoudsaspecten rekening te houden.

Voor de berekening van de betrouwbaarheid van een systeem ligt het knelpunt meestal niet bij de berekeningsmethode, maar in het ontbreken van gegevens over de betrouwbaarheid van de afzonderlijke onderdelen en componenten. Om deze gegevens te verzamelen kunnen enerzijds duurproeven onder controleerbare, met de praktijk te relateren omstandigheden uitkomst brengen, terwijl anderzijds gegevens van gebruikers heel nuttig kunnen zijn. Ter verhoging van de betrouwbaarheid van een systeem kan de ontwerper de volgende maatregelen overwegen [80].

- Het aantal onderdelen beperken. Hiervoor kan een kritische bezinning op de diversiteit van produkten nodig zijn.
- Het produkt een goed uiterlijk geven. Dit bevordert goed onderhoud.
- Aandacht besteden aan de ergonomische aspecten. Hierdoor kunnen storingen door bedieningsfouten worden gereduceerd.
- Produkten gebruiken waarvan uit ervaringen bekend is dat zij betrouwbaar zijn.
- Kritieke onderdelen dubbel inbouwen (redundantie). Bij het uitvallen van een deel van een systeem kan de functie dan automatisch worden overgenomen door een ander deelsysteem.
- Een juiste materiaalkeuze en een juiste keuze van fabrikagetoleranties.
- Aanpassing van het niveau van belasting. Door geringe afname van de normale belasting kan vaak een grote toename van de betrouwbaarheid worden verkregen.
- Het laten inlopen van kritieke onderdelen, waardoor kinderziekten tijdig worden onderkend.
- Gebruik maken van nieuwe technologische ontwikkelingen. Te denken valt bijv. aan het vermijden van contact door de vervanging van mechanische door elektrische componenten.
- Analyseren van onderhoudsgegevens van gebruikers. Dit kan goede aanwijzingen geven voor het opvoeren van de betrouwbaarheid.

Zoals al werd opgemerkt, komt een constructie meestal aan het einde van zijn functionele leven door één van de volgende drie oorzaken.

- a. Vermoeiing.
- b. Slijtage.
- c. Corrosie.

Over de bestrijding van deze verschijnselen valt het volgende te zeggen.

#### a. Vermoeiing

De ontwerper bedient zich bij het op vermoeiing berekenen van constructies van materiaalgegevens (Wöhlerkromme; Smith-diagrammen), die nauwkeurig bekend zijn voor de eenvoudige proefstaaf waarmee de experimenten zijn uitgevoerd. Moeilijker is het meestal, het werkelijk optredende dynamische belastingspatroon te formuleren. Uit veiligheidsoverwegingen zal de ontwerper dan vaak gedwongen zijn, lagere spanningen toe te laten dan strikt nodig lijkt, met als gevolg een groter materiaalverbruik. Daarom is het zinvol, de fysische principes voor de werkwijzen van het produkt zodanig te kiezen dat het spanningspatroon goed berekenbaar wordt.

Vaak kan men zo ook een dynamische belasting voorkomen. Berekenbaarheid van de constructie kan dan ook worden aangemerkt als een uit het oogpunt van verantwoord grondstoffengebruik zinvolle ontwerp-eis.

#### b. Slijtage

Slijtage treedt op bij onderlinge bewegingen tussen



samenwerkende, belaste onderdelen. Een geringe slijtage op bepaalde punten kan tot gevolg hebben dat omvangrijke constructies niet meer kunnen functioneren. Als deze constructies hierdoor buiten gebruik moeten worden gesteld, kan veel materiaal verloren gaan.

De ontwerper kan slijtage op verschillende manieren trachten te verminderen [81].

*b.1. Het voorkomen van onderlinge bewegingen.* De gewenste functie zou door buigende elementen kunnen worden overgenomen. Voorbeelden hiervan zijn: het buigende stripje kunststof als scharnier; de vervanging van kettingen door kabels.

*b.2. Het voorkomen van onderlinge bewegingen onder belasting.* In sommige constructies blijkt het mogelijk, de noodzakelijke onderlinge bewegingen van onderdelen te doen plaatsvinden als de constructie ontlast is.

*b.3. Het neutraliseren van de belasting.* Als onderlinge bewegingen onder belasting niet te vermijden zijn, kan de slijtage toch nog worden verminderd door het aanbrengen van een even grote tegenwerkende belasting.

*b.4. Preventief onderhoud.* Als de genoemde drie maatregelen niet toepasbaar zijn, kan men nog door onderhoud en eventueel tijdige vervanging of reparatie van onderdelen de levensduur van de constructie verlengen. Dit onderhoud moet worden vergemakkelijkt door in de ontwerpfase aandacht te besteden aan monteerbaarheid en demonteerbaarheid. Indien demontage (bijv. het losschroeven van deksels) te omslachtig wordt, bestaat de kans dat onderhoud en controle worden vermeden. De faalkans neemt dan toe.

Dit brengt ons op de algemene betekenis van onderhoud. De ontwerper moet er voor zorgen dat de punten die onderhoud of vervanging behoeven goed *bereikbaar* zijn [82].

Om de directe gevolgen van slijtage voor het materiaalgebruik zo gering mogelijk te houden, kan men onderdelen die aan slijtage onderhevig kunnen zijn zo ontwerpen dat zij zo weinig mogelijk materiaal bevatten. Door deze materiaalarme onderdelen gemakkelijk bereikbaar en gemakkelijk verwijderbaar in de constructie op te nemen, legt de ontwerper tevens de plaats van de slijtage vast. Dit geldt ook voor ter plaatse repareerbare onderdelen. Hierdoor gaat bij *vervanging van onderdelen* zeer weinig materiaal verloren, terwijl de vervanging efficiënt kan gebeuren, waardoor tijd wordt gespaard. Een te lange vervangingstijd of plaatselijke reparatietijd kan leiden tot een te lange buiten bedrijfstelling. Het gevaar bestaat dan dat de constructie uit economische overwegingen door een betere moet worden vervangen. Dit is strijdig met de doelstelling van optimaal grondstofgebruik.

Tenslotte volgt hieronder nog een aantal punten, waaraan de ontwerper aandacht moet schenken om de gewenste goede onderhoudbaarheid te verwezenlijken [80].

- Eenvoud van ontwerp leidt tot goede onderhoudbaarheid.
- Kritieke onderdelen dubbel inbouwen biedt de mogelijkheid, onderhoud aan een defecte component op het meest geschikte tijdstip uit te voeren.
- Zorg voor goede diagnosemogelijkheden.
- Goede toegankelijkheid t.b.v. testen, storing zoeken, afstellen, vervangen of repareren is gewenst.
- Streef naar logische groepering van onderdelen (modulebouw).
- Vermijdt procedures en technieken bij het onderhoud die grote bekwaamheid van het onderhoudspersoneel vereisen.
- Vermijdt de noodzaak van speciaal gereedschap voor het onderhoud.

### *c. Corrosie*

De ontwerper kan in de verschillende fasen van het ontwerpproces enige invloed uitoefenen op de corrosiebestendigheid van zijn constructies. In de probleemdefiniërende fase kan hij mede bepalen waar en in welk corrosief milieu de constructie gebruikt gaat worden.

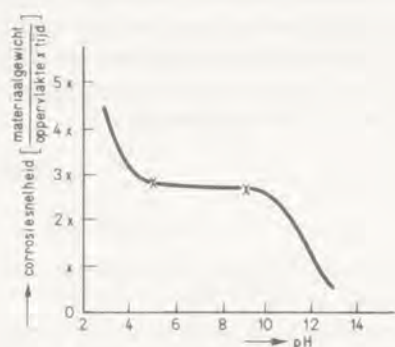
De levensduur van produkten zal afnemen in agressievere milieus, tenzij een afdoende corrosiebescherming wordt toegepast. Het is duidelijk dat de ontwerper geen grote invloed kan uitoefenen op de plaats van toepassing van een constructie. Meer invloed heeft hij in de fase van het ontwerpproces, waarin de fysische principes worden gekozen waarop de werking van de constructie zal gaan berusten. De corrosiesnelheid hangt namelijk samen met een aantal fysische toestanden, waarmee tijdens het vastleggen van de werkwijze rekening kan worden gehouden. Zijn de fysische grootheden ter zake bekend, dan kan ongewenste snelle corrosie worden voorkomen. Tevens kan dan de levensduur van een ontwerp enigszins worden beoordeeld (c-1, 2, 3). Anderzijds zijn een aantal maatregelen te nemen om tot corrosievermindering te komen (c-4, 5). De aspecten waarom het gaat zijn de volgende [83].

- c 1. De zuurgraad van het milieu waarin het materiaal zich bevindt.
- c 2. De stromingssnelheid.
- c 3. De temperatuur waarbij het proces zich afspeelt.
- c 4. Het aanbrengen van corrosie-bestendige lagen (corrosiebestrijding).
- c 5. Constructieve maatregelen die corrosie voorkomen (corrosie-preventie).

*c 1. De zuurgraad.* Tegengaan van corrosie betekent in dit geval het verwijderen van zuurstof uit het milieu (hier meestal water). Dit kan door toevoegen van stoffen die door zuurstof worden geoxydeerd of door ont-



gassen (verhitten van water bij verhoogde druk, c.q. onttrekken van  $\text{CO}_2$  (koolzuur)). In Figuur 5 is de invloed van de zuurgraad op de corrosie in beeld gebracht.



**Figuur 5.** Invloed van de zuurgraad (pH) op de corrosie van een metallisch materiaal (voorbeeld) [83].

**c 2. De stromingssnelheid.** Een verhoging van de stromingssnelheid vermindert de kans op aanslibbing van corrosief vuil, maar heeft anderzijds een grotere corrosiesnelheid tot gevolg. Dit laatste verband vlakkt echter af bij hoge stroomsnelheden.

Door keuze van de snelheid van een stromend medium heeft de ontwerper echter ook de afmetingen van de constructie en dus de daarvoor nodige hoeveelheden materiaal in de hand. Dit moet worden afgewogen tegen de verlenging van de levensduur door beheersing van de corrosiecondities die met de stromingssnelheid samenhangen.

**c 3. Temperatuur.** De temperatuur van de omgeving heeft ook invloed op de corrosiesnelheid. Onderscheid moet worden gemaakt tussen open en gesloten systemen. In een gesloten systeem is de corrosiesnelheid hoger omdat er geen zuurstof kan ontwijken. Het verdient dan ook de voorkeur, een werkwijze te kiezen waarbij de zuurstof wel kan ontwijken.

**c 4. Corrosiebestrijding.** Hiervoor komen in aanmerking:

- metallische deklagen (bijv. chroom of aluminium);
- anorganische niet-metallische deklagen (bijv. email);
- organische deklagen (bijv. epoxy-harsen).

Deze deklagen kunnen vaak de levensduur van producten aanzienlijk vergroten. Een nadeel is de doorgaans relatief grote energieinhoud van de deklagen en de moeilijkheid of zelfs onmogelijkheid van terugwinning van de materialen in het produkt.

**c 5. Corrosiepreventie.** Door bepaalde constructieve maatregelen kan de ontwerper een aantal vormen van corrosie grotendeels vermijden.

*Interkristallijne corrosie* kan worden voorkomen door een juiste keuze van materialen en lasprocedures.

*Putcorrosie* komt voor op plaatsen waar vocht wordt vastgehouden en op plaatsen waar onvoldoende ontluchting aanwezig is. De ontwerper kan dit veelal in zijn ontwerp vermijden.

*Spleetcorrosie* kan evenzo worden voorkomen door zo veel mogelijk spleten en groeven in een constructie te vermijden.

*Spanningscorrosie* wordt vermeden door het achterwege laten van hoge spanningsconcentraties in constructies en door het verwijderen van restspanningen door middel van uitgloeien van het werkstuk.

*Erosie-corrosie* is te vermijden door zo min mogelijk scherpe bochten of knikken in pijpleidingen toe te staan (zie ook c2).

#### 6.2.2.4. Terugwinning

Door de terugwinningsfactor R hoog te maken kan het gebruik van primaire grondstoffen worden beperkt. Terugwinning kan worden gestimuleerd door economische en wettelijke maatregelen. De National Commission on Materials Policy (NCMP) in de USA beveelt het volgende aan [32].

- Gun regeringscontracten niet zonder meer aan de laagst biedende, maar tel bij de offerteprijs ook de onderhoudskosten van het produkt op.
- Bereid wettelijke bepalingen voor die — analoog aan veiligheidsvoorschriften — normen stellen t.a.v. levensduur, reparatiemogelijkheid en terugwinbaarheid.

Als er zulke omvattende en uniforme stimulansen zijn, zal de ontwerper hiermee in zijn ontwerp rekening moeten houden. Tot zolang kan hij er vanuit zijn eigen maatschappelijke verantwoordelijkheid zorg voor proberen te dragen dat de materialen in door hem ontworpen produkten kunnen worden teruggewonnen. Hiertoe zal hij de volgende drie richtlijnen in het oog moeten houden.

1. Streef er naar, zo weinig mogelijk verschillende, bij voorkeur goed terugwinbare, materialen te gebruiken.
2. De toe te passen materiaalcombinaties moeten een gemakkelijke scheiding (bijv. door demontage) toelaten, alvorens terugwinning wordt toegepast.
3. Materiaalcombinaties die niet kunnen worden gescheiden, zouden als combinatie een nieuwe grondstof moeten kunnen vormen (dit kan bijv. in het geval van metaallegeringen).

De beslissingen die leiden tot materiaalcombinaties die bij deze drie regels passen, vinden zowel in de werkwijzebepalende fase als in de vormgevende fase van het ontwerpproces plaats. De ontwerper moet dus overzichten krijgen van de terugwin-eigenschappen van de diverse in dit verband belangrijke materialen en materiaalcombinaties.

#### 6.2.3. Energie- en schaarste-aspecten

In het voorgaande is systematisch nagegaan hoe de ontwerper in algemene zin de materiaalstroom kan beheersen en beperken. Daarnaast moet hij meer rekening gaan houden met de energie-investeringen die de diverse fasen van produktie en verbruik met zich meebrengen. Hetzelfde geldt voor de relatief toeneemende schaarste die bij bepaalde materialen kan gaan



optreden. Over beide aspecten zal in deze paragraaf nog iets worden gezegd. Het spreekt vanzelf dat ook doelstellingen t.a.v. milieubeheer meer systematisch in het ontwerpproces dienen te worden opgenomen. Binnen het kader van deze bijdrage is echter van de behandeling van dit aspect afgezien.

### 6.2.3.1. Energie

#### Materialen

Zoals al in voorgaande bijdragen is toegelicht (zie o.a. par. 2 van dit hoofdstuk), is energie niet alleen op zichzelf een relatief schaarse hulpbron, maar vormt het tevens een belangrijke sleutel tot voortgezette beschikbaarheid van veel materialen. Er moet bij het ontwerpproces dus aandacht aan zuinig en effectief gebruik — ook in indirecte zin — worden besteed. Er is dan ook behoefte aan een goed en gedetailleerd overzicht van de energie-investeringen in belangrijke materialen. In de hoofdstukken 4, 5 en 6 wordt voor een aantal materialen dieper op deze energie-investeringen ingegaan. Zie ook par. 3 (Appendix 1, Tabel 6) voor enkele literatuurgegevens ter zake.

#### Producten

Nog interessanter voor de ontwerper maar tevens nog gecompliceerder om te achterhalen zijn de energiekosten van het uit die materialen te vervaardigen produkt. Het gaat hier om de gehele levensduur, inclusief het eventueel terugwinnen van de gebruikte materialen.

Voor de personenauto zijn enkele integrale benaderingen van deze energiekosten bekend [16, 84]. Hieruit bleek o.a. dat de graad van mechanisering en automatisering, alsmede de produktiesnelheid, een sterke samenhang vertonen met de per auto benodigde totale fabriekage-energie. Voor andere producten zijn weinig aanknopingspunten uit de algemene literatuur bekend. In [85] wordt echter gerapporteerd dat in de V.S. momenteel een gedetailleerd onderzoek wordt gedaan naar de energiekosten van gebruikelijke vervaardigingstechnieken.

De meest energie-intensieve processen zijn die waarbij het materiaal wordt verhit, zoals gieten, warmwalzen, smeden, warmtebehandelingen en het drogen van verf. De ontwerper zal bijna uitsluitend in de vormgevende fase met de energiekosten voor de vervaardiging te maken hebben.

#### Gebruik

Onderscheid kan worden gemaakt tussen de brandstof- of elektriciteitsconsumptie tijdens gebruik van de te ontwerpen inrichting en de energie voor onderhoud en reparatie. Het eerste wordt beïnvloed door het rendement van de te ontwerpen inrichting. Vooral de keuze van de werkwijze is hier van belang; met de bepaling daarvan kan de grondslag worden gelegd voor een hoog energetisch rendement van de te ontwerpen inrichting. Maar ook op het tweede aspect heeft de ontwerper invloed, door vastlegging van onderhouds-

procedures t.a.v. verven, schoonmaken, smeren, vervanging.

Door intensievere reparatie en onderhoud kan een langere levensduur worden verkregen. Indien de relatieve toeneming van de voor het produkt benodigde energie kleiner is dan de relatieve toeneming van de levensduur, dan is extra reparatie en onderhoud energetisch lonend<sup>8)</sup>. In formulevorm:

$$\frac{\Delta E}{E} < \frac{L_2 - L_1}{L_1}$$

$E$  = totale energie voor het gebruik van het produkt

$\Delta E$  = de energie voor extra reparatie-onderhoud

$L_1$  = de oorspronkelijke levensduur

$L_2$  = de levensduur na extra onderhoud en reparatie.

#### Terugwinning

Een produkt dat gemakkelijk kan worden ontleed in de samenstellende materialen, zodat deze kunnen worden teruggewonnen, kan ook uit energie-oogpunt als gunstig worden gekwalificeerd. De ontwerper kan er zorg voor dragen dat de kans groot is dat de materialen van een produkt grotendeels worden teruggewonnen. Hierdoor wordt niet alleen materiaal bespaard, maar kunnen ook aanzienlijke energiebesparingen worden verkregen (zie ook par. 3. Appendix 1, Tabel 7).

### 6.2.3.2. Schaarste

In het bijzonder zal de ontwerper maatregelen moeten overwegen t.a.v. (potentieel) schaarse materialen, zoals koper, lood, tin, zink, nikkel, chroom, vanadium, platina, goud, helium, kwik etc. Het behoeft daarbij zeker niet alleen om fysisch bepaalde schaarste te gaan; vooral ook maatschappelijke ontwikkelingen kunnen immers schaarsten veroorzaken. In sommige gevallen kan tot vervanging door andere materialen worden overgegaan, zodat het schaarse materiaal in het betreffende produkt niet meer wordt toegepast. Dit is een langdurig en ingrijpend proces. Indien vervanging niet mogelijk is, kan miniaturisering zeer effectief zijn. Als bovendien een hoog terugwinningspercentage kan worden bereikt, zal dit zeker helpen, de gevolgen van schaarste minder ernstig te maken. Het is van belang dat de ontwerper kan gaan beschikken over goede gegevens van diverse aard met betrekking tot de (potentiële) schaarste van de verschillende materialen. Tijdens het ontwerpen zal de ontwerper in de werkwijzebepalende fase reeds beslissingen nemen over de toe te passen materialen, voorzover deze onverbrekkelijk met een bepaald gewenst proces zijn gekoppeld. Bij de keuze van het proces kan hij zich dan mede laten leiden door het schaarsteaspect. In de vormgevende fase zal vooral het vervangen van

<sup>8)</sup> Uiteraard gebeurt het alleen wanneer het ook economisch loont.



schaarse materialen door andere materialen aan de orde komen. Ook op het zodanig ontwerpen dat de onvermijdelijk te gebruiken schaarse materialen terug te winnen zijn zal hier de nadruk moeten liggen.

## 7. Hergebruik <sup>9)</sup>

### 7.1. Inleiding

door ir. J.A. van der Kuil

#### 7.1.1. Afvalstoffen en hergebruik

De materialen die door de samenleving stromen, komen na verloop van tijd voor een groot deel als afval vrij. Een ander deel bereikt het afvalstadium niet, maar wordt als verontreiniging naar de bodem, het water of de lucht afgevoerd. Deze stoffen ontstaan als bijverschijnsel van de produktie en de consumptie en worden als zodanig wel als afvalstoffen beschouwd. Voor een duidelijk inzicht — zeker bij een beschouwing over hergebruik — is het echter goed om onderscheid te maken tussen milieuverontreinigende stoffen en afvalstoffen. Het begrip afvalstoffen blijft bij een dergelijk onderscheid gereserveerd voor die stoffen die bij produktie en consumptie concentreerbaar en controleerbaar vrijkomen.

Dit betekent enerzijds dat preventie van milieuverontreinigende emissies resulteert in additionele afvalstoffen en anderzijds dat de behandeling en verwerking van afvalstoffen op een zodanige wijze moet geschieden dat er geen onaanvaardbare emissies naar bodem, water of lucht ontstaan.

#### Afvalstoffen

Afval in *technische* zin zijn die (samenstelsels van) stoffen die ontstaan bij de produktie van goederen en/of diensten, zonder dat deze stoffen het doel zijn van de produktie, alsmede stoffen die overblijven na consumptie van goederen en/of diensten.

Afval in *economische* zin zijn die goederen en stoffen die — in tegenstelling tot produkten — geen netto opbrengst hebben doordat:

- de afvalstof geen verkoopopbrengst heeft, terwijl er wel kosten voor de verwijdering moeten worden gemaakt;
- er wel een opbrengst is, maar deze opbrengst is kleiner dan de bijzondere kosten die voor de afvoer noodzakelijk zijn [86].

Dit onderscheid is van meer dan zuiver theoretisch belang. Immers, men spreekt in veel gevallen van hergebruik van afvalstoffen terwijl het in feite gaat om het benutten van een bijprodukt of nevenprodukt.

<sup>9)</sup> Aanvullingen zijn ingevoegd van: mr. A.A. Bouvy; drs. J.M. Joosten; mr. A.A. Nijkerk; dr. G. Schuur; ir. D. Valstar en drs. J.A. Vriesman.

Het zoeken naar mogelijkheden om potentieel afval opnieuw nuttig te gebruiken, bestaat al zolang de mens produceert. Hij streefde daarbij naar maximaal resultaat met de opoffering van zo gering mogelijke middelen, al waren er lokaal wel degelijk grote problemen door het afval en de verontreinigingen van de produktie.

Op dit moment komt hergebruik op een gezonde bedrijfseconomische basis van afvalmaterialen uit de huishoudens (bijna) niet meer voor. Wel werd in 1974 in installaties die voornamelijk huishoudelijk afval verbranden 254 TWh aan elektriciteit opgewekt, 32.600 ton ijzer teruggewonnen en 214.500 ton slakken gewonnen en verwerkt tot wegverhardingsmateriaal. Tevens werd in gemeentelijke compostbedrijven en in de twee V.A.M.-bedrijven 62.700 ton compost verkregen uit omzetting van het organische bestanddeel van het huisvuil.

De meeste hergebruiksactiviteiten geschieden echter in de industriële sector. Interne circulatie van grondstoffen geschiedt in een aantal bedrijven continu. Dit kan bijv. nodig zijn voor een zekere stabilisatie van de procesvoering, ter verkrijging van een voldoende homogeen en uniform eindprodukt, zoals bij de produktie van glas. Maar ook overigens geschiedt interne circulatie overal waar het produktieafval zonder kwaliteitsproblemen weer in de grondstof kan worden opgenomen. Dit uiteraard voorzover de kosten van opwerking (gecorrigeerd voor besparingen op de afvalverwijdering) lager zijn dan de prijs van de verse grondstof. Op dezelfde basis bestaat er ook nog steeds op diverse gebieden hergebruik van externe afval of bijprodukten van een niet al te gecompliceerde samenstelling en hoedanigheid, die betrekkelijk eenvoudig in een produktielijn kunnen worden opgenomen (schroot van de staalbereiding, beenderafval van de lijm- en gelatineindustrie, houtafval van de spaanplaatindustrie enz.).

In de huidige maatschappij komen echter veel afvalmaterialen zo vermengd en verontreinigd vrij, dat hergebruik niet bedrijfseconomisch verantwoord is en dat het moeilijk, zo niet onmogelijk is, een toepassingsmogelijkheid te vinden. De huidige belangstelling voor terugwinning en hergebruik heeft echter een andere basis. Het is enerzijds de zorg voor het milieu en anderzijds de vrees voor uitputting en de daarmee samenhangende gedachte dat de prijs niet de juiste waarde tot uitdrukking brengt. De consequentie dat hergebruik op een dergelijke basis geld kost, wordt echter moeilijk aanvaard. Toch kan de huidige aandacht voor de problematiek het hergebruik van bepaalde materialen op twee manieren gunstig beïnvloeden.

- In de eerste plaats is het niet zeker dat alle mogelijkheden van hergebruik ook inderdaad uitputtend zijn bestudeerd. In het verleden zijn processen geoptimaliseerd t.a.v. het resulterende produkt. Aan het eveneens resulterende afval werd weinig aandacht geschonken. Bundeling en integratie van speurwerk, kennis en activiteiten zullen onvermoe-



de perspectieven kunnen bieden. Resultaten in het recente verleden hebben dit bewezen.

- In de tweede plaats zullen de verwijderingsmogelijkheden steeds beperkter worden. De verwerking zal in de toekomst aan strengere voorwaarden dienen te voldoen en de resterende mogelijkheden zullen ongetwijfeld gepaard gaan met hogere kosten. Dit laatste zal bedrijfseconomische evaluaties beïnvloeden en daardoor initiatieven stimuleren.

### 7.1.2. De betekenis van hergebruik

De meest ruime definitie van hergebruik luidt als volgt<sup>10)</sup>.

Hergebruik van (afval-) stoffen is het zinvol benutten van (potentiële) afvalstoffen in de één of andere richting.

Op deze wijze fungeert het begrip als paraplu, waaronder vallen allerlei vormen van opnieuw benutten van produkten en materialen (potentiële afvalstoffen), ontstaan door menselijke activiteiten, die een eerste functie hebben vervuld. Dit hergebruik kent vele vormen en facetten en het lijkt ondoenlijk, voor alle vormen een aparte naamsaanduiding te creëren. Men kan echter wel vanuit de hiervoor ontwikkelde gedachte tot de volgende globale indeling van de aard van mogelijke hergebruiksprocessen komen.

- Het proces kan op zichzelf bedrijfseconomisch verantwoord functioneren (d.w.z. het is hergebruik van *technisch* afval).
- Het proces is bedrijfseconomisch verantwoord doordat de kosten minus de opbrengsten lager zijn dan de kosten van een verwijdering als afval.
- Een kosten-baten analyse indiceert dat het proces maatschappelijk-economisch gewenst, c.q. verantwoord is.
- Hergebruik is moeilijk te verantwoorden.

Alvorens een aantal aspecten te bespreken die van belang zijn of kunnen worden voor beslissingen omtrent hergebruik, is het nuttig een zekere mate van rubricering te geven van de veelheid van mogelijke activiteiten.

Ten eerste kan worden onderscheiden tussen hergebruik van het voorwerp (bijv. de retourfles) of het materiaal (bijv. glasscherven) in het potentiële afval. Daarnaast kan men ook een eigenschap benutten (bijv. door energie op te wekken uit verbranding).

Ten tweede is van belang het stadium waarin een potentiële afvalstof wordt bestemd voor hergebruik. Voor produktieafval kan dat zijn:

- binnen de fabriek (bijv. het terugbrengen van de snijranden van de papiermachine naar het pulpproces);

- buiten de fabriek, maar geheel aan de produktiezijde (het bruikbare afval wordt zo goed mogelijk gescheiden gehouden van het overige afval);
- geheel in het afvalstadium (binnen het kader dus van de afvalverwerking).

Voor consumptie-afval kan dat onderscheid zijn:

- het bruikbare afval wordt gescheiden gehouden en vervolgens ingezameld (glas, papier etc.);
- bruikbare componenten worden na het inzamelen, doch voor de afvalverwerking, afgescheiden (hiervoor zijn een aantal scheidingsprocessen aanwezig of in ontwikkeling);
- eigenschappen van (componenten van) het afval worden tijdens of na de verwerking nuttig gebruikt (warmtebenutting, toepassing van slakken in de wegebouw etc.).

Voorts kan potentieel afval opnieuw voor hetzelfde doel worden gebruikt (bijv. nieuw karton uit oud), of voor een ander doel (bijv. papier omzetten in compost). Het hangt o.a. van de aard van het materiaal af, hoe vaak hergebruik in dezelfde richting mogelijk is. Door degeneratieverschijnselen is hergebruik van een vezel in de papierindustrie slechts een beperkt aantal malen mogelijk, terwijl uit oud glas een vrijwel onbeperkt aantal malen nieuw glas kan worden vervaardigd [87].

Tenslotte is de vraag van belang welke bewerkingen nodig zijn om een afvalmateriaal gereed te maken voor een bepaalde toepassing. Men zal er naar willen streven, afvalmaterialen te hergebruiken in zo hoogwaardig mogelijke toepassingen.

### 7.1.3. Belangrijke aspecten van hergebruik

#### *Bedrijfseconomische evaluatie* [88]

De bedrijfseconomische kant van hergebruik kan worden toegelicht aan de hand van Figuur 6.

Een hoeveelheid grondstoffen, met de daaraan verbonden grondstofkosten  $G$  en een hoeveelheid arbeids- en energiekosten  $E$ , geeft een produkt met een zekere produktwaarde. Deze produktwaarde daalt tijdens de levensduur van het produkt. Aan het eind van de (economische) levensduur komt de waarde van het produkt — het voorwerp — in de buurt van de nullijn te liggen. Dan nadert het „afvalstadium“, waarin zich een aantal situaties kunnen voordoen. Er worden er twee aangegeven.

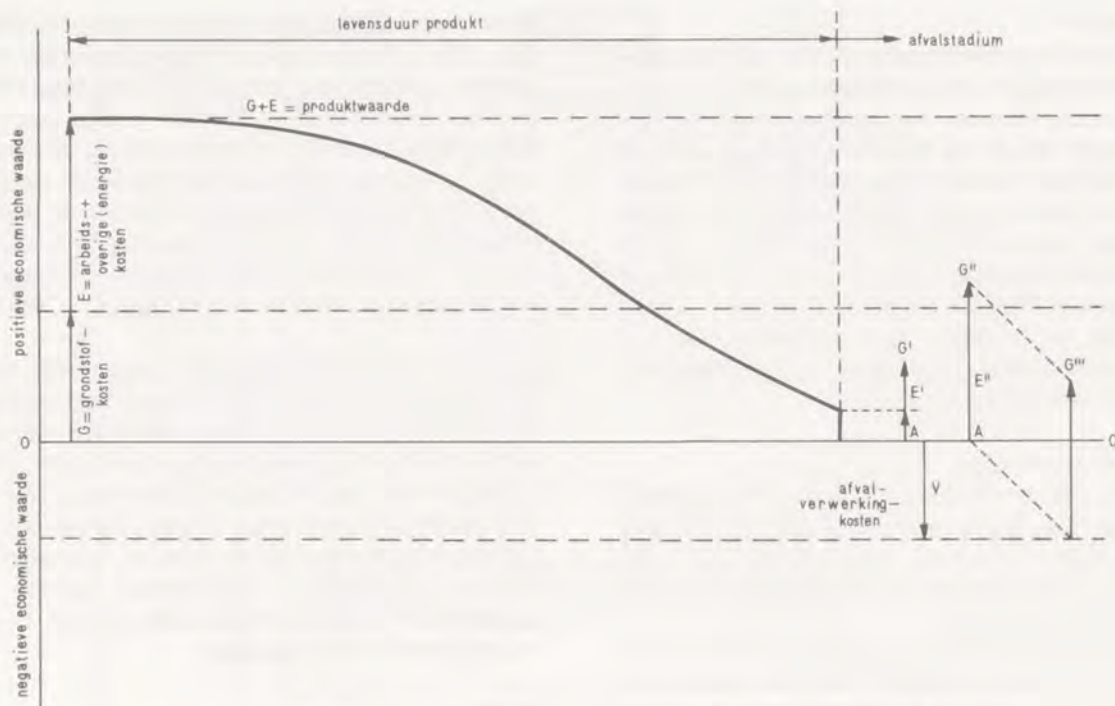
#### *Situatie 1*

Het materiaal waaruit het voorwerp is opgebouwd heeft nog een zekere waarde, want door toevoeging van een hoeveelheid arbeids- en energiekosten  $E$  kan een grondstof worden gewonnen met kosten  $G_1$ , die lager zijn dan de kosten voor de primaire grondstoffen  $G$ . Dit behoeven niet de oorspronkelijke grondstoffen te zijn; het kunnen ook andere materialen zijn, waarvoor de teruggewonnen grondstoffen als substituuut kunnen dienen.

In dit geval kan het hergebruik vanzelf op gang ko-

<sup>10)</sup> De Vereniging van Nederlandse Reinigingsdirecteuren heeft een nomenclatuurcommissie t.a.v. hergebruik in het leven geroepen. Deze heeft echter nog niet gepubliceerd.





Figuur 6. De relatie tussen produktlevensduur, afvalverwerking en economische waarde van het produkt.

men. De handel biedt een bepaalde prijs, voorgesteld door A en hierdoor wordt een zuigkracht uitgeoefend. Bij het produktieafval zijn hiervan vele voorbeelden te vinden.

#### Situatie 2

Hier zijn de kosten van arbeid en energie zo hoog dat de afvalstof slechts kan worden omgezet in een grondstof tegen kosten die (veel) hoger zijn dan de prijs van de primaire grondstof. In dit geval komt hergebruik niet spontaan op gang. De stof moet nu als afvalstof uit de samenleving worden verwijderd, hetgeen kosten met zich meebrengt. Deze kosten zullen door de vergrote zorg voor ons milieu en de daaruit voortvloeiende betere afvalverwijdering hoger zijn dan voorheen.

Indien het afval een partij produktieafval is, waarvoor per ton of per  $m^3$  moet worden betaald, dan zullen de besparingen die worden verkregen doordat de stof bij hergebruik niet als afvalstof hoeft te worden verwijderd, in de evaluatie van de mogelijkheden van hergebruik mede worden betrokken. Dit kan betekenen dat het hergebruik wel van de grond komt en wel eerder, naarmate de afvalverwijderingskosten hoger zijn. In Figuur 6 is dit aangegeven door de bespaarde verwijderingskosten van de andere kosten af te trekken.

#### Enkele moeilijker te waarderen factoren

In het bovenstaande bepaalt een strikt bedrijfseconomische beschouwing of hergebruik zinvol is of niet. Het is echter de vraag of de uitkomst van deze bedrijfseconomische evaluatie ook de maatschappelijk gewenste uitkomst is. Bij een maatschappelijke beoordeling komen alle maatschappelijke beoordelings-

criteria aan bod, kort samengevat in de vraag: „Wat is goed voor het welzijn van de Nederlander, of beter nog van de mens”? Een vraag waarover men niet eensgezind denkt en waar theorie en praktijk nog ver uiteenliggen (zie de bijdrage over maatschappelijke kosten; par. 5).

Voorbijgaand aan aspecten als consumptievrijheid, werkgelegenheid, arbeidsbeschikbaarheid e.d. zal allereerst worden stilgestaan bij drie belangrijke factoren welke mede van belang zijn bij een maatschappelijke evaluatie van hergebruiksprocessen. Deze factoren liggen op het terrein van de milieuhygiëne, het ruimtegebruik en de grondstoffenpositie.

#### Milieuhygiëne

De gedachte dat door hergebruik van afvalstoffen milieuverontreiniging wordt voorkomen, is in zijn algemeenheid onjuist. Immers, met financiële inspanning en een goede organisatie kunnen vrijwel alle afvalstoffen op een milieuhygiënisch en ook ruimtelijk verantwoorde wijze uit de samenleving worden verwijderd [89]. Dit kost — zoals vermeld — inspanning. Een inspanning die voor een deel niet hoeft te worden geleverd indien afvalstoffen op grote schaal worden hergebruikt. In plaats van te spreken over voorkoming van milieuverontreiniging, kan in dit verband beter worden gesteld dat door hergebruik de afvalproblematiek kan worden verminderd. Een praktische kanttekening is dat moet worden gewaakt voor de situatie dat door hergebruiksprocessen een grotere milieuverontreiniging ontstaat dan wanneer verse grondstoffen worden gebruikt en het ontstane afval doelmatig wordt verwijderd. Althans zonder dat er duidelijk aanwijsbare voordelen uit anderen hoofde tegenoverstaan.



### *Ruimtegebruik*

De diverse afvalverwerkingsmethoden zijn verschillend uit het oogpunt van ruimtebeslag. Ook het ruimtelijk aspect kan voor een deel worden herleid tot kosten. Wanneer bijv. in de naaste omgeving geen geschikte plaats kan worden gevonden om afval te storten, dan zal men moeten kiezen tussen een verder weg gelegen plaats (hogere transportkosten) of een andere afvalverwerkingsmethode (met de daarmee gepaard gaande hogere kosten). Door een externe beïnvloeding vanuit deze twee gezichtspunten kan een maatschappelijk juist geachte bedrijfseconomische evaluatie worden verkregen.

### *Grondstoffen en energie*

Moelijker wordt het indien ook de grondstoffenpositie moet worden beschouwd. Leidt de betaalde prijs voor de grondstoffen tot de maatschappelijk juiste uitkomst? In hoeverre wordt de schaarste in de grondstoffenprijs doorberekend?

Een praktisch gezichtspunt is dat moet worden voorkomen dat voor het terugwinnen van een relatief minder schaars materiaal schaarsere grondstoffen verloren gaan. Deze laatste zijn veelal de fossiele energiedragers. Veel hergebruiksprocessen en in het bijzonder de voorbereidingen ervoor (inzamelen en scheiden) vragen immers veel energie.

### *Enkele andere factoren*

Naast de drie genoemde belangrijke factoren, die in een bedrijfs-economische evaluatie niet worden meegewogen, zijn er nog enige factoren die het vermelden waard zijn.

Allereerst de psychologische factoren. In een maatschappelijke evaluatie met behulp van een kosten-baten analyse zullen voor een aantal aspecten wegingsfactoren moeten worden ingevoerd, zoals bijvoorbeeld voor het eerdergenoemde gebruik van ruimte en voor de ongeprijsde schaarste. Gezien de ervaringen gedurende de laatste jaren is een deel van de bevolking geneigd, bepaalde zaken zeer zwaar te wegen, zodat de uitkomst van de evaluatie in veel gevallen leidt tot „hergebruik tot elke prijs“.

Een tweede factor die dient te worden genoemd, is de politieke c.q. de (militair-)strategische factor. Indien in een bepaald geval de evaluatie niet leidt tot de conclusie dat hergebruik van het materiaal een goede zaak is, kan door het mede in de beschouwing betrekken van de strategische en politieke aspecten het hergebruik nationaal-maatschappelijk economisch wel verantwoord blijken.

### **7.1.4. De rol van de overheid**

Bij een bedrijfseconomische evaluatie van de hergebruiksmogelijkheden van bedrijfsafval zullen de besparingen op de afvalverwijdering — waarvoor per ton of m<sup>3</sup> wordt betaald — als bate aan het hergebruiksproces worden toegerekend. Voor consumptie-afval ligt dit anders. Daar betaalt de burger een reinigingsrecht, waarvoor binnen redelijke grenzen al het

afval kan worden afgegeven. Dit systeem is goed omdat zo de eventuele aanvechting bij sommige mensen om zich terwille van een persoonlijke besparing illegaal van afvalstoffen te ontdoen, wordt voorkomen. De keerzijde is dat er — behalve wellicht bij tussenpersonen — ook geen financiële prikkel is om componenten uit het afvalpakket apart te houden en aan de recuperatie-industrie toe te spelen. Als de besparingen er al zijn, komen zij tot uitdrukking in een lager — liever gezegd een minder snel stijgend — reinigingsrecht.

Het blijkt in de praktijk geenszins eenvoudig, te bepalen wat de door hergebruik ontstane besparingen aan afvalverwijderingskosten zijn. Bovendien kan uitvoering van de op zichzelf juiste gedachte dat deze besparingen ten goede moeten komen aan het hergebruikproject op problemen stuiten. Dit omdat de besparingen op verschillende plaatsen optreden en de uitvoering meestal in verschillende handen is. De moeilijkheid is dan, op welke basis en hoe de gelden moeten worden overgeheveld.

### *Beleid*

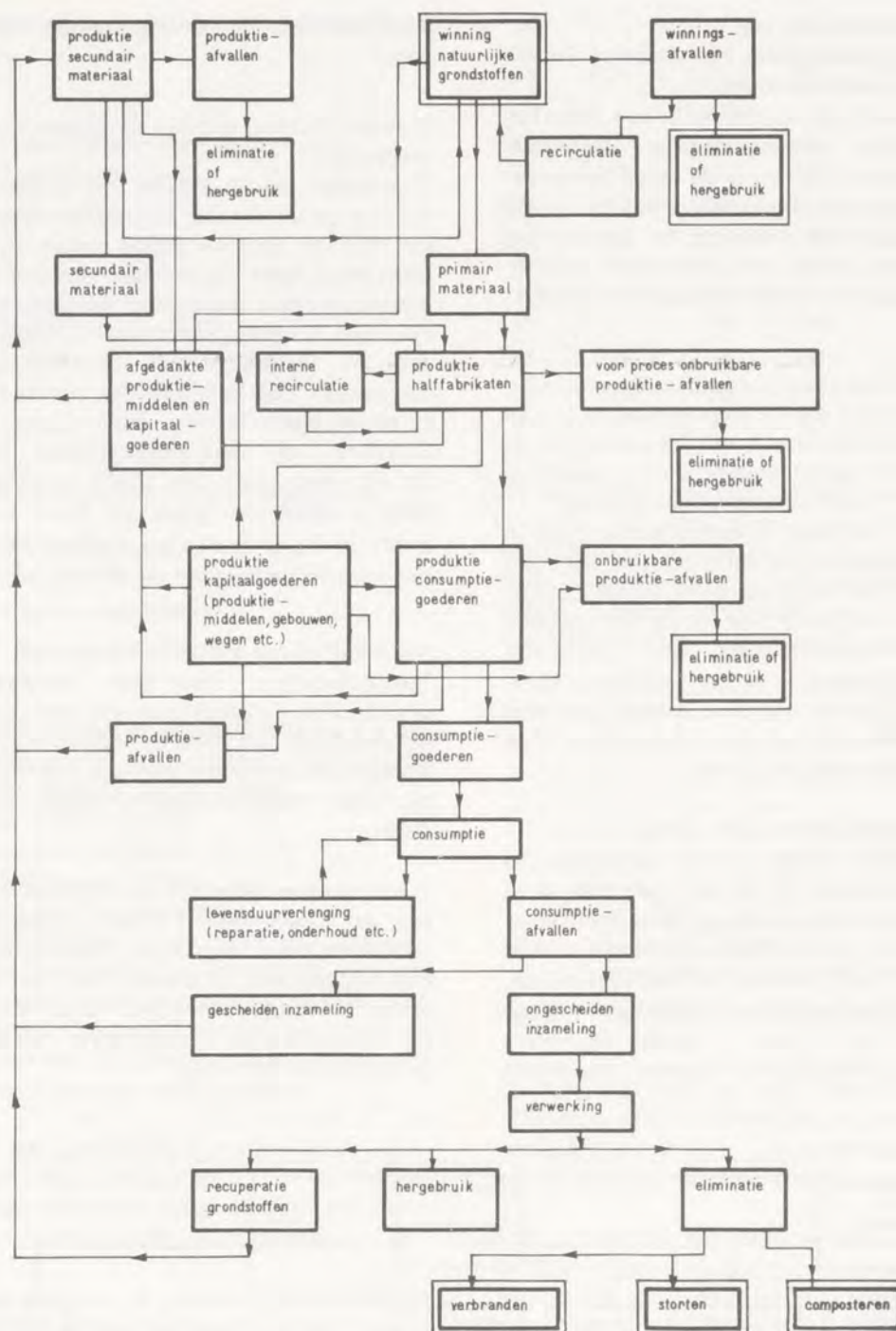
Ten aanzien van hergebruik in het kader van de grondstoffenvoorziening kan de overheid op verschillende wijzen stimulerend optreden. De vraag is, in hoeverre wettelijke maatregelen die andere doeleinden beogen, effect kunnen hebben op de grondstofpositie. Men denke aan de beide recente wetten op het gebied van afval, nl. het ontwerp Afvalstoffenwet en de Wet Chemische Afvalstoffen. Op grond van beide wetten heeft de overheid de mogelijkheid, verbods- en gebodsbepalingen uit te vaardigen. Deze zullen weliswaar zijn gericht op de produktie en het verbruik van bepaalde stoffen die invloed hebben op een doelmatige afvalverwijdering, maar er kan tot op zekere hoogte ook grondstoffenpolitiek mee worden gevoerd. Met name in de Afvalstoffenwet is deze mogelijkheid geschapen. Hoewel het in dit geval gaat om het beperken van de hoeveelheid afval, zou de overheid bijv. de papierproducenten kunnen verplichten een bepaalde hoeveelheid oud papier in de produktie op te nemen teneinde hergebruik te stimuleren.

In het algemeen kan worden gesteld dat Nederland op dit moment nog geen echte Grondstoffenwet kent. Het huidige wettelijke instrumentarium is gericht op het bereiken van andere doelstellingen, waarvan mogelijk een gunstig effect kan uitgaan op de grondstofpositie.

Naast genoemde wetten die in zekere mate kunnen bijdragen tot een grondstoffenpolitiek, heeft de overheid ook nog de beschikking over het vanouds bekende heffingen- en subsidie-instrumentarium. In feite grijpt de overheid hiermede direct in het prijsmechanisme in.

Buiten de genoemde vrij directe maatregelen kan de overheid ook meer indirect stimuleren. Zo kan zij zich bij het ontbreken van een afzetmarkt van enige omvang zelf als grootafnemer van een hergebruikproduct





Figuur 7. Het vrijkomen van afvalstoffen in de materialenstroom.

opwerpen. Daarnaast is stimulering mogelijk via het verstrekken van onderzoeksubsidies ten behoeve van de ontwikkeling van betere c.q. goedkopere methodieken t.a.v. hergebruik. Ook via de publiciteitsmedia kan zij haar stem laten horen ter stimulering van hergebruik, dan wel het gebruik van hergebruikproducten.

Een werkelijke bijdrage aan de oplossing van de grondstoffenproblematiek kan overigens nimmer worden geleverd door wettelijke maatregelen alleen. Daartoe is nodig dat zij die in hun dagelijks werk met grondstoffen werken, zich bezinnen omtrent moge-

lijkheden van zuiniger gebruik, van hergebruik en van verlenging van de levensduur van hun produkten. Immers zij alleen kunnen — veel beter dan de overheid — de concrete mogelijkheden in hun bijzondere geval onderkennen.

#### 7.1.5. Waarop moet men letten?

Als wij in par. 7.2. op zoek gaan naar feitelijke mogelijkheden voor hergebruik en terugwinning, moeten wij daarbij de hieronder kort behandelde punten in het oog houden. Zie voor meer gegevens [90, 91].



### Waar komen afvalmaterialen vrij?

Figuur 7 geeft een aanduiding van de verschillende plaatsen waar afval kan vrijkomen.

In het algemeen geldt dat hoe verder in de stroom het afval vrijkomt, hoe gecompliceerder hergebruik wordt. Hoofdoorzaak daarvan is de grote samengesteldheid qua materialen. Daarnaast komt per plaats ook minder gelijksoortig materiaal ter beschikking naarmate men zich verder stroomafwaarts bevindt. Wat dit betreft liggen de beste kansen aan de produktiekant.

### In welk stadium wil men het materiaal terugwinnen?

In het algemeen moet men afvalmateriaal in een zo vroeg mogelijk stadium afzonderen. Dit vermindert de mogelijkheden voor verontreiniging en het voorkomt dure scheidings- of zuiveringsprocessen achteraf.

Dit geldt uiteraard ook voor consumptieafval, maar in dat geval kan het verschil minder groot zijn. Dit komt doordat consumptieafval op een groot aantal losingspunten (woningen) vrijkomt. Hierdoor is het gescheiden inzamelen — vooral huis aan huis — duur. Het scheiden met apparatuur is echter veelal nog kostbaarder en minder flexibel t.a.v. samenstelling en omvang van het afvalaanbod en t.a.v. verandering in de vraag naar de resulterende producten.

### Technieken om materialen terug te winnen

Men kan onderscheid maken tussen technieken die nodig zijn om het terug te winnen materiaal af te scheiden en technieken die nodig zijn om het afvalmateriaal weer tot een bruikbare grondstof om te vormen. In de praktijk is dit onderscheid vaak niet scherp, maar t.a.v. de eerstgenoemde technieken geldt dat zij kunnen worden omzeild door het eerder afscheiden van het bruikbare materiaal. Hier moeten dus steeds

principiële alternatieven tegen elkaar worden afgewogen.

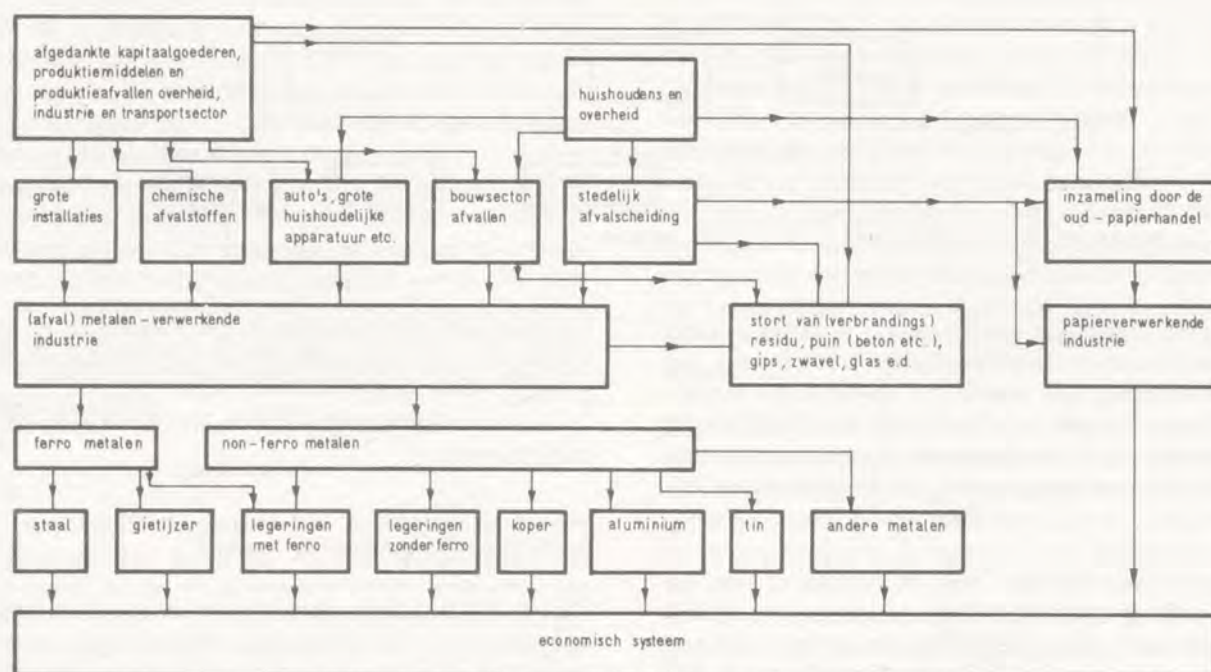
### In welke richting worden teruggewonnen materialen toegepast?

Theoretisch zijn er dikwijls vele mogelijkheden. Vele daarvan gaan met een degradatie-effect gepaard; zo kan men van hout wel papier maken, maar van papier geen hout meer. In principe verdient de kwalitatief hoogwaardigste toepassing de voorkeur. Bovendien zijn veel hergebruiksprocessen marginale activiteiten. De voordelen van schaalvergroting wegen dus zwaar. Dat betekent dat zoveel mogelijk afval in de gekozen richting moet worden hergebruikt, voorzover de afzetmogelijkheden dat toelaten. De uit deze gang van zaken voortvloeiende nadelen moeten van geval tot geval worden onderzocht. In Figuur 8 worden ter illustratie de gebruikelijke mogelijkheden voor metalen en papier geschetst.

### Het effect op het grondstoffenverbruik

Teruggewonnen materialen vervangen primaire grondstoffen (waarbij men wel moet oppassen voor het opofferen van andere, wellicht schaarsere grondstoffen). Dit vervangingsproces is echter pas effectief bij hoge terugwiningspercentages (bijv. 50% of meer).

In het navolgende wordt een beknopt overzicht gegeven van toegepaste en experimentele technieken en methoden voor hergebruik. Wellicht ten overvloede wordt opgemerkt dat al deze methoden en technieken dienen te worden overwogen *nadat* de mogelijkheden tot voorkoming en vermindering van afval alle aandacht hebben gekregen.



Figuur 8. Afdanking en hergebruik van metalen en papier



Tabel 14. Schroothuishouding in Nederland, 1970-1974 (in 10<sup>3</sup> ton) [92]

	1970	1971	1972	1973	1974	1975
<i>Staalschroot</i>						
Totaal verbruik staalfabrieken (incl. eigen schroot)	2069	2017	2055	1850	1929	1384
w.o. netto aankoop schroot	744	695	620	490	493	271
Exporten	726	604	747	930	1271	1030
Importen	279	190	149	135	88	161
<i>Gietijzerschroot</i>						
Netto aankoop gieterijen	85	77	78	84	83	75
Exporten	89	63	75	191	102	80
Importen	20	24	22	47	61	46

## 7.2. Methoden en technieken van hergebruik

door prof. dr. ir. C. Boelhouwer

### 7.2.1. Anorganische materialen

#### Metalen

Vanouds vormen de metaal-schrootbedrijven de belangrijkste categorie van recuperanten. Men kan de volgende soorten afval onderscheiden.

- Ferro-metalen (ca. 60 soorten)
- Non-ferro metalen (duizenden soorten)
- Legeringen (tienduizenden soorten)
- Edele metalen (ca. 50 categorieën).

Wij zullen ons hier vrijwel geheel beperken tot de eerste twee, welke in omvang het leeuwedeel vormen. De legeringen zullen overigens meestal tezamen met de ferro- of non-ferrometalen worden teruggewonnen; de edele metalen zijn kostbaar, reden waarom ze reeds lang intensief worden gerecupereerd.

*Ferro-metalen.* Het gemiddelde schrootverbruik in Nederlandse staalovens bedraagt thans ca. 400 kg per ton geproduceerd staal [92]. Tabel 14 geeft een overzicht van de schroothuishouding in Nederland.

Meer en meer worden de oudere Siemens-Martin ovens (400 tot 700 kg schroot-invoer per ton staal; 4 tot 6 uur per charge), vervangen door oxystaal-procédé's (200 tot 300 kg schroot-invoer per ton staal; 30 tot 45 minuten per charge).

Het oxystaalproces verwerkt relatief minder, doch absoluut gezien veel meer schroot. In IJmuiden werden de laatste SM-ovens in 1972 buiten bedrijf gesteld; bij de Nederlandse Kabelfabrieken zijn er nog een tweetal in gebruik naast vier elektro-ovens. De ontwikkeling van continue gietprocédé's, die het blokwalsen meer en meer verdringen, heeft tot een belangrijke vermindering van de hoeveelheid intern schroot van de staalbedrijven (het zg. eigen- of omloopschroot) geleid. De behoefte aan extern schroot voor het oxystaalproces zal daarom gaan stijgen, naar men verwacht tot circa 15% van de productiecapaciteit. Ook de elektro-staalovens, die meestal vrijwel geheel met

schroot worden gevoed, worden veel meer toegepast. Ondanks de sterk schommelende prijzen op de schrootmarkt (zie Fig. 9) lijkt dus toch een blijvende grote belangstelling voor schroot gewaarborgd. In de wereld als geheel wordt staal momenteel voor 55% uit ruw ijzer en voor 45% uit schroot geproduceerd.



Figuur 9. Nederlandse schrootprijzen 1970-1975

Ca. 12% (200 x 10<sup>3</sup> ton) van al het staalschroot was in 1974 afkomstig van autowrakken [92]. Tabel 15 geeft een overzicht van het geschatte aanbod en de wijze van verwerking van zulke wrakken in 1975.

Hieruit blijkt dat hydraulische scharen en persen een belangrijk deel voor hun rekening nemen. In ons land zijn ca. 100 van deze apparaten opgesteld. Het zijn de belangrijkste verwerkers van grof schroot (niet alleen autowrakken) en dit zal voorlopig zeker zo blijven [92]. Voorts blijkt Nederland een overcapaciteit aan versnipperingsinstallaties te hebben, hoewel de eerste twee pas in 1971 werden gebouwd. De spreiding ervan is echter niet voldoende: de export van wrakken naar grote (capaciteit tot 2 x 10<sup>5</sup> stuks per jaar) W-Duitse installaties zal toenemen.

Een goede en regelmatige verwerking van afgedankte auto's, ijskasten, (af)wasmachines, autobussen etc. hangt vooral af van een stabiele en voldoende hoge schrootprijs. Dit zou ook wettelijk kunnen worden bevorderd [92]. De verwerking van vrachtwagens levert geen problemen op.

De betekenis van het versnipperen is gelegen in het toegankelijk maken van het afgedankte object voor



**Tabel 15.** Te verschromten Nederlandse autowrakken en capaciteit van de Nederlandse versnipperingsinstallaties (schatting 1975) [92]

Totaal aantal afgedankte auto's	350.000
Export naar buitenlandse versnipperings-bedrijven	75.000
Verwerkt door Nederlandse installaties met hydraulische persen en scharen	75.000
Resterend aantal voor Nederlandse versnipperingsinstallaties	200.000
Geschatte jaarcapaciteit Nederlandse versnipperingsinstallaties	
Pametex, Den Haag	75.000
Doelmeijer, Nieuwerkerk/Rotterdam	100.000
Hollandia, Amsterdam	125.000
Heymans/Thomas, Den Bosch	50.000
De Ruiter, Nijmegen (in oprichting)	50.000
Totale capaciteit	400.000

verdere recuperatie. Er zijn twee methoden. Bij de warme versnippering wordt de voor de vergruizing gebruikte energie in warmte omgezet. Bij de koude versnippering wordt het wrak eerst tot een pakket geperst en vervolgens tot  $-190^{\circ}\text{C}$  gekoeld met vloeibare stikstof. Het dan brosse materiaal kan eenvoudig worden verpulverd. Men verkrijgt kleine schone fragmenten, want het gekoelde pakket breekt op iedere plooi en de lak laat los van het metaal. Ook komen de non-ferro bestanddelen vrij van het staal. Verschillen in exploitatiekosten tussen beide procédés hangen vooral af van de prijs van vloeibare stikstof. Na het verkleinen kan het staalschroot (ca. 50 gewichtspercent) met magneten doeltreffend worden afgescheiden; het vormt dan — in schone toestand — een bruikbare grondstof voor de staalbereiding. Bij de productie van bepaalde staalsoorten ontstaan problemen als het koperpercentage te hoog ( $>0,17\%$ ) ligt. Anderzijds is in de V.S. onlangs een roestvast constructiestaal ontwikkeld dat juist een bepaald percentage koper moet bevatten.

Het rendement aan ferro- en nonferro-schroot van de versnipperinstallaties zou toenemen door beperking van materiaalsoorten in (o.a.) auto's en vermindering van ongunstige combinaties. Zo dient staalschroot weinig tin te bevatten. Ook zou de vervanging van koper door aluminium in auto's gunstig zijn. Men zou de elektrische bedrading van een auto kunnen centraliseren langs een balk welke bij sloop eenvoudig te verwijderen is. Gegalvaniseerd schroot is slecht acceptabel door milieuhinder en kwaliteitsproblemen bij de staalfabrikage. Verbetering van sorteer- en scheidingstechnieken biedt eveneens nog mogelijkheden tot rendementsverhoging.

*Non-ferrometalen.* Het betreft in Nederland vooral koper en koperlegeringen ( $50 \times 10^3$  ton/jaar), aluminium (ca.  $25 \times 10^3$  ton/jaar) en lood en zink (ca.  $35 \times 10^3$  ton/jaar). Veel van dit materiaal is ook weer afkomstig van de autodestructie.

In een aantal gevallen zullen milieuvoorschriften tot nieuwe recuperatietechnieken leiden, of hebben zij dit al gedaan. Het US Bureau of Mines bestudeert de regeneratie van koper, tin, lood en zink uit de vlieg-as van metaalsmelterijen [93]. Smeltovens voor messing kunnen tonnen per etmaal van zulk uiterst fijn oxydisch stof produceren. Door mengen met koolstof en pelletiseren kan het in bruikbare vorm worden gebracht voor transport en reductie tot de elementen. De kosten van recuperatie hangen sterk af van loonkosten en kosten van energie en transport en kunnen daardoor een heel andere ontwikkeling doormaken dan grondstoffenprijzen. Zo is de verwerking van het afval van nieuw vertinde platen in de conservenindustrie lonend, maar het onttinnen van gebruikte, min of meer vervuilde blikken nauwelijks. De aangevoerde hoeveelheid is daarvoor ook nog veel te gering.

Non-ferrometalen worden na versnippering van het afval gewoonlijk met de hand uitgezocht (dit kan door de hoge waarde). Voorts is uitsmelten of mechanische scheiding mogelijk [92]. Deze laatste methode kan zijn gebaseerd op magnetische principes (wervelstromen); op sedimentatie of flotatie en op massa-traagheidskrachten. Binnen het raam van deze principes doen zich veel mogelijkheden voor. Zo kan men met een op laatstgenoemd principe gebaseerde methode uit non-ferroschroot met 20 gewichtspercent aluminium een fractie met 70 tot 80 gewichtspercent afzonderen [93].

In de V.S. hebben de aluminiumproducenten door grootscheepse acties het publiek tot het verzamelen van aluminium busjes kunnen bewegen. Van de  $70 \times 10^9$  per jaar afgedankte bussen (w.o. ca.  $5 \times 10^9$  aluminium spuitbussen) komen er nu ca.  $1,5 \times 10^9$  voor herverwerking in aanmerking [94]. Aluminium busjes laten zich niet — zoals de vertind stalen blikjes — magnetisch van gemengd afval scheiden. Blikjes met stalen mantel en ingefelst aluminium deksel leidden weer tot de moeilijkheid dat mechanische scheiding van de beide metalen niet wel mogelijk was. Dit maakte het schroot voor zowel de staalindustrie als de aluminium-smelterijen onbruikbaar. Vooralsnog zal in de Benelux de hoeveelheid aluminium (als busjes of anderszins) in huishoudelijk afval gering blijven.

Bij de recuperatie van koper vormt kabelmateriaal een voornaam bron. Deze kabels kunnen onderdeel zijn van allerhande afgedankte goederen. Recuperatie vindt plaats door pellen (arbeidsintensief), door versnippering gevolgd door mechanische scheiding (alleen geschikt voor kunststof beklede kabel zonder mastiek of teer etc.) of langs thermische weg (alleen toegestaan als geen luchtvervuiling optreedt). De beide laatstgenoemde methoden kunnen worden verbeterd en zelfs gecombineerd.



Een apart probleem vormt de koper-aluminium kabel, waarbij scheiding nauwelijks mogelijk is. Bij elektromotoren kost thermische scheiding teveel warmte, omdat deze in het ijzer-gedeelte terecht komt. Chemische extractie lijkt de oplossing, maar is nog weinig onderzocht. Hetzelfde geldt voor cryogene separatie, gevolgd door versnipperen en voor het chemisch afzonderen van koper en zink uit messing of van koper, tin en zink uit brons. In de warme versnipperingsinstallaties gaat koper grotendeels verloren door opsluiting in de staalbrokken. Dit gebeurt niet bij de koude techniek.

Uiteraard zijn er tal van bijzondere technieken en probleemgebieden. Een voorbeeld is de terugwinning van metalen uit galvanische baden. Het kan hier gaan zowel om het recirculeren van kostbare (schaarse) grondstoffen als om urgente milieuproblemen. Een ander voorbeeld is de concentratie van uiterst geringe hoeveelheden goud uit ertsafvallen door elektrolyse van een zoutoplossing waarin deze worden gedispergeerd. Het gevormde hypochloriet vernietigt de adsorptieve eigenschappen van het (organisch materiaal bevattende) erts, waardoor extractie van het goud als cyanidecomplex mogelijk wordt. Ook zilver, kwik, uraan, molybdeen en rhenium kunnen zo uit arme ertsafvallen worden gewonnen.

### Glas

Bij de vervaardiging van glas vindt hergebruik van afvalglas ruime toepassing op produktietechnische gronden. Circa 20% van de voeding van de glasovens dient te bestaan uit scherven of gruis van bekende samenstelling, afkomstig van de eigen produktie of van de eigen afnemers. Ook recirculatie van — zorgvuldig gesorteerd — huishoudelijk afvalglas is echter mogelijk. Proeven van de Vereenigde Glasfabrieken te Schiedam hebben aangetoond dat voor de fabrikage van groen glas tot 50% vreemde scherven als grondstof konden worden gebruikt, naast 15-20% scherven van bekende samenstelling. Wel moet men het proces dan bijsturen met basisgrondstoffen (zand, soda, kalksteen, veldspaat enz.) van bekende samenstelling [95]. De maximale hoeveelheid afvalglas die bij deze wijze van produktie in Nederland jaarlijks als grondstof voor de glasindustrie zou kunnen dienen, bedraagt ca.  $10^5$  ton (ca. 40% van het totale binnenlandse verbruik). Zou het glas op kleur kunnen worden gescheiden, dan zou een maximale opnamecapaciteit van  $2 \times 10^5$  ton scherven mogelijk worden, omdat een deel der scherven zelfs voor de produktie van wit glas zou kunnen worden aangewend.

Zinvol is de overweging of glas op grotere schaal in de gebruiksvorm (flessen, glazen enz.) zou kunnen worden hergebruikt. Economische motieven hebben veelal geleid tot het verlaten van het systeem van retourverpakking; de aanschaf van monoglas blijkt voor de verpakkingsindustrie gunstiger. Weliswaar leidt retourglas tot geringer energieverbruik, maar daar staat milieubelasting door het gebruik van reinigingsmidde-

len tegenover. Daarbij komt dat de gemiddelde gebruiksduur van glazen retourflessen een dalende tendens vertoont; in Nederland bedraagt deze nog ca. 25 afvullingen, in de V.S. niet meer dan 10.

Men kan voor het hergebruik van glazen voorwerpen nog talrijke gedachten opperen (bijv. flessen die als bouwsteen kunnen worden gebruikt). Toepassingen zijn tot nog toe zeer beperkt gebleven. Hergebruik van glas kan zijn motivering vinden in overwegingen van afvalbeheersing, milieubeheer en energiebesparing; er zijn echter nauwelijks schaarse grondstoffen in het geding.

### Zwavel

Dit ontstaat in toenemende mate als bijproduct van ontzwavelingsprocédés voor brandstoffen en rookgassen. Dit hangt ook samen met milieuvoorschriften; zo geldt sinds 1 december 1975 voor Nederland een toegestaan zwavelgehalte van 2,7% voor zware stookolie, 0,7% voor lichte stookolie en 0,5% voor gasolie [96].

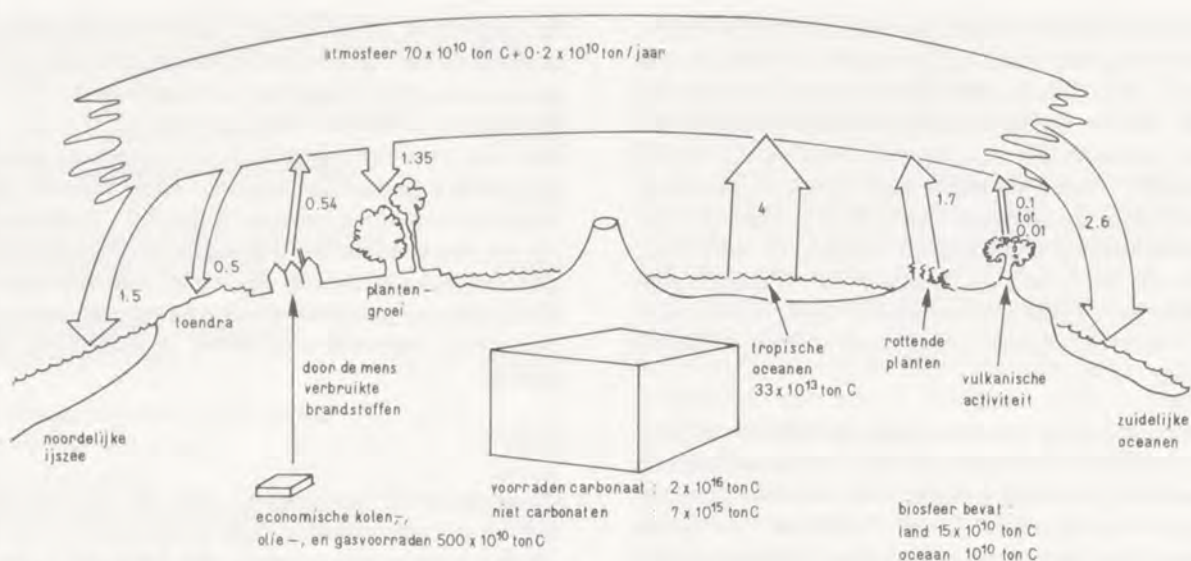
Er is thans geen overproduktie van zwavel [93], maar in de toekomst zou de zwavelzuurfabrikage minder snel kunnen stijgen dan de zwavelproduktie. Men zoekt mede daarom naar nieuwe toepassingsmogelijkheden [97], zoals in asfalt (voorzover geen hoge slipvastheid nodig is), in beschermende lagen (bijv. voering van cementcontainers) en als antiverstuivingsmiddel voor in de openlucht opgeslagen poeder-vormige stoffen (ertsen, kunstmest e.d.).

### 7.2.2. Organische materialen

Van de zonne-energie die de aarde bereikt (ca.  $3 \times 10^4$  maal het jaarlijkse energieverbruik door de mens), bereikt 10% het landoppervlak en is daar beschikbaar voor fotosynthese. Daarmee wordt overigens zelfs bij zeer intensieve bebossing of akkerbouw toch maar ca. 1% van de ter plaatse beschikbare zonne-energie vastgelegd. Het gemiddelde rendement van de organische omzetting van zonne-energie in streken met een gematigd klimaat is 0,4 tot 0,8%. Toch belooft de zo in organische verbindingen vastgelegde koolstof miljarden tonnen per jaar. Mens en dier onttelen hieraan hun voedsel en tal van waardevolle materialen, zoals hout, rubber en katoen. Figuur 10 geeft een globale balans van de jaarlijkse uitwisseling van koolstof tussen atmosfeer, hydrosfeer en biosfeer. Ook de verbranding van fossiele energie door de mens heeft daarop invloed.

Deze koolstofhuishouding bergt principiële mogelijkheden in zich voor intensivering van bos- en akkerbouw op onze planeet. Dit kan zowel de voedselvoorziening als de energie- en materialenvoorziening ten goede komen, terwijl de milieubeïnvloeding in de hand kan worden gehouden. Zo kan men door daartoe geëigende fermentatieprocessen op grote schaal de toekomstige behoefte aan een aantal basisgrondstoffen voor de chemische industrie dekken [99]. Ook





Figuur 10. Globale wereldkoolstofbalans volgens Watt [98].

kan men een gesloten koolstofkringloop baseren op het gebruik van hout — met name afvalhout — als grondstof voor de chemische industrie [100]. Meer over de belangrijke aspecten van koolstofkringlopen kan men vinden in [101].

#### Papier en karton

Hergebruik van ingezameld papier en karton wordt in Nederland op ruime schaal toegepast (zie Tabel 16).

Tabel 16. Papierhuishouding in Nederland ( $10^3$  ton) [102, 103]

	1969	1974
Verbruik nieuw papier en karton	1760	1918
Ingezameld oud papier en karton	686	806
Productie nieuw papier en karton	1608	1687
Daarbij verbruikt oud papier en karton	546	673

Net zoals in de schroothandel is stabiliteit en voldoende niveau van de prijzen ook voor de handel in oud papier van veel belang. Figuur 11 geeft het prijsverloop van 1963 - 1975.

De hausse van 1974 en de daarop gevolgde productiebeperking in de papierindustrie hebben geleid tot vorming van grote voorraden oud papier, hetgeen de continuïteit van bedrijven en handel in gevaar heeft gebracht. Gezien ook de verdere belangrijke rol die oud papier speelt voor de toekomstige problematische grondstofvoorziening van de papierfabrikage, valt dit zeer te betreuren [103]. Immers, ook internationaal gezien zal de totale voorziening met *papierhout* onvoldoende worden, ondanks de intensieve herbebossing in een aantal landen. Zeker in een hout-

arm land als Nederland is men dus aangewezen — naast een intensievere herbebossing — op een zo groot mogelijk gebruik van oud papier [105].

Ongeveer de helft van het in Nederland verbruikte papier en karton komt in het gemengde vaste afval terecht. Daarom wordt veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van processen voor de terugwinning daarvan (zie ook par. 7.2.3.). Papier is — zonder toevoeging van vers materiaal — een beperkt aantal malen te recirculeren. De vezel wordt tenslotte te kort voor de vorming van een goed samenhangende laag. Toepassing van oud papier bij de papierfabrikage kan tot een grotere watervervuiling leiden door twee oorzaken:

- het ontinkten;
- het meespoelen van te korte vezels met het afvalwater.

Indien het gebruik van oud papier leidt tot productie van dikkere papiersoorten ter compensatie van mechanische zwakte, bestaat de kans dat energiebesparingen te niet worden gedaan.

Twee belangrijke problemen bij de herverwerking van oud papier zijn:

- Bij het gebruik van secundaire vezels is men in het algemeen niet zeker van de kwaliteit. De vezellengte en de maalgraad kunnen aanzienlijk variëren. Primaire vezels geven een betere garantie voor de homogeniteit en daarmee voor de kwaliteitsbeheersing van het eindproduct.
- Papiersoorten die een chemische behandeling hebben ondergaan of die zijn voorzien van een deklaag, kunnen last geven bij de verwerking. Met name carbon- en bitumineus papier of geparaaffineerd papier moeten niet tussen verzameld materiaal geraken. Zij kunnen een hele charge papierpulp kleuren en daarmee commercieel ongeschikt maken. Ook hier kan veel worden gedaan aan de verbetering van de herwinbaarheid door bij de fabrikage van speciale papiersoorten en karton zoveel moge-





Figuur 11. Officiële prijs voor bont papier, 1963-1975 (cent/kg) [104]

lijk selectief te werk te gaan en al bij voorbaat met de terugwinningsmogelijkheden rekening te houden, als de marktsituatie dit toelaat. Dit geldt ook voor bedrukte papiersoorten (vooral krantenpapier). Hier kan men inktsoorten en andere hulpstoffen zodanig kiezen of ontwikkelen dat recirculatie van papier wordt bevorderd.

In de Verenigde Staten heeft de industrie reeds het initiatief genomen om na te gaan hoe de herwinbaarheid van papier, karton etc. kan worden opgevoerd door het weglaten of vervangen van bepaalde componenten die door de papier- en verpakingsindustrie zelf aan het materiaal worden toegevoegd.

Men kan zich tenslotte ook kritischer gaan afvragen in hoeverre de commerciële eisen welke aan diverse papiersoorten worden gesteld, overdreven of onevenwichtig zijn vanuit andere gezichtspunten.

Papier en karton bestaan grotendeels uit cellulose. Het ligt voor de hand dat men verschillende pogingen heeft gedaan, deze materialen door hydrolytische splitsing en eventuele vergisting om te zetten in suikers, voedergisten, alcoholen enz. De hiervoor uitgewerkte processen zijn echter economisch niet interessant [106]. De biologische omzetting van cellulose in eiwit verkeert nog in een experimenteel stadium [107].

#### Kunststoffen

In het algemeen moet onderscheid worden gemaakt tussen thermoplasten (welke bij verwarming steeds opnieuw week worden) en thermoharders (welke door chemische veranderingen juist hun vaste vorm

krijgen bij verwarming). Door hun aard zijn de recirculatiemogelijkheden voor thermoharders zeer beperkt. Ook voor andere kunststoffen geldt dat — afgezien van opwerking van eigen fabrikageafval — recirculatie weinig wordt toegepast. Zolang de basisgrondstoffen voor kunststoffen (aardolie en voorts aardgas en — in potentie — steenkool) voor 95% als energiedrager worden benut, kan recirculatie van kunststoffen ook geen rol spelen t.a.v. grondstofbesparing. De omgekeerde overweging is veel meer ter zake: het gebruik van fossiele brandstof (met name aardgas en aardolie) moet worden beperkt om de toekomstige grondstoffenpositie van de chemische industrie veilig te stellen.

Enkele redenen voor de beperkte perspectieven voor hergebruik van kunststoffen zijn de volgende. Kunststoffen kunnen maar weinig worden verhit zonder achteruitgang in kwaliteit. Het verwijderen van verontreiniging d.m.v. verhitting — zoals dit wordt toegepast bij metaalschroot — is hier dus niet toepasbaar. Ook in andere opzichten zijn kunststoffen door hun moleculaire opbouw kwetsbaar voor — moeilijk omkeerbare — degradatie. Bovendien is onderlinge scheiding van verschillende kunststoffen op een enkele uitzondering na vrijwel onmogelijk, terwijl opwerking van gemengde afval tot inferieure resultaten leidt, o.a. omdat verschillende kunststoffen vrijwel altijd onmengbaar zijn.

Bepaalde mogelijkheden zullen ontstaan wanneer via een systeem van gescheiden inzameling (statiegeld) bepaalde soorten kunststof in grotere hoeveelheden kunnen worden opgewerkt. Men kan dan denken aan: — polyetheen flessen, containers, kratten, zakken voor cement of kunstmest enz. Bovendien kunnen



- deze meerdere malen worden gebruikt alvorens het materiaal te recirculeren (levensduurverlenging);
- polystyreen verpakkingsmateriaal, drinkbekers enz.
- polyvinylchloride pijpen, folies enz.

Overigens zouden dergelijke inzamelingen misschien meer zinvol zijn ter voorkoming van zwerfvuil dan dat het echt zoden aan de dijk zou zetten ter oplossing van het recirculatieprobleem. Het zwerfvuilprobleem is echter een sociaal probleem dat zich maar gebrek-kig met technische en/of economische maatregelen laat bestrijden.

Er bestaan procédés voor de scheiding van huishou-delijk afval (welke zich nog in een experimenteel sta-dium bevinden, zie par. 7.2.3.), waaruit ook een frac-tie gemengd kunststofafval zou kunnen voortkomen. Volledigheidshalve worden enkele suggesties uit de li-teratuur voor het benutten van zulke afvallen hier ver-meld [108].

- Met de bereiding van roet wordt geëxperimen-teerd. Gebleken is dat chloorhoudende kunststof-fen hierbij grote problemen opleveren.
- Pyrolyse (droge destillatie); er ontstaat dan een reeks van ten dele bruikbare produkten (teer, olie, gassen en een vast residu). Een enigszins aan-vaardbare procesvoering vergt een zodanig grote, constant samengestelde aanvoer dat dit onder de huidige omstandigheden illusoir is.
- Verbranding; hiervoor zijn door de hoge verbran-dingswaarde speciale ovens nodig. Overigens vor-men kunststofbestanddelen juist om die hoge ver-brandingswaarde een belangrijke component van het huisvuil, al wordt de verbranding hiervan niet primair voor het verkrijgen van energie toegepast (zie par. 7.2.3.).

In het algemeen verdient het per saldo de voorkeur, kunststofafvallen tezamen met het overige gemengde afval te verbranden.

### Rubber

In veel van zijn toepassingen is rubber een uniek materiaal, omdat het daarin niet door iets anders kan worden vervangen. De belangrijke grondstoffen zijn: natuurlijke ruwe rubber, synthetische polymeren uit aardolie en geregenereerd materiaal. Natuurrubber en synthetische rubbers verkeren deels in een concurren-tieverhouding, deels hebben zij hun eigen specifieke toepassingen. De belangrijkste toepassing is de auto-band.

Ruwe rubber is een plastische massa. Het verkrijgt zijn elastische eigenschappen door het te verhitten met een vulkaniseermiddel (gewoonlijk zwavel). Net als kunststoffen kan het chemisch en met toevoeging van hulpstoffen worden voorzien van gewenste ei-genschappen. Regeneratie van rubberafval kan ge-schieden door via verhitting de bij het vulkaniseren ontstane ruimtelijke structuur („crosslinks”) weer te verbreken. Het regeneraat heeft dan echter toch een lagere kwaliteit dan de oorspronkelijke ruwe rubber.

In totaal beliep in Nederland de hoeveelheid afge-dankte autobanden in 1974 ca.  $48,5 \times 10^3$  ton; in 1980 zou dit  $80 \times 10^3$  ton kunnen bedragen [109]. Men kan van afgedankte autobanden het versleten loopvlak afpellen en er een nieuw loopvlak op vulcani-seren (coverbanden). Bij 80% van de vrachtautoban-den gebeurt dit ook één of meermalen; bij personen-autobanden slechts voor ca. 20%. Naar schatting is voor deze activiteiten in Nederland dan ook slechts  $5 \times 10^3$  ton nieuwe loopvlakrubber nodig. In België en W. Duitsland is de coverband aanzienlijk populairder. Daar de kwaliteit van zulke banden niet minder be-hoeft te zijn, is de geringe waardering in ons land meer psychologisch getint dan technisch verant-woord. Een grotere waardering voor deze vorm van recirculatie zou kunnen leiden tot betere inzameling van oude banden. Definitief afgekeurde exemplaren kunnen via verbranding dienen voor de opwekking van bij het vulkaniseren van de loopvlakken benodig-de energie.

Enkele andere hergebruiksmogelijkheden zijn de vol-gende.

- Benutting van gemalen rubberbanden in de slijt-laag van wegen en in tegels voor (bijv.) kinder-speelplaatsen. Overigens heeft de moderne op-bouw uit staal- en (bijv.) nylon koord van banden-karkassen het vermalen als meest logische vorm van verwerking vrijwel onmogelijk gemaakt.
- Pyrolyse [110, 111]. Dit biedt voor rubber meer per-spectief dan voor andere hoogmoleculaire stoffen. Het betreft hier immers een betrekkelijk homogeen uitgangsprодукt. De monomere stoffen waaruit de rubberafvallen zijn opgebouwd kunnen dan ook in niet onaanzienlijke hoeveelheden worden gerege-nereerd. Toch ontstaat ook weer een reeks verbind-ingen van zeer uiteenlopend molecuulgewicht: gassen, lichte oliën, teerachtige produkten en een vast residu. Om economisch verantwoord te wer-ken zou de pyrolyse op veel grotere schaal moeten worden uitgevoerd dan praktisch mogelijk is. Een moderne kraakinstallatie — in feite ook een vorm van pyrolyse — verwerkt zo'n  $10^6$  ton per jaar aan nafta of gasolie.
- Roetbereiding, door onvolledige verbranding van rubber [110]. Dit is een in principe sterk milieuver-vuילend proces dat o.a. in de V.S. op enkele afgele-gen plaatsen lonend wordt toegepast. Het komt neer op onvolledige verbranding van de rubber; in feite een gedeeltelijke regeneratie, omdat in de meeste rubbers aanzienlijke hoeveelheden vaak heel specifieke roetsoorten zijn geïncorporeerd. Ook kan men roetsoorten bereiden uit stookolie-fracties waaraan tot ca. 30% rubberafvallen zijn toegevoegd [112].
- Verbranding in een aantal optimaal te situeren en te construeren ovens, waarbij de warmte kan wor-den benut voor produktie van stoom, c.q. elek-trische energie. Dit is mogelijk omdat rubber een hoge verbrandingswarmte heeft. Voor het huidige Nederlandse bandenoverschot (zeg  $40 \times 10^3$  ton



per jaar) zouden — volgens berekening naar analogie met buitenlandse gegevens — ca. 13 ovens met een jaarcapaciteit van  $3 \times 10^3$  ton nodig zijn [113]. Volgens deze studie kan dit een economische oplossing voor de problematiek van afgedankte autobanden opleveren. Een bijdrage aan de Nederlandse energievoorziening is het maar in zeer beperkte mate.

- Het verbranden van autobanden (en afvalolie) in elektrische centrales is technisch en organisatorisch mogelijk. Het is echter ook bij de huidige brandstofprijzen niet rendabel [114].

### Textiel

Geregenereerde textielafvalen vinden in hoofdzaak hun weg naar de textielindustrie, de papierindustrie en de poetskatoen- en poetsdoekenbedrijven. De afzet van linnen aan de papierindustrie is sinds 1950 aanzienlijk teruggelopen omdat het gebruik bij de papierfabrikage sterk is verminderd. Daarnaast betrof het vooral de fabrikage van balatum, een goedkoop vloerbedekkingsmateriaal, waarnaar in onze welvaartsstaat vrijwel geen vraag meer is [115].

Voor uit textielafvalen gesorteerde, nog bruikbare kleding is vooral in Arabische en Afrikaanse landen nog belangstelling. Inzameling en sortering geschiedt door charitatieve instellingen en er is zelfs een levendige commerciële export van gedragen kleding naar vooral de Derde Wereld. Hierin vindt de oud-textiel branche zijn voornaamste inkomstenbron. Hier tegenover staat ook een vrij aanzienlijke import, hoofdzakelijk voor de fabrikage van poetskatoen en poetslappen. Niet alleen zuiver katoenen afvalen kunnen hiervoor worden gebruikt, maar ook bepaalde synthetische materialen. De import van textielafvalen beliep in 1972 in ons land  $41 \times 10^3$  ton, de export  $62,5 \times 10^3$  ton.

Als gevolg van de sterk gestegen wolprijzen op de wereldmarkt heeft in de laatste jaren de afzet van wollen linnen een sterke opleving te zien gegeven. Regeneratie geschiedt door bijgemengde kleinere hoeveelheden plantaardige vezels te verwijderen door een carbonisatie-procédé. Het materiaal wordt gedrenkt in verdund zwavelzuur, gevolgd door verhitting tot  $80-90^\circ\text{C}$  en uitkloppen van de verpulverde plantenvezels. Vrijwel alle moderne wollen kleding bevat echter synthetische vezels om de slijtageweerstand te vergroten. Scheiding van zulke mengsels is veel moeilijker, voorzover zulk een regeneratiemethode zinvol zou zijn. Er is in de literatuur weinig over te vinden. De levensduur van dergelijke mengsels is overigens al veel groter dan in het geval van geheel natuurlijk materiaal.

### Afvalolie

Volgens [116] ontstaat in Nederland jaarlijks ca.  $80 \times 10^3$  ton afvalolie (w.o.  $33 \times 10^3$  ton van voertuigen en  $21 \times 10^3$  ton van de industrie). Deze wordt thans in hoofdzaak verbrand in elektrische centrales (zie ook

onder *Rubber*). Qua kosten en milieubelasting valt regeneratie ongunstiger uit [117].

Hoofddoel is het voorkomen van water- en bodemverontreiniging door directe lozing van smeer- en systeemolies in de grond, in de riolering of op het oppervlaktewater. Het inzamelen zou kunnen worden georganiseerd volgens een EEG-aanbeveling die een accijns op nieuwe olie voorstelt, gecombineerd met subsidie op het ter bevoegder plaatse aanbieden van afgewerkte olie [118].

### Andere categorieën afvalstoffen

Enkele belangrijke andere categorieën zijn afvalstoffen uit de agrarische industrie en de veehouderij en slib afkomstig van waterzuiveringsinstallaties. Hergebruiksmogelijkheden in de sfeer van de materialenvoorziening zijn hier zeer beperkt, wel zijn er mogelijkheden t.a.v. de voorziening met voedsel en energie. Wij zullen daarom in het kader van deze studie met enkele opmerkingen volstaan.

In 1970 ontstond er ca.  $250 \times 10^3$  ton aan afvalen van veilingen en land- en tuinbouwbedrijven [119]. Een deel (ca. 25%) daarvan kon weer als veevoeder worden gebruikt. Voor het overige werd het afval zoveel mogelijk gecomposteerd of verbrand.

Een bijzondere plaats nemen de afvalprodukten van een aantal agrarische en aanverwante industrieën in. Deze problematiek wordt de laatste jaren integraal bestudeerd [120]. Er wordt gezocht naar mogelijkheden voor het winnen van voedingsstoffen (veevoeder, eiwit, voedergist) uit het afvalwater. Een inventarisatie van principiële mogelijkheden vindt men in [121]. Hop en bostel uit bierbrouwerijen worden al vrijwel geheel als veevoeder gebruikt. De pulp en melasse uit de suikerindustrie worden vanouds als waardevolle grondstoffen benut. Door de moderne methoden van veehouderij is het probleem van grote regionale mestoverschotten ontstaan. Deze zouden elders, in mestarme gebieden, wel weer goed van pas komen, maar het transport en de distributie lonen niet. Oplossingen moeten in een groter verband worden onderzocht. Hieraan wordt o.a. gewerkt door de coördinatiecommissie MEGISTA van de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (NRLO-TNO).

In 1971 produceerden de Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties  $115 \times 10^3$  ton slib (berekend als droge stof). In de toekomst zal deze hoeveelheid nog enkele malen groter worden. Veel gestabiliseerd slib wordt thans als grondverbeteraar (plantsoenen) gebruikt. De verwerking van deze groeiende hoeveelheden wordt problematisch; men denkt aan verbranden [119] en composteren [123].

### 7.2.3. Gemengde afvalstoffen

Het betreft hier heterogene afvalstoffen, waarvan bepaalde componenten voor terugwinning in aanmerking komen. Dit omdat zij weer in een produktieketen kunnen worden ingevoerd of omdat hun afzondering uit het afvalmengsel de verdere verwerking of verwij-



dering daarvan vergemakkelijkt. Hieronder zijn te rekenen:

- huishoudelijke en bedrijfsafval: huisvuil, grof-vuil, tuinvuil, veeg- en marktafval, afval uit kantoren, winkels, kleinere bedrijven enz.;
- grof huisvuil en sloopafval: hieronder vallen enerzijds afgedankte meubelen, vloerbedekking, huishoudelijke apparaten enz.; anderzijds bouwafval, puin, verontreinigde grond enz., zowel van industriële als van huishoudelijke herkomst;
- verschillende moeilijk verwerkbare, in hoofdzaak chemische afvalstoffen, afkomstig uit de chemische industrie, laboratoria en tal van bedrijven die van chemicaliën gebruik maken.

#### Huishoudelijk afval

De omvang van dit afval bedraagt ca.  $4,5 \times 10^6$  ton per jaar [119]. De samenstelling hangt sterk af van plaats van herkomst en jaargetijde. Een globaal gemiddelde voor huidige omstandigheden wordt gegeven in Tabel 17. Sinds 1950 is het aandeel van papier sterk toegenomen.

**Tabel 17.** Globale samenstelling huishoudelijk afval in Nederland [104]

	Aandeel in %
Papier - Karton	22 — 33
Textiel - Lompen - Touw	1,5 — 2,5
Glas	9 — 16
IJzer - Blik	3 — 4
Stenen - Aardewerk	1 — 4
Plastic	5 — 6
Brood	1 — 3
Tapijten - Matten etc.	0,4
Leder - Rubber	0,5
Hout	0,5 — 1
Groente- Fruitafval	—
Ondefinieerbare rest	35 — 50

Gescheiden inzameling van bruikbare componenten zou hergebruik (en verwerking van het dan onbruikbare overige afval) sterk vereenvoudigen. Incidentele proeven met vrijwillige gescheiden inzameling van oud papier [123] en glas [124] hebben de mogelijkheid hiervan duidelijk aangetoond. Toch zijn hierbij ook twijfels ontstaan omtrent doelmatigheid en haalbaarheid op langere duur.

In de V.S. probeert men, oud papier en karton zoveel mogelijk door handelaren en liefdadige instellingen te laten ophalen. Tevens voert men veel afval zoals tuin- en keukenafval en stof via een mechanische verkleiner in de gootsteen af in het riool [125]. Uiteraard zijn de beschikbaarheid van voldoende goedkope energie en van voldoende rioolwaterzuiveringscapaciteit hiervoor voorwaarde. De rest van het afval, die door de gemeentelijke reinigingsdiensten wordt ingezameld, zou zich dan beter lenen voor toepassing van verdere scheidingstechnieken.

*Scheidingstechnieken voor huisvuil* bevinden zich nog in een experimenteel stadium. De situatie is complex omdat het onderzoek zich in eerste instantie moet richten op de optimale herbruikbaarheid van een zo groot mogelijk deel van het afval, maar tegelijkertijd ook op de verschillende mogelijkheden voor toepassing op huisvuil van bekende scheidingsprincipes. Tenslotte moet voor het onvermijdelijke onbruikbare scheidingsresidu een economisch en milieutechnisch verantwoorde bestemming worden gevonden.

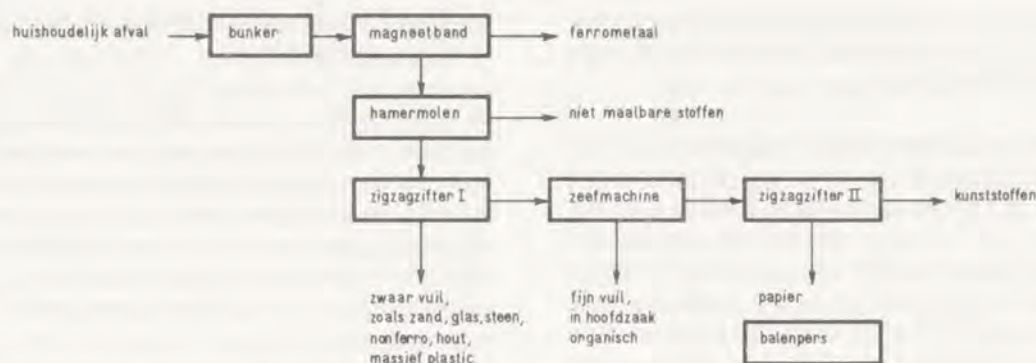
Men kan de scheiding langs natte en langs droge weg uitvoeren. In het eerste geval begint men met de verpulping van het afval met water. In Franklin (V.S.) werkt een proeffabriek volgens het Black-Clawson procédé, dat in principe is gebaseerd op de papierfabrikage [126]. De proeffabriek zou qua capaciteit het afval van een stadje met 20.000 inwoners kunnen verwerken. Na het digeren van het afval met water kan ongeveer de helft van de papiervezels (in de V.S. 50 - 60% van het huisvuil) worden teruggewonnen. Dit materiaal is overigens inferieur aan de pulp van oud papier welke thans door de handel nog ruimschoots kan worden geleverd. Ook de blik- en glasbestanddelen kunnen worden afgezonderd; de restanten kunnen dan worden verbrand.

Voor Nederlandse omstandigheden komt deze methode niet zonder meer in aanmerking, omdat hier het papieraandeel lager is (<25%) en omdat relatief grote hoeveelheden proceswater nodig zijn die niet zonder een goede, energie-intensieve zuivering kunnen worden geloosd. Het energieverbruik bedraagt ongeveer  $540 \times 10^6$  J per ton huisvuil.

De andere mogelijkheid — scheiding langs droge weg — kan worden uitgevoerd m.b.v. een windziftmethode. Het huisvuil wordt dan in tegenstroom met een krachtige luchtstroom door een reeks van kolommen gevoerd [127, 128]. Zware componenten (metalen, glas, steen enz.) worden zo gescheiden van lichte (papier, kunststoffen enz.) en kunnen vervolgens ook weer onderling worden gescheiden. Figuur 12 geeft een schema van dit proces. TNO ontwerpt thans een proefinstallatie met een capaciteit van 10 ton per uur.

Het ligt voor de hand, deze methode als primaire scheidingstechniek verder te ontwikkelen voor de Nederlandse situatie, eventueel in combinatie met geëigende natte procédé's ter verdere verwerking van de papierfractie. Papiervezels, schroot en glas zouden als grondstof voor bepaalde processen dienen te worden ingezet; voor verwerking van de overige fracties kan men aansluiting zoeken bij reeds bekende methoden, zoals composteren en verbranden. Uiteraard zijn deze bekende methoden zelf ook in verdere ontwikkeling; zo heeft het US Bureau of Mines veel onderzoek verricht naar de winning van metalen en glas uit de as van huisvuilverbrandingsinstallaties [129]. Ook wordt gewerkt aan verbeterde technieken van malen, breken en zeven van gemengd afval, ter verkleining van het stortvolume en ter vergemakkelijking van compostering.





Figuur 12. Schema van de huisvuilverwerking volgens het windziftprincipe [128]

Bij het beoordelen van de praktische levensvatbaarheid van de windziftmethode dient men vooral de bruikbaarheid en afzetmogelijkheden van de papierfractie centraal te stellen. Daarom wordt er hier wat dieper op ingegaan. Men mag er van uitgaan dat de resulterende papierfractie wel enigszins vergelijkbaar is met het direct ingezamelde oud papier. De praktijk zal echter moeten aantonen hoe deze verhouding zal zijn. Als de papierprijs hoog is, bevat het stedelijk afval er minder van. Bij lage prijs neemt het papieraandeel weer toe, maar gewonnen papier is dan uiteraard moeilijk af te zetten. Mechanische scheidingssystemen zouden een vaste hoeveelheid bont papier van relatief lage kwaliteit in de markt brengen. Er bestaat wel perspectief voor de afzet hiervan. Ruw geschat kan de helft van het in Nederland geproduceerde papier worden gerecirculeerd. De grenzen worden daarbij gesteld door kwaliteits- en produktietechnische eisen. Op het ogenblik wordt ook inderdaad ca. 50% ingezameld. Hiervan wordt echter 4/5 gerecirculeerd en 1/5 uitgevoerd. Er is dus ruimte ter grootte van 10% van de Nederlandse papierproductie. Daarnaast is het zo dat de Scandinavische landen bij hun papierproductie meer oud papier willen gaan toepassen (thans is dit weinig), zodat zij hun inkomsten uit export van primair materiaal kunnen vergroten [130]. Onze export van oud papier kan dus ook groeien. Voorts kan men ook onderzoeken of het recirculeren van oud papier door (produktie-)technische en commerciële veranderingen verder kan worden opgevoerd<sup>11)</sup>.

Maar zelfs wanneer het afzetgebied er is moet nog een ander probleem worden opgelost. De schommelingen in de prijs van bont papier ontstaan doordat het voornamelijk tot verpakkingsmateriaal wordt verwerkt. Aangezien een producent zal zorgen dat de verpakking niet het knelpunt is voor de afzet van zijn produkt, zal hij bij een aantrekkelijke markt ruim verpakkingen bestellen en bij een teruglopende markt lang op zijn voorraden kunnen teren. Een mechanisch scheidingssysteem blijft echter bij dalende prijzen

evenveel — of zelfs meer, i.v.m. het dan toenemende papieraanbod in het huisvuil — oud papier in de markt pompen. Op die manier zit men dus met een inflexibel systeem in een extreem conjunctuurgevoelige markt. De enige oplossing is het ontwikkelen van een vaste basistoepassing voor het door scheidingsapparaten gerealiseerde aanbod.

Tenslotte zal ook in algemene zin moeten worden nagegaan of de consequenties voor de bedrijfstak oud papier van het op grote schaal installeren van scheidingsapparatuur aanvaardbaar zijn [104].

*Compostering* is een vanouds in ons land op grote schaal toegepaste vorm van hergebruik. Door de Vuilafvoermaatschappij (VAM) wordt ca. 15% van het Nederlandse huisvuil in de installaties te Wijster (Drente) en Mierlo (Noord-Brabant) verwerkt volgens het Van Maanensysteem. Daarnaast bestaan in enkele gemeenten nog kleine composteringsinstallaties. Bij de compostering worden de organische bestanddelen van het afval door fermentatie in humusrijke producten omgezet en het grove materiaal uitgezeefd. De compost vindt uitgebreide toepassing ter verbetering van de structuur van de bodem, vooral in de bloementeel en de tuinbouw en voor het aanleggen van parken en plantsoenen. Populair is dit produkt echter niet in de Nederlandse agrarische sector, vanwege de mogelijke aanwezigheid van zware metalen in een te hoge concentratie. Op het moment is er aan meer compost geen behoefte. Er zou een redelijke markt kunnen bestaan als in ons land nog voldoende te ontginnen woeste gronden waren. Daarnaast is het niet-composteerbare gedeelte van het huishoudelijke afval geleidelijk toegenomen van 10-15% in 1950 tot circa 50% in 1970. Daardoor zijn de gemeentelijke compostbedrijven vrijwel verdwenen, en zijn de beide VAM-bedrijven niet meer in staat al het aangevoerde materiaal te verwerken. Noodgedwongen wordt een aanzienlijk deel rechtstreeks gestort [21].

Een bezwaar van de compostering betreft de langdurige procesvoering (circa een half jaar bij het Van Maanen-proces) — waardoor zeer grote terreinen nodig zijn — en ook het feit dat het niet composteerbare materiaal toch ook weer moet worden gestort of verbrand. In de V.S. is de belangstelling voor composteringstechnieken groeiende, mede omdat onderzoek

<sup>11)</sup>. Zou men overigens meer houthoudend papier kunnen afzetten dan kan men juist met minder grondstof toe omdat het rendement van de produktie hiervan groter is dan voor de houtvrije kwaliteit.



heeft aangetoond dat tijdens de fermentatie verschillende moeilijk afbreekbare pesticiden vrijwel volledig worden afgebroken [131].

*Verbranding van huishoudelijke afvalstoffen* zou men kunnen beschouwen als een vorm van hergebruik ten behoeve van de energievoorziening. Terecht is echter door Schuur [132] opgemerkt dat de hoeveelheid energie die uit stedelijk afval kan worden gewonnen, uiterst beperkt is. Hij berekende dat zelfs wanneer 60% van alle stedelijke afval in ons land zou worden verbrand, de maximaal te verkrijgen energie niet meer dan 0,4% bedraagt van de totale energieconsumptie. In werkelijkheid wordt momenteel in ons land ca. 25% van het stedelijke afval verbrand. Het spreekt vanzelf dat men de daarbij vrijkomende warmte zo goed mogelijk tracht te benutten voor de produktie van stoom of elektrische energie, al kan de opbrengst van deze energie alleen bij zeer grote installaties ( $> \text{ca. } 250 \times 10^3$  ton per jaar) de extra kosten van het verbrandingsproces dekken.

De wezenlijke reden waarom verbranding van huishoudelijke afvalstoffen wordt toegepast, is het gebrek aan ruimte voor het gecontroleerd storten, vooral in gebieden met een hoge bevolkingsdichtheid. Door verbranding wordt het afval tot ca. 7% van het oorspronkelijke volume en tot ca. 22% van het gewicht gereduceerd. Het residu is betrekkelijk compact en geschikt voor het ophogen van terreinen of als onderlaag voor trottoirs, parkeerplaatsen enz., zodat het uiteindelijk op de stortterreinen te deponeren afval zeer beperkt kan zijn.

Van de overige mogelijke huisvuilverwerkingsmethoden kan nog worden genoemd de pyrolyse [133]. Dit levert echter nog minder energie op dan verbranding. Bovendien gelden ook hier de al onder kunststoffen en rubber (par. 7.2.2.) genoemde bezwaren van de noodgedwongen te kleine schaal van de procesvoering en van de reeks uiteenlopende (en deels zeer onplezierige) resulterende produkten. Het te storten residu van de pyrolyse heeft ook een groter volume dan in het geval van verbranding [132, 134].

Het winnen van schroot uit de as van afvalverbrandingsinstallaties geschiedt in Nederland al lang. In samenwerking met de overheid wordt thans onderzocht of blik beter vóór de verbranding uit huisvuil kan worden afgezonderd [135]. Door de verhitting diffundeert een deel van het tin namelijk in het staal en het is er dan moeilijk meer uit te verwijderen (al is het inmiddels op laboratoriumschaal gelukt, de verbrandingscondities zo te kiezen dat deze diffusie vrijwel wordt onderdrukt [136]). Men wil het vóór de verbranding afgescheiden blik eerst onttinnen en tin en staalschroot apart verkopen. Dit biedt betere economische perspectieven. In augustus 1976 is in Mierlo een proefinstallatie voor de blikseiding in bedrijf gesteld die de gehele huisvuilstroom van Eindhoven en omgeving (ca.  $120 \times 10^3$  ton/jaar) zal gaan ontijzeren. Het gewonnen blik zal worden gereinigd en onttind. Het

jaarlijkse Nederlandse blikafval werd voor 1975 op  $80 \times 10^3$  ton geschat [137].

*Ter afsluiting en samenvatting* kan worden vastgesteld dat er op laboratoriumschaal veel mogelijkheden voor het hergebruiken van (componenten van) huisvuil zijn aangetoond, maar dat het economisch en technisch integreren van hierop te baseren systemen met een ongestoorde afvalverwerking in grote hoeveelheden ( $2 \text{ tot } 3 \times 10^5$  ton per jaar) veel minder eenvoudig is.

De ontwikkeling van afzetmarkten en aanvullende technieken, stabilisering van prijzen (vooral die van oud papier<sup>12)</sup>) en gunstige vestigingsplaatsen voor verwerkingsinstallaties zijn noodzakelijke voorwaarden voor verantwoorde verwerking en benutting van huishoudelijk afval op grote schaal [134].

#### *Grof huisvuil en sloopafvallen*

Grof huisvuil betreft voornamelijk afgedankt meubilair, vloerbedekking, huishoudelijke apparaten enz. Men kan de ijzer- en staalfractie hiervan magnetisch scheiden en via een versnipperingsinstallatie als schroot hergebruiken. In een enkel geval kan men door een eenvoudig inwisselsysteem voorkomen dat bruikbare afvallen op de stortplaatsen terechtkomen. Een bekend voorbeeld is de regeneratie van fluorescentiebuizen die door de fabrikant kan worden uitgevoerd vrijwel zonder enig materiaalverlies, voorzover de buizen in goede staat worden ingeleverd. Er wordt ook veel nog bruikbaar materiaal (bijv. meubilair) langs de straat gezet, maar dat vindt vaak nog wel een volgende eigenaar.

Sloopafvallen en puin worden gebruikt voor wegverhardingen, voor het dempen van sloten en het ophogen van terreinen; hierbij is meer sprake van een voor de hand liggende vorm van gecontroleerd storten dan van hergebruik.

Een lastig probleem zal in de toekomst gaan ontstaan als de vele na de oorlog gebouwde flatgebouwen moeten worden opgeruimd. De sloopkosten zijn hoog: f 300,— tot f 400,—/m<sup>3</sup> beton [139]. Men zou dit materiaal kunnen gebruiken bij de aanleg van dijken (IJsselmeerpolders of opgespoten stukken bij de Nederlandse kust in de Noordzee).

#### *Moeilijk verwerkbare, milieuvervuilende of gevaarlijke afvalstoffen*

Deze zijn afkomstig uit de chemische, metaal-, en elektrotechnische industrie, laboratoria van onderwijsinstellingen en researchinstituten, en van tal van bedrijven die van chemicaliën gebruik maken. Hergebruik van zulke industriële bij- en afvalprodukten vindt om economische redenen op grote schaal in de Nederlandse industrie plaats. Soms is hergebruik echter

<sup>12)</sup> Het bouwen van opslagloodsen voor oud papier met financiële hulp van de overheid is een stap in die richting [138].



niet mogelijk, omdat de hoeveelheden te gering zijn of omdat het oorspronkelijke materiaal zo goedkoop is dat reinigen of opwerking van de afvalstoffen niet rendabel is. Deze afvalstoffen kunnen dan, voorzover dit redelijk acceptabel is, worden gestort hetzij in het water, hetzij op het land: afgewerkte zuren, basen, oplosmiddelen etc., gebruikte filteraarde, actieve kool, bleekaaarde, katalysator-residuen, metaalslib van galvanische bedrijven enz. Bepaalde materialen mogen volgens de milieuwetgeving niet zonder vergunning worden verwerkt of gestort in oppervlaktewater, c.q. op of in de bodem. De lijst van zulke materialen zal in de toekomst nog worden uitgebreid. Hierdoor kan zich in ons land een recuperatie- en eliminatiebranche ontwikkelen voor dergelijke stoffen. Deze bedrijven mogen door speciale vergunningen zulke afvalstoffen verzamelen, transporteren en verwerken.

Door de Stichting Verwijdering Afvalstoffen werd in 1972 bij ruim 3900 Nederlandse bedrijven gevraagd naar aard en hoeveelheid van diverse chemische afvalstoffen die binnen de bedrijven niet konden worden hergebruikt. Het bleek daarbij te gaan om tenminste  $453 \times 10^3$  ton/jaar, te verdelen over 24 categorieën [140]. De belangrijkste verwerkingsmogelijkheden zijn:

- verbranding (voorzover de afvalstoffen brandbaar zijn);
- ontgiften, neutraliseren en ontwateren (vooral ter behandeling van metaalbaden uit anodiseer- en galvaniseerbedrijven);
- lozen in de Noordzee (o.m. zuren en basen);
- gecontroleerd storten.

In een enkel geval kan een ander bedrijf bepaalde afvalstoffen wellicht nog gebruiken. Hiervoor is de Afvalbeurs van de Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI) waardevol. Daar kunnen zulke contacten tot stand komen.

## 8. Literatuur

- [1]. D. Meadows; De grenzen aan de groei. Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen, 1972.
- [2]. M. Mesarović, E. Pestel; De mensheid op een kruispunt. Agon/Elsevier, Amsterdam/Brussel, 1974.
- [3]. J.W. Brinck; An illustrative example of normal growth from a modified dynamic world model. *Eurospectra*, vol. III (1974), No. 2.
- [4]. A.M. Bateman; Economic mineral deposits. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1949.
- [5]. C. Marchetti; Technology assessment for energy needs of the world. Int. Inst. for Appl. Syst. Analysis (IIASA), Laxenburg, Oostenrijk, 1974.
- [6]. C. Marchetti; Primary energy substitution models: On the interaction between energy and society. IIASA, 1975.
- [7]. Mineral resources and the environment. Comm. on Min. Resources and the Env. (COMRATE); Comm. on Nat. Resources; Nat. Research Council. Uitgave US Nat. Ac. of Sciences, Wash. D.C., 1975 (zie p. 49 e.v.).
- [8]. S.G. Lasky; Mineral industry futures can be predicted. *Eng. and Mining Journ.*, **156**, sept. 1955.
- [9]. H.E. Goeller, A.M. Weinberg; The age of substitutability, or: What do we do when the mercury runs out? *Science and Public Policy*, **2** (1975), No. 11, 479-92.
- [10]. D.J. de Solla Price; Little Science, Big Science. Columbia Univ. Press, New York/London, 1963 (4e druk, 1971).
- [11]. M. Kenward; How to cook the energy accounts? *New Scientist*, **66** (1975), No. 946, 205.
- [12]. A.A. de Boer; Energie-analyse van de energieproductie. *De Ingenieur*, **87** (1975), No. 48, 56-60.
- [13]. A.A. de Boer; Energie vandaag en morgen (hoofdstuk 6). Kluwer, 1974.
- [14]. W. van Gool; Energie-analyse: betekenis en organisatie. *Chemisch Weekblad*, **71** (1974), No. 1, 8-9.
- [15]. Energy Budgets, een serie van vier artikelen van P.F. Chapman, G. Leach, M. Slessor en D. Wright in *Energy Policy*, **2** (1974), No. 2/3/4; **3** (1975), No. 1.
- [16]. E. Hirst; How much overall energy does the automobile require? *Automotive Engineering*, **80** (1972), No. 7, 36 e.v.
- [17]. G. Leach; The motor car and natural resources. OECD, Report ENV (72) 28, Parijs, 1972.
- [18]. R.S. Berry en H. Makino; Energy Thrift in packaging and marketing. *Technology Review*, **76** (1974), No. 4, 33-43.
- [19]. P.F. Chapman; The ins and outs of nuclear power. *New Scientist*, **64** (1974), No. 928, 866-9.
- [20]. E. Lelyveld; An address to the Council of the European Chemical Industry Confederation, 12 maart 1975.
- [21]. R. Steiner; De ontwikkeling van de energie- en grondstoffenvoorziening in de chemische industrie. *Ned. Chem. Industrie*, No. 15/16, 13 augustus 1975, 335-8.
- [22]. G.A. Wagner; Chemie — het grondstofprobleem. *De Ingenieur*, **86** (1974), No. 43, 835-40.
- [23]. A.A. de Boer; Een wereldplan voor energie. *Economisch Statistische Berichten*, **59** (1974), No. 2954, 469-71. Zie voorts: A.A. de Boer; Structuurnota en Energiepolitiek. *Economisch Statistische Berichten*, **61** (1976), No. 3067.
- [24]. Energy analysis, workshop report. Report No. 6, IFIAS, Nobel House, Stockholm, 1974.
- [25]. M. Slessor; Energy — The Ultimate Resource. Lezing voor het Fifth Int. Symp. of the Science Policy Foundation, Eindhoven, 18/19 september 1975.
- [26]. The Data Base, The potential for energy conservation in nine selected industries. Prep. by Gordian Associates for US FEA, Wash. D.C., 1974.



- [27]. R.A. Herendeen; An energy input-output matrix for the USA 1963. CAC Document 69; Centre for advanced computation, Urbana, Illinois.
- [28]. P.F. Chapman, G. Leach en M. Slesser; The energy cost of fuels. *Energy Policy*, 2 (1974), No. 3, 236.
- [29]. S. Koorn en M.J. Stoffers; Accumulated energy consumption per industrial sector; in *Energy conservation, ways and means*. Publikatie 19, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag, 1974, 144.
- [30]. J. Kistemaker; Energie-analyse van de totale kernenergie-cyclus gebaseerd op lichtwater reactoren. FOM - Instituut voor Atoomonderzoek en Molecuulfysica, Amsterdam, 1975.
- [31]. F. Roberts; Energy Consumption in the production of materials. *Metals and Materials*, March 1974, 167-73.
- [32]. *Material Needs and the Environment*. Final Report of the US National Commission on Materials Policy, 1973. US GPO, Wash. DC, Stock No. 5203 - 00005.
- [33]. P.F. Chapman; The energy costs of materials. *Energy Policy*, 3 (1975) No. 1, 47-57.
- [34]. J.W.M. Steeman; Schriftelijke mededeling, 10-11-1975.
- [35]. R. Dubos, B. Ward; Only one earth. The care and maintenance of a small planet. New York, 1972, 225 pp.
- [36]. R.F. Dasmann, J.P. Milton, P.H. Freeman; *Ecological principles for economic development*. London, 1973, 252 pp.
- [37]. M.T. Farvar, J.P. Milton; The careless technology; ecology and international development; Record of the conference on the ecological aspects of international development, December 8-11, 1968, Warrenton, Virginia. Garden City, 1030.
- [38]. J.G. ten Houten e.a.; Air pollution, Proceedings of the first European Congress on the influence of air pollution on plants and animals, Wageningen, 22-27 april, 1968. Wageningen, 1969, 415 pp.
- [39]. F.M. Maas; Toekomstmodel voor natuur en landschap; een bijdrage tot een goed milieubeheer. Baarn, 1971, 126 pp.
- [40]. Stiboka; Bodemkaart van Nederland. Wageningen, 1964.
- [41]. J. Verwey; Het milieu en de koelwatertemperaturen van elektrische centrales. Reeks Stichting Natuur en Milieu, No. 2, 1972, 102 pp.
- [42]. Grenzen in zicht; Natuur en milieu over de oriënteringsnota ruimtelijke ordening. Reeks Stichting Natuur en Milieu, No. 3, 1973, 105 pp.
- [43]. J. Swart (red.); Rivierdijkverzwaring; een aanslag op het landschap. Reeks Stichting Natuur en Milieu, No. 6, 1974, 55 pp.
- [44]. A.P.A. Vink (red.); Criteria voor milieubeheer; verslag van de studieconferentie: Criteria voor Milieubeheer in het dichtstbevolkte land van Europa, 14 t/m 16 oktober, 1970, Universiteit van Amsterdam. Utrecht, 1971, 180 pp.
- [45]. H.A. Visser; Het Nederlandse Landschap; een typologie ten behoeve van het milieubeheer. Utrecht, 1972, 155 pp.
- [46]. A.D. Voûte, J.F. de Vries Broekman; *Natuurbeheer in Nederland*. Hand- en Leerboek der bestuurswetenschappen, dl. 19, Alphen a.d. Rijn, 1973, 219 pp.
- [47]. B. Goudzwaard; *Ongeprijsde schaarste*. Van Stockum, Den Haag, 1970.
- [48]. P. Connelly, R. Perlman; *The politics of scarcity*. Oxford University Press, London, 1975.
- [49]. E. Cook; The depletion of geologic resources. *Technology Review*, 77 (1975), No. 7, 15-27.
- [50]. D.W. Pearce, ed.; *The economics of natural resource depletion*. MacMillan Press, London, 1975.
- [51]. R. Huëting; *Nieuwe schaarste en economische groei* (dissertatie). Agon/Elsevier, Amsterdam, 1974. Zie o.a. pag. 88-90.
- [52]. J.B. Opschoor; *Economische waardering van milieuverontreiniging* (dissertatie). Van Gorcum, Assen, 1974. Zie o.a. pag. 1-15.
- [53]. H.M.A. Jansen, G.J. van der Meer, J.B. Opschoor en J.H.A. Stapel; Een raming van schade door luchtverontreiniging in Nederland in 1970. Verkenningen van het IvM - VU, serie A, No. 8, Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam, 1975.
- [54]. *Environmental damage functions: their estimation and utilization*. Environmental Directorate, OECD, Parijs (in voorbereiding).
- [55]. *Economic implications of pollution control, a general assessment*. OECD studies in resource allocations, No. 4, Parijs, 1974.
- [56]. *Economische gevolgen van bestrijding van milieuverontreiniging*. Centraal Planbureau, Den Haag, 1975.
- [57]. L.H. Klaassen en T.H. Botterweg; *Projectevaluatie en imponderabele effecten: een schaduwprojectbenadering*. In P. Nijkamp (red.): *Milieu en Economie*, UPR, Rotterdam, 1974.
- [58]. *De toekomstige beschikbaarheid van metalische materialen*. Advies no. 53, Nationale Adviesraad voor Ontwikkelingssamenwerking, Den Haag, juni 1975.
- [59]. R.G. Wilkinson; *Armoede en vooruitgang: een ecologisch model van de economische ontwikkeling*. Het Spectrum, Utrecht, 1973.
- [60]. J.A. van der Kuil, J.H.M. Pieters; *De optimale levensduur van producten*. Te publiceren in *De Ingenieur*, 1976.
- [61]. *Levensduurverlenging als mogelijkheid van efficiënt grondstoffenverbruik*. Bijdragen symposium 5 september 1974, Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Den Haag.
- [62]. P. de Wolff; *Economisch-technologische gevolgen van de schaarste*. Nederland en de grenzen aan de groei. Het Spectrum, Utrecht, 1975, 20-8.
- [63]. R.G. Ridker, ed.; *Population, Resources and the*



- Environment. Commission on Population Growth and the American Future, US Government Printing Office, Washington, 1972.
- [64]. W. Isard et al.; Ecologic-economic analysis for regional development. MacMillan, London, 1972.
- [65]. P.E. Becker and H.J. Pick; Resource implications of materials waste in engineering manufacture. Resources Policy, March 1975, 142-53.
- [66]. B.L. Averbach; Educating engineers to deal with materials shortages. Technology Review, June 1975, 37-41.
- [67]. B.H. Dyson; efficient utilisation of materials — one answer to our balance of payment problems. Proceedings Conf. on Conservation of Materials, Harwell, UK, 26/27 March 1974, British Nat. Comm. On Materials; Inst. of Chem. Engineers.
- [68]. H.H. van den Kroonenberg; Methodisch ontwerpen. De Ingenieur, **86** (1974), No. 47, 915-23.
- [69]. J.M. Dirken; Industrieel ontwerpen als heterogeen beslissingsproces. De Ingenieur, **86** (1974), No. 42, 809-13.
- [70]. C.E. Hollis; Proficiency with polymers. Proc. Symp. on Chemistry and the needs of society. Special publ. no. 26, The Chemical Society, Burlington House, London, 1974, 149-76.
- [71]. H.R. Howland; The helium conservation question. Technology Review, June 1975, 42-9.
- [72]. H.J. Pick and P.J. Becker; Direct and indirect uses of energy and materials in engineering and construction. Applied Energy, **1** (1975), 31-51.
- [73]. P.F. Chapman; Energy costs of producing copper and aluminium from primary and secondary sources. Harwell Conf. Proc. 1974, 125-36 (zie [67]).
- [74]. F. Roberts; Material resources conservation — a strategy for action. Resources Policy, June 1975, 204-12.
- [75]. J.A. Over; Algemene overwegingen en aanbevelingen van de Amerikaanse studiegroep „Materials Conservation through Technology”. De Ingenieur, **88** (1976), No. 34/35.
- [76]. H.H. van den Kroonenberg; Een bijdrage voor een Algemene Ontwerpmethode. De Constructeur, sept. 1975, 51-9.
- [77]. A. Leyer; Maschinenkonstruktionslehre, Heft 2. Birkhäuser, Stuttgart, 1964.
- [78]. M. Ersoy; Optimierung von Kraftleistungsstrukturen. Konstruktion, **26** (1974), 325-30.
- [79]. Kivenson; Durability and reliability in engineering design. Pitman Publ. Co, 1972, London.
- [80]. „Ontwerp en Onderhoud”. Symposiumverslag Symp. 8/9 december 1970, Lunteren.
- [81]. C. Lipson; Wear consideration in design. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1967.
- [82]. D.J. Smith; Maintainability engineering. Pitman Publ. Co, 1973, London.
- [83]. P.J. Gellings; Corrosie en corrosiebestrijding. Dictaat TH Twente, 1970.
- [84]. R.S. Berry and M.F. Fels; The production and consumption of automobiles: an energy analysis of the manufacture, discard and re-use of the automobile and its component materials. Report to the Illinois Institute for Environmental Quality, July 1972.
- [85]. J.C. Bittence; Designing for the energy crisis. Machine Design, 4 April 1974, 94.
- [86]. H.J. van der Schroeff; Kosten en Kostprijen. Kosmos, Amsterdam/Antwerpen, 8e druk, 1974.
- [87]. D. Pothmann; Möglichkeiten und Grenzen des Recycling von Papierabfälle. Mühl und Abfall, No. 4, 1974.
- [88]. J.A. van der Kuil; Recirculatie en hergebruik van afvalstoffen. Cursus vaste afvalstoffen en Openbare Reiniging 1972/73. Stichting Postacademiale Vorming Gezondheidstechniek, Delft.
- [89]. T. Teeuwen; Verwijdering en hergebruik van afvalstoffen. Cursus Industrie en Milieu; Milieuhygiëne en Milieubeheer, 1973, PBNA, Arnhem.
- [90]. A. Darnay; Recycling — assessment and prospects for success. US Env. Prot. Agency, 1972.
- [91]. Resource recovery and source reduction. 1st and 2nd Report to Congress, US Env. Prot. Agency, 1974.
- [92]. A.A. Nijkerk; De recuperatie, **7** (1973), No. 2; **9** (1975), No. 3; **10** (1976), No. 2.
- [93]. M. Henstock; Resources Policy, maart 1975, p. 171.
- [94]. J.E. Gordan; The new science of strong materials. Pelican book A 920 (1968); 1-269.
- [95]. Hergebruik van verpakkingsglas, Rapport Stichting Verwijdering Afvalstoffen, juni 1974. D.J. van Duren; Glas als verpakkingsmateriaal, Verkenningen van het Instituut voor Milieuvraagstukken aan de Vrije Universiteit van Amsterdam, Serie A, Economische aspecten, nr. 10, 1974.
- [96]. Ned. Chem. Ind., **17** (1975), p. 378.
- [97]. Quarles van Ufford; Diss. Delft, 1963.
- [98]. A.D. Watt; I.E.E.E. Spectrum, November 1972, p. 59.
- [99]. H. Kölbel en J. Schulze; Chemiker Ztg., **95** (1971), p. 305.
- [100]. N.W.F. Kossen en H.J.A. Wouda; De Ingenieur **84** (1972), p. A822.
- [101]. B. Bolin; Energy and climate. Swedish Secretariat for Future Studies, Stockholm, Nov. 1975. W. Bol; Chem. Weekblad, **70** (1974), No. 23, p. 23. L. Machta; Nobel Symposium on the changing chemistry of the oceans. Gotenburg, augustus 1971. M.J. Frissel; Energie- en mineraalbalans van Nederlands agro-ecosysteem. Chemisch Weekblad, 15 aug. 1975, no. 32/33, 11-4. C. Boelhouwer; Stroom en kringlopen van energie en materie, een technologisch perspectief. TNO Project 1974, No. 12, 470-8.



- [102]. C.G.E. van Rooy (CBS); Persoonlijke mededeling d.d. 16-12-1975.
- [103]. De oud-papiermarkt. De Recuperatie, 9 (1975), No. 4, p. 23-8.  
M. Buyten, in een lezing op de Najaarspapier-technische dag 1971, publ. nr. 445, Min. van Economische Zaken.  
G.H. van Dorth; De Ingenieur, 86 (1974), No. 7, p. 130.
- [104]. J.A. van der Kuil; Enige overwegingen omtrent het hergebruik van afvalstoffen; SVA rapport 1498 (1975).
- [105]. Nota Stichting Industriebout/Vereniging van Nederlandse papierfabrikanten aan de Staten-Generaal en de Regering d.d. 3-1-1974.  
De Nederlandse houtproductie in het kader van een grondstoffenpolitiek.  
H.A. van de Meiden; Economisch Statistische Berichten 18-9-1974, p. 812-5; Te weinig bos in Nederland.
- [106]. R.H. Shreve; The chemical process industries, MacGraw Hill, 1945, p. 627.
- [107]. C.D. Callihan; Chem. Eng. (1970), p. 160.  
Plastic Afvalbehandeling in Japan. Tokio-Nieuws nr. 57, Juli 1972.
- [108]. W.C. Fergusson; Plastic recovery and its commercial alternatives, Autumn Business Meeting, Bristol, October 1974.
- [109]. Afgedankte autobanden. SVA-rapport 1569 (1975).
- [110]. R.B. Knill en J.P. Urbon; Future trends in tire technology. Tire disposal, Symp. Intern. Rubber Study Group, Ottawa, September 1971, doc.4.
- [111]. Zeplichal; Die Verwertung von Altreifen. ISWA Inform. Bull, No. 6, December 1971, p. 105.
- [112]. Chem. Eng. News (1970), June 8, p. 12.
- [113]. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 18 (1973), p. 28. Mens en Milieu III, Kringlopen van Materie.
- [114]. Oude autobanden nog geen rendabele brandstof. Financieel Dagblad, 8-7-1975.
- [115]. R. Kalfus; De recuperatie, 7 (1973), No. 2, p. 25.
- [116]. Rapport inzake de verwijdering van afvalolie, Werkgroep Afvalolie, 1971.
- [117]. Ministerie Volksgezondheid en Milieuhygiëne; Memorie van Toelichting Wet Chemische Afvalstoffen, 1975.
- [118]. D.B. Harries; Keeping the oil in circulation. Recl. Ind. Int. March/April 1974.
- [119]. Jaarverslag 1970 Stichting Verwijdering Afvalstoffen.
- [120]. M.E. Kronenberg; Landbouwkundig Tijdschrift 84 (1972), p. 388.
- [121]. Regelen inzake huishoudelijke afvalstoffen, autowrakken en andere categorieën van afvalstoffen (Afvalstoffenwet). Staatsuitgeverij, Den Haag, 1975.
- [122]. Das technische Umweltmagazin, Okt. 1973. Ref. in [10, b].
- [123]. Aktie „Papier Apart“ te Zaandam. Rapport SVA nr. 297, juli 1972. G.H. van Dorth; De Ingenieur, 86 (1974), No. 7, p. 130.
- [124]. Hergebruik Verpakkingsglas. SVA rapport nr. 506 C, juni 1974. Glas en Milieu, Uitgave N.V. Verenigde Glasfabrieken Schiedam, 1973.  
J. Mertens; De SPAR glasactie, Reclame- of Milieuobject.  
A. Hoek, Ons milieu in scherven. Technisch Maandblad voor de Gemeentereiniging, september 1973.
- [125]. R.E. McKinsey en J.L. Mahlock; Economic evaluation of garbage grinding vs. surface collection. Water and Sewage Works, ref. nr. R. 54 (1971).
- [126]. Black Clawson Hydrasposal — Fibreclaim solid waste recycling plant, Franklin (Ohio) U.S.A.  
P.G. Marok; 57th Ann. Meeting Can. Pulp and Paper Assoc., Montreal Jan. 1971, Paper T 21.  
SVA-rapport 383; Enkele belangrijke aspecten inzake toepassing van het Hydrasposal - Fibreclaim proces. November 1972.
- [127]. R.A. Boettcher; Air-classification for reclamation processing of solid waste. ASME Publ. No. 69 - WA/PID-9.  
C.B. Kenahan; Bureau of Mines Information circular nr. 8529 (1971).  
W.F. Carr; Paper Trade J. 17 (1971), p. 48.
- [128]. F.J. Colon; Het TNO-scheidingssysteem van huishoudelijk afval. De Ingenieur, 86 (1974), No. 7, p. 131.
- [129]. U.S. Bureau of Mines, College Park Metallurgy Research Centre, Publication of Solid Waste Research.
- [130]. G.A. Schoonkind; persoonlijke mededeling; 16-1-1976.
- [131]. I.W.W. Rose en W.A. Mercer; Fate of insecticides in composted agricultural wastes; Progress Rep. I, Western Res. Lab., Nat. Canners Assoc., Berkeley, California, July 1968.
- [132]. G. Schuur; Notitie: Energie-winning uit stedelijk afval door verbranding of pyrolyse. Technische advies-commissie NVFK, 27-6-1975.
- [133]. C.G. Golueke; Abstracts and excerpts from the solid waste literature I and II (1968 - 1969); Abstracts, excerpts and reviews of the solid waste literature III, IV and V [1970 - 1972], Sanitary Eng. Res. Lab., Univ. of California; Berkeley, U.S.A.  
C.G. Golueke; Critical Reviews in environmental control, May 1973, p. 261 - 301.
- [134]. Symposium Resource Recovery for Municipal Solid Waste (National Center for Resource Recovery, Washington, USA), 13-11-1974, Voorburg, en 14-11-1975: Vuilverbranding Rijmond.
- [135]. H. Muller; Experimentele installaties om blik, tin, papier, plastic en alcohol te winnen. Miljoenenproject om grondstoffen aan huisvuil te onttrekken. De Telegraaf, 23-1-1976.
- [136]. C.A. Verbraak; De relatie tussen grondstoffen en energieproblematiek. Lustrumbuch Vereniging Isaac Newton 70-75, TH-Twente, 1975, pp.



55-62.

- [137]. Terugwinning verpakkingsblik, SVA-rapport 1175 (1975).
- [138]. Plan voor herstel van papierkringloop. NRC/Handelsblad, 28-10-'75.
- [139]. Waar laten wij straks het beton van onze flatgebouwen? Financieel Dagblad, 30-11-1973, p. 1.
- [140]. Beknopt overzicht van soorten en hoeveelheden chemische afvalstoffen na afronding van het tweede landelijke onderzoek, SVA-rapport 1305 (1976) Deel II, p. 11.



## Hoofdstuk 4. Metalen - Enkele voorbeeldstudies

### 1. Inleiding

door **drs. J.M.M. van Kemenade**  
en **ir. J.L. Oudesluys**

#### *Internationale factoren*

Algemeen kenmerkend voor de metalen is dat het aanbod in veel gevallen sterk is geconcentreerd in een beperkt aantal landen (zoals in het geval van aluminium, koper en tin). De produktie is kapitaal- en/of energie-intensief en vereist grote projecten waarvan de voorbereiding veel tijd vergt. De elasticiteit van het aanbod is op korte termijn dus niet erg groot. Daarentegen is de vraag conjunctureel gevoelig. Grote prijsverschillen zijn daarvan het onvermijdelijke gevolg <sup>1)</sup>. Op lange termijn gezien zal het totale verbruik in de wereld van deze grondstoffen verder toenemen. Het verbruik ervan in een bepaald land blijkt nauw te correleren met de graad van economische en industriële ontwikkeling. Uit de cijfers van Tabel 1 blijkt de invoerafhankelijkheid van de westerse (geïndustrialiseerde) landen.

**Tabel 1.** De verhouding van produktie en consumptie van metaalertsen in de wereld [1]

	Produktie (%)	Consumptie (%)
Westerse (geïndustrialiseerde) landen	30	65
Communistische landen	25	25
Ontwikkelingslanden	45	10
	100	100

Voor ontwikkelingslanden met een omvangrijke mijnbouw wordt het belang daarvan geïllustreerd in Tabel 2. Naast de bijdrage tot het binnenlands produkt en de werkgelegenheid komt vooral de betekenis voor de

export naar voren. De kapitaalintensiteit van de mijnbouw blijkt uit de relatief lage percentages voor het aandeel in de werkgelegenheid.

**Tabel 2.** Bijdrage van de mijnbouwsector <sup>1)</sup> tot bruto binnenlands produkt (BBP), werkgelegenheid, en goederenexport, voor een aantal ontwikkelingslanden, in 1969, 1970 of 1971, in procenten <sup>2)</sup>

	Aandeel BBP	Aandeel werk- gelegenheid	Aandeel goederen- export
Zambia	41,6	15,5	97,5
Suriname	33,2	6,3	92,0
Mauretanië	30,2	0,7	76,4
Liberia	29,0	13,5	75,0
Bolivia	27,0	3,5	90,0
Gabon	26,2	—	—
Guyana	19,0	—	53,2
Sierra Leone	15,6	1,0	85,0
Jamaica	11,6	3,7	55,3
Chili	10,8	3,2	89,0
Indonesië	9,1	0,2	10,5
Zaire	9,0	16,0	82,0
Peru	7,8	2,4	39,0
Maleisië	6,3	—	21,7
Marokko	4,4	0,7	31,0
Botswana	2,7	—	4,6

<sup>1)</sup> Exclusief fossiele energiedragers.

<sup>2)</sup> Bron: Diverse V.N. statistieken; voor Suriname: Centrale Bank van Suriname, Verslag over 1971, Paramaribo, 1972. Deze cijfers omvatten ook de verwerking van bauxiet tot aluinaarde.

Het belang van een aantal belangrijke metaalertsen voor de grondstoffenarme EEG-landen blijkt uit Tabel 3.

**Tabel 3.** Overzicht van het belang voor en de afhankelijkheid van de EEG van een aantal minerale grondstoffen [2]

Produkt	Toepassing	Voornaamste produktielanden	Wereld-reserve	Consumptie	Afhankelijkheid der Eur. Gemeenschap	Huidige ontwikkeling
IJZER	grondstof voor staalindustrie	zeer verspreid over gehele wereld		175 miljoen ton in Eur. Gem. in 1972	75%	Verdubbeling van wereldvraag te verwachten binnen 15 jaar
KOBALT	super-alliage (vliegtuigbouw en werktuig-machines)	1. Zaire 55% 2. Canada 3. Zambia		Eur.Gem. 1970: 60 x 10 <sup>6</sup> dollar import, waarvan 60% weer uitgevoerd 17.000 ton	100%	- weinig afdoende vervangingsmogelijkheden

<sup>1)</sup> Aluminium uitgezonderd.



TIN	grondstof van metaal-emballage (conservenblik)	1. Maleisië 2. Bolivia 3. Thailand 4. Indonesië 5. Nigeria WP <sup>1</sup> ) 200.000 ton 90%	5 x 10 <sup>6</sup> ton - Sovjet-Unie - China - Birma	Eur.Gem. 1972: 24.500 ton (30% WC <sup>1</sup> )	Erts 95% Metaal 80%	- int. akkoord met buffervoorraden - zeven producenten vormen Int. Tinraad - er zijn vervangingsmogelijkheden: glas, aluminium, plastic - terugwinning is omvangrijk
MAGNESIUM	lichte alliages: - vliegtuigbouw - elektronische industrie	1. Ver. Staten 2. Sovjet-Unie 3. Noorwegen		Eur.Gem. 1972: import 70 x 10 <sup>6</sup> \$	Import 20% Europa 80%	- momenteel weinig problemen
MANGAAN	80% in metaal-industrie (verbetering staalkwaliteit)	1. Zuid-Afrika 2. Gabon 3. Brazilië 4. Australië 5. India	Sovjet-Unie	Eur.Gem. 1972: 2,8 x 10 <sup>6</sup> ton	Erts 100% Metaal 15%	- evolutie naar prijsstabilisatie van mangaan en ferro-mangaan door produktielanden - lage prijzen garanderen geen rendabele exploitatie in ontwikkelingslanden
KWIK	- elektrolyse - elektrotechniek - verven - landbouw	1. Spanje 2. Sovjet-Unie 3. Italië 4. Mexico 5. China 6. Joegoslavië	1. Spanje 2. Sovjet-Unie 3. Joegoslavië 4. Turkije	1. Eur.Gem. 2. Ver. Staten 3. Japan 4. Sovjet-Unie gezaamenlijk 75%	Erts 60% Metaal 25%	- terugwinning - daling van het verbruik wegens normen tegen milieuvervuiling
KOPER		1. Chili 2. Peru 3. Zambia 4. Zaïre  - Canada - Australië - Ver. Staten - Sovjet-Unie	CIPEC <sup>2</sup> ) = 30%  37%		- voor 65% import uit CIPEC-landen - 35% terugwinning	- De Ver. Staten en de Sovjet-Unie gebruiken volledig de eigen produktie. De vier grootste produktielanden zijn verenigd in de CIPEC
BAUXIET	grondstof voor aluinaarde, vervolgens aluminium	1. Australië 2. Jamaica 3. Suriname 4. Guyana 5. Guinea gezaamenlijk 60%	85%		- 57% import - 17% eigen EG-prod. - 25% terugwinning	- Tussen vijf grootste producenten is overleg gaande voor onderling akkoord
WOLFRAAM	- werktuigmachinebouw - gloeilamp-industrie - ruimtevaart - kernenergie	- Canada - Ver. Staten - Brazilië - Thailand - Bolivia - Australië	- China 55% - Sovjet-Unie en Korea 20%	Eur.Gem.: 100.000 ton per jaar	95% (erts)	- weinig afdoende vervangingsmogelijkheden - bijprodukt van andere mineralen: de produktie kan daarvoor beïnvloed worden - overleg gaande over internationaal akkoord

<sup>1</sup>) WP = wereldproduktie; WC = wereldconsumptie.

<sup>2</sup>) CIPEC = Intergouvernementele Raad van de koper exporterende landen.



Op de Nederlandse afhankelijkheid van de invoer van metaalertsen is in Hoofdstuk 2 al ingegaan in de bijdrage van drs. van Tuinen c.s.

Juist de grondstoffen voor de belangrijkste non-ferro metalen (koper, aluminium) worden grotendeels gewonnen in een aantal ontwikkelingslanden (zie Tabel 3). De verdere verwerking vond tot dusver vooral plaats in de gebieden met grote afzetmarkten, bijzondere omstandigheden (zoals de behoefte aan goedkope energie voor aluminiumraffinage) uitgezonderd. Thans wordt echter uit de produktie- en verbruikscijfers van de afgelopen jaren de tendens merkbaar, deze verwerking in toenemende mate in ontwikkelingslanden te laten plaatsvinden. Drijfveren hiervoor zijn politieke overwegingen, bevolkingsgroei en welvaartstoename in delen van de Derde Wereld.

#### *Produktie en verbruik van non-ferro metalen*

Tabel 4 geeft de Nederlandse produktie van de belangrijkste non-ferrometalen in 1964 en 1974 in vergelijking met die van West-Europa en de Verenigde Staten van Amerika.

**Tabel 4.** Produktie van non-ferro metalen in Nederland, West-Europa en de Verenigde Staten van Amerika, in 1964 en 1974 ( $10^3$  ton geraffineerd metaal; afgeronde cijfers)

	Nederland		West-Europa		Verenigde Staten	
	1964	1974	1964	1974	1964	1974
Aluminium	—	250	1200	3300	2315	4450
Koper	—	—	1085	1445	1805	1940
Lood	17	26	910	1260	535	750
Zink	38	68	970	1710	930	575
Tin	16	—	46	24	4	6

De produktie van geraffineerde metalen in Nederland geschiedt uit ingevoerde grondstoffen, m.u.v. lood uit schroot en bullion. Deze grondstoffen komen niet in de Nederlandse bodem voor, behoudens de afzettingen van natrium-, magnesium- en kaliumzouten in het oosten en het noorden van het land. De natriumchloride-afzettingen worden reeds tientallen jaren gewonnen voor de produktie van keukenzout. Er wordt in Nederland geen natrium-metaal geproduceerd; het betreft hier een speciale technologie met een grote

energiebehoefte, terwijl de markt klein is. Eventuele ontwikkeling en toepassing van met dit metaal gekoelde kweekreactoren voor nucleaire energie zou het verbruik in Europa na de tachtiger jaren aanzienlijk doen toenemen.

De ontsluiting van onze magnesiumzoutafzettingen bevindt zich in het beginstadium. Het is wel de bedoeling, magnesiumoxyde (een belangrijke grondstof voor vuurvast materiaal) te gaan produceren. Het metaal zal hier niet worden geproduceerd, hoewel de betekenis er van aanzienlijk zal toenemen. De produktie van magnesium vergt zeer veel energie, welke uit ons aardgas zou moeten worden opgewekt. Zoals bekend is men thans zuiniger geworden op de hiervan beschikbare reserves.

Magnesium, broom, kalium (bestanddeel van kunstmest) en — in principe — uranium kunnen uit zeewater worden gewonnen. Voor de beide eerstgenoemde materialen gebeurt dit reeds op commerciële schaal, o.a. in Noorwegen ( $45 \times 10^3$  ton magnesium in 1975).

De produktie van aluminium uit klei is technisch mogelijk. De beschikbare voorraden Nederlandse klei lijken echter te beperkt voor het op langere termijn voeren van een voldoende groot bedrijf. Tabel 5 geeft het verbruik van de non-ferrometalen in 1964 en 1974 voor Nederland, West-Europa en de V.S., alsmede de gemiddelde jaarlijkse groei van dit verbruik.

Onder verbruik wordt hier verstaan de omvang van de verwerking van geraffineerd metaal tot halffabrikaten. Dit kan afwijken van de finale consumptie in de vorm van eindprodukten. Men kan aannemen dat in grote gebieden als West-Europa en de Verenigde Staten van Amerika de omvang van de verwerking en de finale consumptie ongeveer met elkaar overeenkomen. Het beeld van ons land wijkt hiervan af. Een belangrijk deel van het Nederlandse nationaal inkomen bestaat immers uit de toegevoegde waarde, verkregen door het omzetten van ingevoerde grondstoffen in exportprodukten. Het werkelijke binnenlandse verbruik kan worden afgeleid uit in- en uitvoercijfers en voorraadmutaties. Deze gegevens vindt men in Hoofdstuk 2.

De sterke groei van het aluminiumverbruik in Nederland (zie Tabel 5) is het gevolg van de vestiging van halffabrikaten-bedrijven in aansluiting op de twee in ons land geïnstalleerde aluminiumsmelters. Het aluminiumverbruik in West-Europa en de Verenigde Staten heeft eveneens een forse groei te zien gegeven. Dit

**Tabel 5.** Verbruik en gemiddelde jaarlijkse groei van enkele non-ferro metalen in Nederland, West-Europa en de Verenigde Staten van Amerika ( $10^3$  ton/jaar geraffineerd metaal; afgeronde cijfers)

	Nederland			West-Europa			Verenigde Staten		
	1964	1974	Groei (%)	1964	1974	Groei (%)	1964	1974	Groei (%)
Aluminium	22	110	17,5	1535	3385	8,2	2535	5105	7,3
Koper	32	37	1,5	2175	2665	2,1	1690	1955	1,5
Lood	50	41	-2,5	1185	1385	1,6	725	1030	3,6
Zink	32	33	0,3	1280	1769	3,1	1090	1175	0,8
Tin	3,5	4,5	2,5	65	72	1,0	60	54	-1,1



metaal is betrekkelijk recent qua grootscheepse industriële toepassing, zodat mogelijkheden zich ten dele nog in het ontwikkelingsstadium bevinden <sup>2)</sup>. Belangrijke toepassingsgebieden zijn: bouw, machinebouw, elektrotechniek, carrosseriebouw (zowel weg- als railvoertuigen), verpakkingsmaterialen en huishoudelijke artikelen.

De toename van het verbruik van de overige in de beschouwing betrokken metalen is veel kleiner en soms zelfs negatief geweest, ondanks de toename in de afgelopen periode van de welvaart en de algemene industriële activiteit. Dit is in ieder geval mede het gevolg van marktverzadiging, concurrentie door andere materialen (o.a. kunststoffen), zuiniger gebruik door verfijnde toepassingstechnieken (o.a. elektrolytisch vertinnen of verzinken met dunnere lagen) en — in de elektrotechniek — miniaturisering (o.a. transistorisering). Overigens treden — afhankelijk van prijsverhoudingen — ook onderlinge verdringen op (bijv. tussen zink en koper, tussen koper en aluminium en tussen tin en aluminium).

Uiteraard hebben al deze ontwikkelingen hun grenzen. Zij vormen dan ook niet de enige verklaring voor de genoemde trage groei van het verbruik. In Nederland is in de afgelopen decennia het bezit aan vaste goederen, min of meer duurzame gebruiksgoederen, vrijetijdsbestedingsartikelen, etc. sterk toegenomen. Men denke aan auto's, caravans, woningen en tweedehuiswoningen met bijbehorende uitrusting als centrale verwarming, keukens met roestvrij stalen aanrechten, koel- en diepvrieskasten, afwasmachines, televisie- en radio/stereo apparatuur. Blijkbaar is deze ontwikkeling gepaard gegaan met een relatief laag verbruik van deze metalen in de meeste der genoemde produkten. Een eventuele toename kan dan vrij snel worden gecompenseerd door de eerdergenoemde invloeden.

Zoals door dr. Brug reeds werd gesteld in Hoofdstuk 2 is het verbeteren van prognosetechnieken op het gebied van landelijk materiaalverbruik van groot nut. Het begrip verbruiksintensiteit <sup>3)</sup> van materialen kan in combinatie met een nationale bevolkingsprognose misschien bruikbaar zijn om de toekomstige materialenconsumptie — indien geen storingen optreden — van landen beter te kunnen schatten. Men vindt vaak dat de verbruiksintensiteit van een materiaal in een land bij toenemend Bruto Nationaal Produkt (BNP) per hoofd eerst toeneemt om dan in een industrieel volgroeiende economie te gaan dalen tot een bepaald niveau.

De verbruiksintensiteit van een materiaal moet echter met voorzichtigheid worden gehanteerd. Het gebruik voor het opstellen van prognoses is vermoedelijk alleen effectief als het materiaal een beperkt toepas-

<sup>2)</sup> Dit geldt ook voor magnesium, dat zijn plaats grotendeels nog moet vinden.

<sup>3)</sup> De verbruiksintensiteit (intensity of use) van een materiaal voor een bepaald land kan worden uitgedrukt als de verbruikte hoeveelheid per eenheid Bruto Nationaal Produkt (BNP) in een bepaald jaar.

singsgebied heeft, zoals non-ferro metalen. Heeft men te maken met zeer verschillende toepassingsgebieden met uiteenlopende groeikarakteristieken dan ontstaat het bovengeschetste eenvoudige verloop in de tijd niet (bijv. hout als constructiemateriaal en als grondstof voor papier).

## 2. Tin <sup>4)</sup>

door prof. ir. H.J. de Wijs

### 2.1. Geschiedenis

Tinerts werd reeds 3000 v. Chr. gedolven, o.a. in Mesopotamië, China en Egypte. Opmerkelijk is ook het vroege gebruik van tinerts als toevoeging bij het smelten van kopererts ter bereiding van brons. De oudste bewaard gebleven bronzen voorwerpen bevatten ca. 10% tin; tegenwoordig is dit omstreeks 6%. Ca. 1100 v. Chr. bedreven de Feniciërs uitgebreid handel in tin uit Cornwall en Spanje. De bloeitijd van de tinwinning in Europa lag in de 15e en 16e eeuw (Cornwall, Eertsgebergte van Sachsen en Bohemen, Spanje en Portugal). Toen de Portugezen in 1511 in Malakka landden vonden zij daar een door Chinezen bedreven, bloeiende tinwinning en het gebruik van tin als muntmetaal.

Een eeuw geleden was de betekenis van tin in verhouding tot die van ijzer, koper, zink en lood beduidend groter dan thans. In 1900 waren Malakka, Ned. Oost-Indië en Bolivia met resp. 51, 21 en 11% van de wereldproduktie van  $85 \times 10^3$  ton de grootste tinproducenten. De wereldtinproduktie bereikte een hoogtepunt van  $250 \times 10^3$  ton in 1941. De jaarlijkse groei van de produktie is aldus voor de periode 1900-1941 gemiddeld 2,7% geweest. De Japanse bezetting van de Z.O.-Aziatische gebieden leidde tot een sterke vermindering ( $94 \times 10^3$  ton in 1945). In 1957 had de produktie zich weer hersteld tot bijna  $200 \times 10^3$  ton per jaar, waarna ze wederom terugliep. Ditmaal als gevolg van de dekolonisatie van Maleisië en Indonesië en de nationalisatie van de grotere tinmijnen in Bolivia. Van 1959 tot heden is de produktie met horten en stoten weer toegenomen tot ca.  $230 \times 10^3$  ton per jaar. Belangrijk was daarbij de toegenomen produktie in communistische landen.

Het huidige globale beeld is dat van een tinwinning die in sterke mate is geconcentreerd in ontwikkelingslanden — waar in vele gevallen de tinproduktie een hoog percentage van het bruto nationaal produkt vertegenwoordigt — en in de communistische landen (waar echter de produktie niet geheel het eigen verbruik dekt).

<sup>4)</sup> Deze paragraaf is een selectie uit een uitgebreidere studie, welke kan worden aangevraagd bij de afdeling Mijnbouwkunde aan de Technische Hogeschool te Delft.



## 2.2. Voorkomen en reserves

### Tinmineralen

Cassiteriet ( $\text{SnO}_2$ ) — „tinsteen“ — is het tinmineeraal dat vrijwel uitsluitend de economische grondslag van de tinindustrie vormt. Mineralogisch zuivere cassiteriet uit alluviale afzettingen bevat als regel 75,0% tin. Van belang voor de natuurlijke concentratie van cassiteriet uit verweerde primaire afzettingen (tingordels en -provincies) zijn het hoge soortelijke gewicht, de grote hardheid en het gebrek aan splijting. Daarnaast bezit cassiteriet een grote weerstand tegen chemische aantasting door de atmosfeer. Dit complex van eigenschappen bevordert de concentratie door stromend water van cassiterietkorrels in secundaire, alluviale afzettingen (placers) van het zogenaamde stroomtin. Dit stroomtin is thans economisch belangrijker dan het primaire gangtin. Deze alluviale voorkomens zijn ontstaan door erosie van primair materiaal (aders, gangen, etc.).

In de buitenste continentale aardkorst is de gemiddelde concentratie van tin niet hoger dan ca. 2,2 gram per ton; de Clarke-waarde is 2,2 (ppm)<sup>5)</sup>. De spreiding van tinvoorkomens in graniet is overigens zeer ruim: van < 1 ppm tot > 100 ppm. De Clarke-waarde van tin is te vergelijken met die van wolfram, molybdeen en uranium, terwijl het metaal volgens deze maatstaf zeldzamer is dan bijv. thorium, kobalt en gallium.

### Tingordels en -provincies

De belangrijkste zijn:

- De Sino-Maleisisch-Indonesische tingordel. In 1974 vertegenwoordigde de mijnbouw binnen deze gordel 57% van de wereldtinproductie (48% zonder China).
- De Boliviaanse tingordel strekt zich uit over 900 km vanuit het noorden van Argentinië door geheel Bolivia. De ruggegraat van deze gordel is een Miocene granodiotietketen. In 1974 leverde deze tingordel 13% van de wereldproductie.
- De Centraal-Afrikaanse tinprovincie omvat tinvoorkomens in het zuiden van Zaïre, in Ruanda, Oeganda en Tanzania.
- De Nigeriaanse tinprovincie heeft relatief grote tinreserves, maar is weinig productief. De lage en afnemende productie is vooral te wijten aan binnenlandse problemen.
- De Siberische tinprovincie is pas na 1950 ontsloten. In de periode 1963 - 1973 steeg de productie van Siberië met gemiddeld 4% per jaar tot 24.000 ton in 1973 (11% van de wereldproductie).
- Overige tindistricten. De tinproductie van Australië is in hoofdzaak afkomstig van Tasmanië. In Europa zijn een viertal van de oude tinmijnen van Cornwall heropend; zo ook enkele oude tinmijnen in de DDR en Tsjechoslowakije. In Portugal is tin thans een nevenproduct van wolfram. Omgekeerd is wolf-

raam een nevenproduct van tal van tinmijnen. Het vrijwel ontbreken van tinmineralisatie op het Noordamerikaanse continent veroorzaakt een scheiding tussen producerende en consumerende landen die voor geen ander metaal zo scherp te trekken is.

### Mondiale ramingen van de reserves

In verband met het zo belangrijke aandeel van alluviale tinafzettingen is het gebruikelijk, wereldreserves te geven in termen van tonnages tininhoud van winbaar geachte concentraten. In de US Geological Survey vindt men ramingen van de wereld-tinreserves voor 1973 exclusief USSR, VR China en Oostbloklanden (Tabel 6).

Tabel 6. Geschatte mondiale tinreserves [3]

	Reserve (10 <sup>3</sup> ton)	Productie 1974 (10 <sup>3</sup> ton)	Statische index; jaren t.o.v. 1974
Indonesië	2.398	25,0	96
Maleisië	843	68,1	12
Thailand	1.226	20,3	60
Nigeria	280	5,6	50
Zaïre	198	4,8	41
Bolivia	1.000	29,6	34
Brazilië	610	3,8	160
Australië	191	10,0	19
Overige landen	988	14,8	67
Totaal	7.734	182,0	42,5

Janković [4] geeft aanvullende ramingen van tinreserves voor de USSR van 10<sup>6</sup> ton en voor de VR China van 0,65 x 10<sup>6</sup> ton. Dit brengt de wereldreserve op ca. 9,4 x 10<sup>6</sup> ton redelijk verzekerde tinvoorraad. Het U.S.G.S. [3] voegt hieraan toe een marginale voorraad van 7,5 x 10<sup>6</sup> ton aan erts met een tingehalte beneden het huidige winbare alsmede een globale raming van 13,3 x 10<sup>6</sup> ton tininhoud van vooralsnog onontdekte ertsreserves. Dit zijn reserves die men verwacht te kunnen aantonen vóórdat de redelijk verzekerde plus de marginale reserves uitgeput zullen zijn. Aldus wordt een mogelijk totaal verkregen van ruim 30 x 10<sup>6</sup> ton tin. Deze raming komt overeen met die van W. Gocht [5].

### Levensduur van de reserves

De hiervoor gegeven statische indices steken niet ongunstig af bij een aantal andere belangrijke non-ferro metalen, met name zink en lood (zie de betreffende bijdragen in dit hoofdstuk). Opvallend laag is deze index voor Maleisië (12 jaren). Dit is vooral te wijten aan het ontbreken van exploratie-activiteiten op het continentaal plat, zoals deze worden ontwikkeld in Indonesië en Thailand. Maleisië zal zich zonder zulke inspanningen niet voor lang aan de top van de wereldranglijst van tinproducerende landen kunnen handhaven. Laag is eveneens de statische index van Australië

<sup>5)</sup> Zie Hoofdstuk 2, bijdrage dr. J.W. Brinck.



Tabel 7. Levensduur tinertsvoorraden

	Reserve	Productie 1974	Statische index (jaren)	Exponentiële index (jaren)	
	(10 <sup>3</sup> ton)	(10 <sup>3</sup> ton)		Lage groei (1,1%)	Hoge groei (1,8%)
<i>Redelijk verzekerd</i>					
Westerse wereld	7.734	182,0	42,5	34,9	31,6
Gehele wereld	9.400	233,7 <sup>1)</sup>	40,2	33,3	30,3
<i>Potentieel mogelijk</i>					
Gehele wereld	30.000	233,7 <sup>1)</sup>	128,4	80,2	66,8

<sup>1)</sup> Zie Tabel 8.

(19 jaren), maar hier is dit veeleer te wijten aan een wel zeer intensieve exploitatie, vooral binnen het beperkte areaal van de tinafzettingen van Tasmanië. Hier tegenover staan Brazilië en Nigeria, die buiten de aangetoonde tinreserves nog ruime potentiële mogelijkheden bieden. In Brazilië is de tinwinning in een nog jong ontwikkelingsstadium.

Op grond van de verwachting dat de toekomstige jaarlijkse groei van de tinproductie tussen de 1,1 en 1,8% blijft (zie ook de verbruiksprognoses in par. 2.5.) kan men exponentiële levensduur-indices voor de tinreserves bepalen (Tabel 7).

Vertrouwenwekkend voor de situatie van de wereldtinreserves is de tendentie van de na 1950 gepubliceerde ramingen (voorzover van onderling vergelijkbare opzet en beperkt tot niet-communistische landen) om in chronologische volgorde een stijging te tonen van  $4,9 \times 10^6$  ton [6, 7] in 1950 tot  $7,7 \times 10^6$  ton in 1973 [3]. In de periode 1950 t/m 1973 blijken de tinreserves dus met ten minste  $2,8 \times 10^6$  ton te zijn toegenomen. De werkelijke suppletie heeft echter  $7,3 \times 10^6$  ton bedragen, omdat in de genoemde periode  $4,5 \times 10^6$  ton is geproduceerd (zie par. 2.4.). Dit komt overeen met een gemiddelde jaarlijkse vergroting van de reserves van  $320 \times 10^3$  ton, een hoeveelheid die de jaarlijkse winning ruimschoots overtreft. Op deze grond is het een redelijke verwachting dat zowel de statische, als de exponentiële indices voor de levensduur de eerstkomende decennia zullen stijgen. Dit zal dan wel gepaard gaan met een voortgezette daling van het gemiddelde tingehalte van het erts.

### 2.3. Exploratie en winning

De exploratie heeft weinig specifieke aspecten, behoudens voortdurende inspanningen tot het vinden van onderscheid tussen granieten waarbij al of niet cassiterietmineralisatie is te verwachten. Bij de thans gangbare tingehalten in het erts is de aanwezigheid van cassiteriet ( $\text{SnO}_2$ ) in het algemeen niet met het blote oog of de loop te constateren. Voor alluviale afzettingen is het wasbord (doelang of batea) een bruik-

baar middel. Geochemische analyses direct op tin bieden onvoldoende hulp ( $\text{SnO}_2$  is notoir onoplosbaar). Een aantal tingangen is gevonden door systematisch gesteentegruis in riviervluchten en beken te wassen en vondsten van sporen stroomtin dalopwaarts te volgen. Voor nader onderzoek van mogelijk interessante voorkomens kan gebruik worden gemaakt van geofysische methodes (voornamelijk elektrische metingen voor sulfidische gangen) en van kernboringen.

Voor alluviale afzettingen is de Bankaboor nog steeds het favoriete instrument. Voor onderzoek van de zeebodem en de bodem van baaien en riviermonden zijn de laatste jaren goede resultaten bereikt met acoustisch geofysisch onderzoek met de „Sonia” apparatuur vanaf een varende schip. Sedert 1968 heeft de Bililiton Exploratie Mij. Indonesia sonische exploratie verricht over verdrongen valleien van het Soendaplat en dit onderzoek vervolgd met boorbemonstering. Een onopgelost probleem vormt de exploratie naar de mogelijke aanwezigheid van primaire tinmineralisaties welke worden bedekt door jongere gesteentes, zoals de basaltdekken in Nigeria of tertiaire vulkanieten in de Boliviaanse tingordel.

### Tingehalte van het erts

Het minimaal thans winbare gehalte voor gangtin (de cut-off grade) in ondergrondse winning is doorgaans 0,25 - 0,5% Sn, bij gemiddelde gehalten voor het gebroken erts van 0,4 - 1,0% Sn. Voor de winning in dagbouw en uit grote pegmatietlichamen wordt volstaan met een cut-off van 0,1% en een gemiddeld ertsgehalte van 0,2% tin.

Voor stroomtin in zand- en grind-afzettingen (gravels) is het ongebruikelijk het gehalte uit te drukken in gewichtsprocenten. Men geeft hier het gewicht van cassiteriet of dat van tin zelf per volume-eenheid. Omrekening levert voor tinbaggerbedrijven cut-off gehalten van 0,004 - 0,015% tin bij gemiddelde gehalten van 0,007 - 0,03% tin. Strikt vergelijkbaar met die van tingangen zijn deze omgerekende gehalten niet omdat in het algemeen geen rechtstreekse analyses worden uitgevoerd op monsters van dergelijke alluviale afzettingen.



Het grote verschil tussen de winbare gehalten van gangtin en stroomtin kan in hoofdzaak worden toegeschreven aan de volgende omstandigheden.

- De lage winningskosten van ondiep gelegen gravellagen; er worden zelden explosieven gebruikt en hydraulisch transport is mogelijk.
- De lage concentratiekosten. Daar de cassiterietkorrels kleiner zijn dan die van de overige mineralen wordt reeds een beduidende concentratie bereikt door zeven. De kosten van breken en malen vervallen.
- De alluviale cassiteriet is niet innig vergroeid met sulfidische mineralen en is van nature gezuiverd door chemische verwerking. Dit levert concentraten op van hoge kwaliteit, zonder ongewenste bestanddelen als zwavel, antimoon, arseen, lood, zink of koper.

Het *plaatselijke* cut-off gehalte, alsmede het daaraan gerelateerde gemiddelde ertsgehalte zijn uiteraard — naast het dominante verschil tussen gangtin en stroomtin — mede afhankelijk van andere factoren. Deze factoren kunnen een geografische achtergrond hebben, zoals de ligging van het tinvoorkomen in politieke en sociografische zin, alsmede in relatie tot andere hulpbronnen en infrastructuur. Andere factoren zijn de tinprijs, financieringsmogelijkheden, de economische mogelijkheden die verband houden met de omvang van de winning en de perspectieven voor een goede bedrijfsvoering. De resultante van het samenspel van alle factoren is in het algemeen een gestadige daling van tingehalten van gewonnen erts. Zeer geproforceerd is deze daling voor Bolivia's grootste tinmijn, Llallagua, waar het gehalte van het ondergronds gebroken erts daalde van 7,2% tin in 1929 tot 0,42% in 1970, een exponentiële afname met gemiddeld 7,3% per jaar. Technologische innovatie in de winning en concentratie waren hier de hoofdfactoren. In tegenstelling hiermee daalde het gemiddelde gehalte van de verwerkte alluviale gravel in Maleisië van 0,014% (1940) tot 0,008% (1967). Hier een geringe afname (ca. 2% per jaar) over een periode waarin dan ook weinig technologische vooruitgang in de alluviale tinwinning heeft plaatsgevonden.

#### Winning en concentratie

Winning van primair erts geschiedt overwegend in ondergrondse (hardrock) mijnbouw tot dieptes van enkele honderden meters. Steile ertsgangen worden in het algemeen ontsloten met verticale schachten. De winningsmethode hangt af van o.a. helling en dikte van de ertsgangen.

Concentratie van primair erts op de mijnbedrijven geschiedt ten dele op primitieve wijze volgens werkwijzen ontleend aan de oude praktijk van Cornwall. Waar deze verlaten zijn, is doorgaans de tinopbrengst verslechterd ten gevolge van een te intensief maalproces dat cassiteriet-slik oplevert dat niet meer gravitatief is te behandelen. Plaatselijk vindt een voorconcentratie plaats. De praktijk van de tinconcentratie laat nog

ruimte voor aanzienlijke verbetering van de opbrengsten. Naarmate erts van gestadig lager tingehalte en mineralogisch meer complexe aard werden gewonnen, zijn bijv. de opbrengsten in Bolivia gedaald tot een huidig niveau van minder dan 50%; bovendien daalde het tingehalte der concentraten.

In het geval van alluviaal tinerts zijn winning en concentratie dermate nauw aan elkaar verbonden, dat gezamenlijke beschouwing voor de hand ligt. Deze binding geldt in het bijzonder het tinbaggerbedrijf, waarbij aan boord van de molens wordt geconcentreerd tot een produkt met 40% tin, dat aan de wal verder wordt opgewerkt tot een concentraat met 70-75% tin. Het aandeel van de winning van alluviaal tin in de wereldproduktie is ca. 75%. De ontginning van tingangen is de basis voor het overgrote deel van de resterende produktie. De winning van alluviale graven geschiedt zowel op het land als buiten de kustlijn. Men denke vooral aan het verdrongen Soendaplat van Z.O.-Azië, alwaar voor de kust van Thailand reeds in

Tabel 8. Mijnproduktie van tinconcentraten in 1974 (10<sup>3</sup> ton tininhoud) [9]

	Produktie	% van wereldproduktie
Azië <sup>1)</sup>	115,3	49,3
Indonesië	25,0	10,7
Maleisië	68,1	29,1
Thailand	20,3	8,7
Burma	0,6	0,2
Afrika	15,8	6,8
Nigeria	5,6	2,4
Rhodesië	0,6	0,3
Ruanda	1,3	0,6
Z-Afrika	2,5	1,1
Zaire	4,8	2,1
Amerika	36,4	15,6
Bolivia	29,6	12,7
Argentinië	2,0	0,9
Brazilië	3,8	1,6
Europa <sup>1)</sup>	4,5	1,9
Engeland	3,2	1,3
Spanje	0,4	0,2
Portugal	0,7	0,3
Australië	10,0	4,3
Communistische landen	51,7	22,1
USSR	29,5	12,6
DDR	1,2	0,5
VR China	20,0	8,6
Wereld-totaal	233,7	100

<sup>1)</sup> Zonder communistische landen.



1907 de eerste zeewaardige tinbaggermolen in bedrijf werd gesteld.

Clarke [8] heeft gewezen op de huidige marginale rentabiliteit van het tinbaggerbedrijf door de stijging van de directe bedrijfskosten der laatste jaren. De schaalexponent en andere factoren zijn niet ten gunste van een verdere vergroting van emmerbaggermolen.

De hydraulische tinwinning beperkt zich tot het vasteland en maakt gebruik van waterkanonnen (monitors of giants genaamd) die met een spuitdruk van 5-10 atm. de grond losmaken, zodat deze gemengd met het water kan worden geleid naar een installatie voor verdere concentratie.

Tabel 8 bevat gegevens over de verdeling van de concentratie-productie in 1974.

## 2.4. Productie van het metaal

### *Het tinsmeltbedrijf*

Tin wordt vrijwel geheel langs pyrometallurgische weg bereid. Het produceren van handelstin is te verdelen in de volgende vijf stappen.

- Waar nodig na-zuivering van laagwaardige mijnconcentraten door roosten en/of logen, eventueel gevolgd door magneetscheiding.
- Thermische reductie, overwegend uitgevoerd in vlamovens met steenkool, antraciet, cokes, olie of aardgas.
- Nabehandeling bij 1480°C van de primaire tinslakken, met gewoonlijk 10-25% tin, in vlamovens van eenzelfde type. Aan de charge wordt ijzerschroot (eventueel in de vorm van blikafval) en kalk toegevoegd.
- Raffinage van het ruwe tin, dat doorgaans niet meer dan 97% tin bevat. Alleen bij het smelten van hoogwaardige concentraten uit alluviale winning met meer dan 70% tin kan worden volstaan met omsmelten even boven het smeltpunt van tin en het polen met groen hout om verontreinigingen af te scheiden en zo de handelsnorm van 99,75% voor „London Standard Tin” te bereiken. In andere gevallen wordt thermische en soms elektrolytische raffinage toegepast. Thermische raffinage dient vooral ter verwijdering van ijzer; elektrolyse ter eliminatie van resten arseen, antimoon, bismut, koper en lood.
- Het gieten van geraffineerd tin in baren, voorzien van een merkteken en de naam van de smelter; de tinschuitjes.

Vlamovens genieten de voorkeur vanwege de mogelijkheid tot het snel aftappen van het gesmolten tin. Gegevens over het rendement, als percentage tinopbrengst, worden versluierd door het gebruikelijke toevoegen van tinhoudend schroot tijdens de herbehandeling van tinslak. Ook produceren sommige smeltbedrijven — vooral die in de geïndustrialiseerde landen — niet alleen handelstin, maar ook tinlegeringen.

Tot 1962 vond het leeuwedeel van de wereld-tinproductie plaats in de geïndustrialiseerde landen. Nadien zijn deze bedrijven meer en meer gevestigd in de tinproducerende landen van de Derde Wereld en die van het Oostblok (Tabel 9).

**Tabel 9.** Productie en verbruik in de wereld van primair tin in 1974 [10]

	Productie (%)	Verbruik (%)
OECD-landen	8	68
Communistische landen	22	26
Ontwikkelingslanden	70	6

### *Productie van primair tinmetaal*

Op langere termijn bezien, komt de productie van primair tinmetaal uiteraard overeen met de mijnproductie, uitgedrukt als tininhoud van concentraten. Toch is voortdurend een discrepantie te constateren. Voor de 24 jaren van 1951 t/m 1974 zijn de geregistreerde hoeveelheden voor de wereld:

- Mijnproductie tin in concentraat:  $4,696 \times 10^6$  ton
- Productie van primair tinmetaal:  $4,767 \times 10^6$  ton

De oorzaak van de ca. 1,5% hogere opgave van de productie van primair metaal is waarschijnlijk het reeds gesignaleerde wedergebruik van tinhoudend schroot door de smeltbedrijven.

Tin staat bovenaan de ranglijst van belangrijke metalen, voor wat betreft mate van integratie van winning tot metaalproductie binnen het land waarin het erts wordt aangetroffen (Tabel 10).

**Tabel 10.** Mate waarin het erts van diverse metalen verder wordt verwerkt tot metaal in het land van winning (1970) [11]

Metaal	Verdere verwerking in het land van winning (%)
Tin	84
Nikkel	63
Lood	58
Koper	50
Zink	37
IJzer	15
Aluminium	12

## 2.5. Verbruik, nu en in de toekomst

### *Het wereld-tinverbruik<sup>6)</sup>*

Het verbruik van primair tin en het wederverbruik van gerecirculeerd (secundair) tin dient gescheiden te worden beschouwd, ook al vanwege de beperktere

<sup>6)</sup> Gegevens voor Nederland over import, productie en export vindt men in de bijdrage van drs. H.K. van Tuinen en W. van Sorge (Hoofdstuk 2).



toepassingsmogelijkheden van het laatste. Wij signaleerden reeds een discrepantie tussen de mijnproductie en die van de smeltbedrijven i.v.m. de toevoering van tinschroot. Daarnaast waren er in recente jaren lozingen van tin uit de strategische voorraad van de VS en mogelijk uit de buffervoorraad van de International Tin Council en uit nog andere voorraden. Dit leidde tot een geregistreerd wereldverbruik van primair tin over de periode 1964 t/m 1974 van gemiddeld  $233,6 \times 10^3$  ton/jaar, tegen een gemiddelde productie van  $213,1 \times 10^3$  ton/jaar.

### Toepassingen

De combinatie van specifieke eigenschappen van een metaal bepaalt zijn technische toepassingen. Voor tin treden in dit verband de volgende eigenschappen op de voorgrond:

- laag smeltpunt;
- hoge corrosiebestendigheid;
- pletbaarheid;
- goede legerbaarheid met vele andere metalen;
- afwezigheid van enigerlei toxische werking.

Deze eigenschappen maken tin bij uitstek geschikt voor verpakking van conserven en dranken (in blikken) en andere waren, als verf en cosmetica (in tubes). De tinhoudende legeringen vormen een tweede toepassingsgebied, dat o.a. soldeer, lagermetaal, brons en messing omvat en een aantal gespecialiseerde produkten als babbitt en lettermetaal. Kunstmatig bereid tinoxyde (tinas) wordt gebruikt in glazuur en emaille en als polijst- en reinigingsmiddel. Tinchloride heeft verscheidene toepassingen, o.a. in de kunstzijdeindustrie. In snelle opkomst zijn de organotinverbindingen in desinfectiemiddelen en voor bijv. schimmelwering. Belangrijker nog zijn de mogelijkheden voor organotinverbindingen in de kunststofindustrie, waar zij o.a. toepassing vinden als stabilisatoren in polyvinylchloride (PVC) en als katalysor in de bereiding van siliconen.

De blikfabrikage verwerkt nog altijd veruit het grootste deel van het primaire tin. Deze toepassing is echter zeer kwetsbaar voor vervanging. Tabel 11 geeft bij

wijze van illustratie een overzicht van het tinverbruik in de Verenigde Staten van Amerika, een land waarvoor gedetailleerde gegevens op dit gebied bestaan.

Secundair tin is voor de blikfabrikage en voor een aantal andere toepassingen (o.a. lettermateriaal en tinpoeder) niet bruikbaar. Daarnaast is de terugwinning van tin uit legeringen slechts beperkt mogelijk. De problematiek van de recirculatie en substitutie van tin wordt in de volgende paragraaf aan de orde gesteld.

### Blikfabrikage

Omdat de blikfabrikage ca. 36% van het wereldtinverbruik vertegenwoordigt — de grootste toepassing van tin — wordt hierop wat nader ingegaan. Onder blik wordt verstaan: plaatstaal tot een dikte van ten hoogste 0,49 mm, aan beide zijden zeer dun vertind. Het vertinnen geschiedde van oudsher volgens het dompelproces (hot-dipping) in een bad van gesmolten tin. Tinlaagjes werden opgebracht ter dikte van  $1,54 - 3,09 \mu\text{m}$ , hetgeen overeenkomt met 22-45 gram tin per  $\text{m}^2$ . In 1937 bracht de U.S. Steel Corporation een door haar ontwikkeld elektrolytisch proces voor het vertinnen (electroplating) tot toepassing, dat thans het dompelproces voor meer dan 96% heeft vervangen. Bij deze elektrolytische tinfabrikage hebben de tinplaatjes een dikte van  $0,38 - 1,54 \mu\text{m}$  en wordt  $5,6 - 22,4$  gram tin per  $\text{m}^2$  opgebracht. Dit betekent een besparing t.o.v. het dompelproces van een 50 - 75% van het tingebruik. Bovendien biedt het elektrolytische proces de mogelijkheid laagjes tin van ongelijke dikte aan te brengen aan de beide zijden van het blik.

De invloed van het algemeen toepassen van dit elektrolytische procédé is een jaarlijkse besparing van meer dan  $40 \times 10^3$  ton primair tin, gezien de huidige omvang van de blikproductie. Na de Tweede Wereldoorlog is de blikproductie in de westerse geïndustrialiseerde landen gestegen met 4,4% per jaar. Het daarbij verwerkte tin nam echter met 2,3% per jaar in omvang toe. Gemiddeld wordt ongeveer 45% van de wereldproductie (secundair tin is niet geschikt) aan tin

Tabel 11. Verbruik in  $10^3$  ton van primair en secundair tin in de V.S. (1974) [12]

Toepassing	Verbruik			
	Primair tin	Secundair tin	Totaal	%
Blik	22,7	—	22,7	33,2
Soldeer	12,8	4,9	17,7	25,9
Babbitt	2,3	0,8	3,1	4,5
Brons/messing	3,8	6,2	10,0	14,6
Overige alliages	2,6	1,2	3,8	5,6
Tubes en folie	1,0	—	1,0	1,5
Vertinnen	2,7	—	2,7	4,0
Anodes	0,7	—	0,7	1,0
Chemicaliën	4,6	1,6	6,2	9,1
Overige toepassingen	0,4	—	0,4	0,6
Totaal	53,6	14,7	68,3	100,0



door de blikfabrikage verbruikt. In 1974 bevatte het blik gemiddeld nog slechts 0,58% tin qua gewicht [12].

#### *Het toekomstig verbruik*

Productie en verbruik van tin bleken een opmerkelijk geringe en stagnerende groei te vertonen in het recente verleden (zie par. 2.1.). Toch is het niet zo dat de toepassingsmogelijkheden van dit zo vroeg bekende metaal uitputtend bekend zijn en dat tin zijn tijd heeft gehad. Er zijn immers nieuwe technologische ontwikkelingen, zoals het gebruik van organo-tin verbindingen als stabilisatoren in PVC of de toevoeging van tin aan gietijzer. Wel wordt het tin gestadig minder zichtbaar gebruikt in onze dagelijkse samenleving. We eten niet langer van tinnen borden en realiseren ons nauwelijks hoeveel tin verwerkt is in produkten van dagelijks gebruik. Al met al zijn de toekomstverwachtingen t.a.v. tin duidelijk minder hoog gespannen dan bijv. t.o.v. het industrieel gezien jongere metaal aluminium. De ramingen van gezaghebbende zijde voor de productie en het verbruik van tin tot het jaar 2000 gaan eensgezind uit van een uitzonderlijk lage jaarlijkse groei. Het USBM<sup>7)</sup> begroot deze op 1,1% [13]; de World Bank op 1,2%. Corresponderende ramingen voor aluminium zijn 6,4 — 6,5% [14].

Op basis van genoemde groeicijfers zou het tinverbruik tot 2000 minder snel stijgen dan de wereldbevolking, waarvoor in het rapport van Malenbaum een groei wordt aangenomen van 1,78% per jaar [15]. Dit valt moeilijk te rijmen met gegevens van het UN Centre of Development Planning [16] betreffende het tinverbruik per hoofd. In de westerse geïndustrialiseerde landen was dit verbruik in 1970 gemiddeld 208 gram tin per hoofd per jaar tegen een gemiddelde van 7 gram voor de ontwikkelingslanden; het wereldgemiddelde kwam uit op 65 gram/hoofd/jaar. Op grond van de bovenaangehaalde bronnen is voor de situatie in 1970 Tabel 12 opgesteld.

Voor een projectie van het tingebruik tot het jaar 2000 worden de volgende uitgangspunten genomen (zie ook Tabel 13).

<sup>7)</sup> United States Bureau of Mines.

**Tabel 13.** Prognose van de groei van het tinverbruik voor de periode 1970-2000

	Bevolking		Omvang per hoofd in 2000 (g)	Tinverbruik		
	Omvang in 2000 (x 10 <sup>9</sup> )	Groei 1970-2000 (%/jaar)		Groei 1970-2000 (%/jaar)	Omvang in 2000 (x 10 <sup>3</sup> ton)	Groei 1970-2000 (%/jaar)
Geïndustrialiseerde landen	1,585	1,15	208	0,00	329,7	1,15
Ontwikkelingslanden	4,845	2,02	20	3,50	96,9	5,66
Wereld	6,430	1,78	66,3	-0,02	426,6	1,76

**Tabel 12.** Verband tussen wereldbevolking en tinverbruik (1970) [10]

	Bevolking (x 10 <sup>9</sup> )	Tinverbruik	
		10 <sup>3</sup> ton	g/hoofd
Geïndustrialiseerde landen	1,124	233,8	208
Ontwikkelingslanden	2,660	18,6	7
Wereld	3,784	252,4	66,7 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> De UN-Commissie komt tot ca. 65 g/hoofd [16].

- De prognose van Malenbaum voor de bevolkingsgroei.
- Een stationair tinverbruik per hoofd in de geïndustrialiseerde landen.
- Een toename van 7 tot 20 g tin per hoofd voor de ontwikkelingslanden.

De te verwachten sterkere bevolkingsaanwas in de ontwikkelingslanden zal bij de aangenomen bescheiden verhoging van het tinverbruik per hoofd in die landen (tot niet meer dan 1/10 van het verbruik per hoofd in de industrielanden) de wereldbehoefte aan tin toch doen toenemen met ca. 1,8% per jaar. In het jaar 2000 zou dan het tinverbruik per hoofd voor de gehele wereld praktisch gelijk zijn gebleven t.o.v. 1970, zij het met een eerste aanzet tot nivellering.

## **2.6. Recirculatie en substitutie**

### *Hergebruik van tin gezien op mondiale schaal*

De mogelijkheden tot het wedergebruik van het als belangrijk non-ferro metaal relatief kostbare tin zijn vroegtijdig onderzocht. Opvallend is het constante niveau van gemiddeld ca.  $53 \times 10^3$  ton/jaar waarop zich de recirculatie van tin sedert 1954 heeft gehandhaafd (met een minimum in 1974 van ca.  $45 \times 10^3$  ton en een maximum in 1961 van ca.  $59 \times 10^3$  ton). Dit wedergebruik is zonder trend en niet te correleren met productie noch verbruik van primair tin. In de westerse industrielanden toont de recirculatie wel een positieve correlatie met de mate van



industrialisatie. Voor de recirculatie van tin in de landen van het Oostblok zijn geen gegevens beschikbaar. In Tabel 14 wordt het gerecirculeerde percentage van primair tin en de gemiddelde groei in die recirculatie vergeleken met die van andere metalen.

**Tabel 14.** Percentage gerecirculeerd materiaal voor tin en enige andere metalen in 1974 [10]

	In 1974 gerecirculeerd metaal in % van de nieuw-productie	Groei van de recirculatie, 1954-1974 (%/jaar)
Aluminium	24,9	8,3
Koper	49,4	3,0
Zink	21,8	1,7
Lood	43,2	1,6
Tin	24,8	-0,5

Het ongunstige beeld voor tin in deze tabel is geheel te wijten aan de blikfabrikage, waarin uitsluitend primair tinmetaal wordt toegepast en waarbij het ontinnen van elektrolytisch vervaardigd blik economisch onverantwoord is, althans voorzover het de recirculatie betreft van gebruikte, in de regel sterk verontreinigde blikjes die in het huisvuil worden aangetroffen (zie ook Hoofdstuk 3, par.7.2.1 en 7.2.3). Het in blik verwerkte tin buiten beschouwing latende, zou het gerecirculeerde percentage stijgen van 24,8 tot 47,7. Naar de aard van het wedergebruik van tin vallen de volgende categorieën te onderscheiden.

- Het huisschroot van tinsmelterijen (en blikfabrieken), dat echter grotendeels opgenomen is in de statistiek van primair tin.
- Het omsmelten van meer of minder gestandaardiseerde legeringen, als brons, messing, babbitt of lettermetaal, in overeenkomstige vorm.
- Het ontinnen van tinschroot en -afval met regeneratie van vrij zuiver secundair tinmetaal en/of tinchemicaliën.

In 1974 droegen deze drie categorieën voor respectievelijk ca. 4, 80 en 16% bij tot de tinrecirculatie.

#### Vervanging

In het veld van toepassingsmogelijkheden van tin heeft een aantal vervangingen zich reeds voltrokken — zoals die van het zilverpapier (of stanniool) door aluminiumfolie — of zijn zich aan het voltrekken, zoals de vervanging van blikverpakking voor bier en andere dranken door alweer aluminium. Inwendig vertinde loden waterleidingen hebben het veld geruimd.

De blikfabrikage, die thans nog ruim een derde van het primaire tin verbruikt, staat onder de grootste druk van concurrerende vervangingsmogelijkheden. Het gaat daarbij niet alleen om aluminium, maar ook om kunststoffen, glas en tinvrije staalplaat (met een uiterst dun huidje elektrolytisch opgebracht chroom). Voor onder diepvries te bewaren conserven heeft een tinvrije verpakking niet het gevaar van de zogenaam-

de tinpest. Al met al daalde het aandeel in het totale tinverbruik van tin voor blik van ca. 50% voor de periode 1938 — '41 tot 36% in 1974. Toegenomen is vooral het aandeel van de tinlegeringen, al ondervindt de vraag naar tinsoldeer een terugslag van het verminderde gebruik van blik. De volgende bedrijfstakken hebben een belangrijk tinverbruik.

- Industrie van conserven, frisdranken en bier.
- Elektronische industrie.
- Automobielen-industrie.

De tendens tot miniaturisatie van elektronische componenten is een bedreiging voor de toepassing van tinsoldeer en opent mogelijkheden van vervanging door zilver of zelfs door goud.

Anderzijds zijn er bedrijfstakken te noemen als die van de kunststoffen, de textiel (vooral kunstvezels) en de chemische industrie, welke naar verwachting in toenemende mate tinverbruikers (in de vorm van organotinverbindingen) zullen worden. Mogelijk zijn hieraan in de naaste toekomst de ijzergieterijen toe te voegen, na de vrij recente ontdekking dat toevoeging van enig tin (ca. 0,1%) aan nodulair gietijzer de eigenschappen daarvan belangrijk verbetert.

De hier aangestipte en vele andere mogelijkheden van vervanging en van nieuwe toepassingen worden onder auspiciën van de International Tin Council nauwlettend gevolgd in het Tin Research Institute te Greenford, even buiten Londen. Daarnaast bestaat een European Committee for Tinplate (= blik) Promotion met vestigingen in zes der EEG-landen.

#### 2.7. Energie- en milieuaspecten

Specifieke kwantitatieve gegevens m.b.t. de energie-inhoud van het handelstin zijn praktisch niet beschikbaar. In kwalitatieve zin mag worden geconstateerd, dat grote verschillen bestaan tussen het verbruik van energie voor de winning van gangtin en van stroomtin.

Minstens even groot zijn echter de afwijkingen bij gangtin voor verschillende bedrijfsgroottes en voor exploitaties in meer of minder geïndustrialiseerde landen. In nog sterkere mate geldt dit voor het stroomtin met als uitersten de winning met de doelgangwater en de winning op zee met een modern sleephoppervaar-tuig, zoals de Temco II voor de kust van Thailand. Uiteraard zou juist in verband met dit opereren onder zo uiteenlopende omstandigheden een vergelijkende studie van waarde kunnen zijn. Overigens zij opgemerkt dat investeringskosten en tinrendementen in de analyses van tinwinningsbedrijven factoren zijn die meer aandacht vragen dan de factor energie. Ook in de pyrometallurgie en raffinage van het tin is het energievraagstuk van ondergeschikt belang. Het energieverbruik (voor gebruikelijke oventypen 40 tot 80 GJ/ton tin) is laag vergeleken met het verbruik voor de productie van koper, lood en zink en slechts een fractie van het verbruik voor de productie van ijzer of



aluminium. Het vormt dan ook geen belemmering voor het tinsmelten in landen zonder eigen energiebronnen. Anders is het gesteld met de vereiste technologische kennis en ervaring, waardoor vele tinsmeltdrijven, gevestigd in de Derde Wereld, in handen zijn van multinationale concerns. Deze situatie heeft er toe geleid dat — mede in de vakliteratuur — weinig aandacht is besteed aan het energie-aspect in de produktie van tin.

Evenmin is het mogelijk om op een verantwoorde, en algemeen geldige wijze het effect weer te geven van de tinwinning op ons leefmilieu. Wij kunnen niet verder gaan dan te stellen dat de winning, de verwerking tot concentraat en het smelten en raffineren van tin, gezien als geïntegreerde onderneming, generlei specifiek ongunstige aspecten heeft. Wij bewegen ons dan tussen de grenzen van enerzijds de winning vele kilometers buiten de kust zonder aanwijsbare permanente beïnvloeding en anderzijds een tinsmelter, gelegen in een dicht bevolkte omgeving.

Van wezenlijk andere aard is de vraag of het op de lange duur maatschappelijk verantwoord is een relatief zeldzaam metaal als tin zo uitgebreid te blijven gebruiken in toepassingen, waarin het kan worden vervangen door abundantere grondstoffen. In plaats van te volstaan met een internationaal georganiseerd promotiebeleid voor het gebruik van blik ware tevens te overwegen of en in hoeverre in een meer verwijderde toekomst geen industriële belemmeringen ontstaan voor een voldoende beschikbaarheid van tin voor de meest specifieke toepassingen (bijvoorbeeld in de vorm van legeringen en van organo-tinchemicaliën).

### 3. Lood

door ir. J.L. Oudesluijs

#### 3.1. Geschiedenis [17]

Verscheidene volken die reeds enkele duizenden jaren geleden een hoog ontwikkelingspeil bereikten, zoals de Egyptenaren, de Feniciërs, de Assyriërs, de Chinezen, de Chaldeeën, de Grieken en vooral de Romeinen, kenden de produktie en een aantal toepassingen van lood. Dit is o.m. verklaarbaar uit het feit, dat in veel gebieden van de wereld hoogwaardige loodertsen aanwezig waren, zoals cerussiet (loodcarbonaat), anglesiet (loodsulfaat) en galeniet of loodglans (loodsulfide). Hieruit kon het metaal, dat gemakkelijk reduceerbaar is en een laag smeltpunt heeft, op eenvoudige wijze worden gewonnen. Een belangrijke toepassing is geweest het gebruik als waterleidingbuis bij de Romeinen. De pijpen werden in diverse standaarddiameters en in lengten van ongeveer drie meter vervaardigd door loodblad op te rollen en de naad op te vullen met gesmolten lood, zodat een verbinding werd gevormd. Veel van dit buismateriaal is teruggevonden in Rome, Pompeï en ook wel in nederzettingen in door de Romeinen bezette gebieden. De Romeinen ge-

bruikten zelfs het woord plumbum voor hun waterleidingen. Behalve voor het maken van waterleidingbuis vond lood ook toepassing als dakbedekkingsmateriaal (vooral in de Middeleeuwen) en als legeringsbestanddeel in muntmetaal.

De produktie kon eenvoudig in een kolen- of houtvuur plaats vinden. Het is dan ook niet zo verwonderlijk, dat de loodsmelters in de Oudheid en de Middeleeuwen, die meestal konden beschikken over ertsen met weinig verontreinigingen, een bijzonder zuiver metaal (met gehalten tot 99,9%) wisten te produceren.

#### 3.2. Voorkomen, reserves en winning

##### *Voorkomen van loodertsen*

Het belangrijkste mineraal voor de winning van lood is thans galeniet (loodsulfide). Min of meer zuivere ertsen komen vrijwel niet meer voor. Het tegenwoordig gedolven materiaal bevat naast loodsulfide in het algemeen vooral zinksulfide (zinkblende), daarnaast mineralen van antimoon, arseen, tin, koper, bismuth, alsmede wat zilver en eventueel goud. Andere loodertsen met enige commerciële betekenis zijn het carbonaat (cerussiet) en het sulfaat (anglesiet).

Er is geen produktie van looderts in Nederland. Een overzicht van de belangrijkste producerende landen biedt Tabel 15. In de oude produktiegebieden neemt de produktie in het algemeen af; elders worden nieuwe ertsvoorkomens ontdekt en in exploitatie gebracht. Er is dan ook een verschuivend beeld, in dit geval echter zonder dat er sprake is van bijzondere concentraties in politiek of economisch specifieke delen van de wereld.

##### *Ertsreserves*

Het is niet mogelijk gebleken een duidelijk antwoord te verkrijgen op de vraag, voor hoe lang de winbare wereld-ertsreserves toereikend zullen zijn. Opgaven van potentieel winbare voorraden variëren van 0,1 tot  $10 \times 10^9$  ton loodinhoud<sup>8)</sup>. Het USBM Bulletin 667 (1975) geeft op als aangetoonde reserves:  $0,15 \times 10^9$  ton loodinhoud. Gemakkelijk winbare ertsen met een hoog loodgehalte worden echter steeds schaarser, zodat men genoodzaakt is meer verontreinigde en gemengde, alsmede moeilijker ontginbare ertsen te gaan produceren. Wat de winbaarheid van gemengde ertsen betreft gaat het vooral om combinaties met zink, naast eventuele andere metalen. De behoefte aan looderts wordt hiermee in steeds toenemende mate gedekt. De vraag naar zuiver looderts neemt hierdoor af, hoewel nieuwe voorkomens van dit erts nog wel worden ontdekt. Schaarste aan lood wordt, dankzij de gemengde ertsen, niet verwacht; bovendien speelt de recirculatie van oud lood een belangrijke rol. Om ook

<sup>8)</sup> Zie tevens de bijdrage van dr. J.W. Brinck in Hoofdstuk 2.



**Tabel 15.** Produktie van looderts in de wereld ( $10^3$  ton loodinhoud) [18]

	1964	1969	1974
Amerika	838	1.174	1.443
w.o.: Verenigde Staten	260	462	602
Canada	185	289	296
Peru	151	154	193
Mexico	175	171	218
Communistische landen	708	845	1.043
w.o.: Sowjet Unie	390	460	590
China	100	110	130
Bulgarije	101	96	110
Noord Korea	55	65	90
Polen	38	65	70
Europa (excl. comm. landen)	341	463	405
w.o.: Joegoslavië	102	118	120
Zweden	68	78	73
Spanje	57	72	61
Ierse Republiek	—	59	38
BR Duitsland	49	42	31
Australië	381	453	377
Afrika	205	209	177
w.o.: Marokko	70	77	86
ZW-Afrika	95	76	48
Zambia	13	24	25
Azië (excl. comm. landen)	97	123	129
w.o.: Japan	54	63	44
Iran	11	22	48
Wereldtotaal	2.570	3.268	3.574

de moeilijker winbare reserves te kunnen ontginnen, zullen de prijzen moeten stijgen. Onder dit voorbehoud komt de Nationale Adviesraad voor de Ontwikkelingssamenwerking in een recent rapport [19] tot de conclusie dat de wereld voorlopig geen gebrek behoeft te hebben aan (o.a.) lood.

#### *Winning en concentratie*

Het gedolven erts bevat vrijwel altijd een aanzienlijke hoeveelheid ganggesteente. Dit moet voor een groot deel worden verwijderd, alvorens het materiaal geschikt is als voeding voor de loodsmelter. Ter besparing van transportkosten dient deze ertsconcentratie bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de mijn te geschieden.

De sulfidische erts (de belangrijkste grondstof) lenen zich bijzonder voor concentratie door middel van de flotatiemethode. Bij deze techniek wordt het fijn-gemalen erts in een tank gemengd met water (bijvoorbeeld door inblazen van lucht). Door toevoeging van een schuimmiddel vormt zich op het water een laag schuim, waaraan het sulfidische erts zich hecht, in tegenstelling tot het ganggesteente. Het schuim met het ertsconcentraat wordt afgeschept, c.q. afgetapt. Na droging gaat het naar de smelter. Hoewel het principe betrekkelijk eenvoudig is, heeft de technische vervolmaking van de flotatiemethode nogal wat moeite gekost. Thans betekent deze technische ontwikke-

ling echter een belangrijke bijdrage voor de verwerking van laagwaardige erts. Dit zal van groot belang blijken voor de loodvoorziening in de komende decennia.

Over het algemeen kunnen erts met een gehalte tot minimaal ongeveer 2% lood nog economisch worden geëxploiteerd, mits deze nog voldoende andere metalen bevatten, zoals zink of koper (hetgeen gelukkig veelvuldig het geval is). De produktie van die andere metalen draagt dan tevens een gedeelte van de proceskosten.

### **3.3. Produktie van het metaal**

#### *Roosten en reduceren van het erts*

Door het roosten verdwijnt de zwavel uit het sulfidische erts in de vorm van zwaveldioxyde. Het lood wordt daarbij omgezet in een gesinterd, oxydisch materiaal, waaruit het metaal door smelten in een reducerend milieu kan worden gewonnen. De zwaveldioxyde wordt afgezogen. Deze kan dienen als grondstof voor een zwavelzuurfabriek in nevenbedrijf. De volgende stap in het proces, het smelten, wordt in het algemeen uitgevoerd in een schachtoven, die volgens hetzelfde principe werkt als de hoogoven voor de produktie van ruwijzer. De afmetingen zijn echter veel kleiner en de vorm is anders. De oven wordt ge-



voed met een mengsel van oxydesinter, cokes en toeslagmateriaal, zoals kalksteen, om verontreinigingen te binden. Onderin de oven wordt via de zogeheten tuyères lucht (waaraan eventueel toegevoegd zuurstof, stoom, aardgas of olie) geblazen. Een hoogste temperatuur van 1.100 – 1.200 °C wordt bereikt in de smeltzone. Het vloeibare lood is zwaar en verzamelt zich dus onderin de haard van de oven. Het wordt hieruit afgetapt als ruw lood of werklood.

In het werklood worden vooral het aanwezige antimoon, arseen, zilver (en andere edele metalen) en een deel van het koper geconcentreerd. Het is economisch om de waardevolle metalen zoveel mogelijk terug te winnen uit de afvalprodukten van het proces. Daarnaast speelt beperking van de milieuverontreiniging mede een belangrijke rol. Als mogelijkheden ter verbetering op kortere termijn van het besproken loodschothovenproces kunnen worden genoemd [20]:

- verdere mechanisering en automatisering;
- voorverwarming van de inblaaslucht en verandering van de samenstelling hiervan;
- achterwege laten van belasting van de oven met tussenprodukten.

Een betrekkelijk recent ontwikkelde variant van het loodschothovenproces is het Imperial Smelting Furnace-procédé. De eerste ISF's dateren van omstreeks 1950; momenteel zijn er 12 ovens van dit type over de hele wereld in bedrijf [21]. Gezien het cokesverbruik en bepaalde milieu-aspecten is het toch de vraag of het aantal ISF's nog sterk zal toenemen [22]. Overige pyrometallurgische procédés kunnen hier onbesproken blijven.

Mogelijkheden voor de verdere toekomst liggen wellicht in de directe reductie met koolmonoxyde. Hydro-metallurgische processen zijn vrijwel nog niet van praktische betekenis. Mogelijk kunnen zij tot interessante ontwikkelingen leiden [23].

Productie door middel van elektrolyse uit een oplossing of uit gesmolten zouten, zoals bij sommige metalen algemeen (aluminium) of vrij veel (zink) wordt toegepast, komt bij lood slechts weinig voor. Het is op dit moment niet te beoordelen, of deze techniek in de toekomst van belang zal worden voor lood. Eén van deze elektrolytische processen, het Betts-procédé, wordt in Japan toegepast, maar daarbuiten vrijwel niet. Het lijkt niet erg waarschijnlijk, dat er nog veel *essentieel* nieuws op het gebied van productieprocessen voor lood zal verschijnen.

#### *Raffinage van het ruwe lood*

Het werklood wordt door middel van verschillende bewerkingen geraffineerd tot zachtlood, in uiteenlopende specificaties met in het algemeen een loodgehalte van minstens 99,8 à 99,9%. Bekende thermische raffinageprocessen zijn het Parkes-proces en het Harris-proces. Bij het Parkes-proces wordt het gesmolten lood afgekoeld tot beneden het stolpunt van koper;

dit kristalliseert uit en kan worden afgeschept. Vervolgens wordt het lood in een andere reactor verder behandeld om het te zuiveren van arseen en antimoon. Dit geschiedt door oxydatie aan de lucht van deze metalen. Het lood gaat dan naar de ontzilveringsketel, waar een kleine hoeveelheid zink wordt toegevoegd. Zilver en goud zijn beter oplosbaar in zink dan in lood, zodat het zink de edele metalen aan het lood onttrekt. Bij verlaging van temperatuur kristalliseert het zink, gaat op het loodoppervlak drijven en kan worden afgeschept. Het weinige zink dat in het lood achterblijft kan worden verwijderd door oxydatie of door vacuümdestillatie. Het Harris-proces wordt vooral in Europa en Japan toegepast. Het lood (reeds ontzilverd) wordt met een bepaald mengsel van gesmolten zouten behandeld. Deze reageren met de verontreinigingen. Daarbij ontstaan onder andere oxyden die gemakkelijk van het gezuiverde lood zijn te scheiden.

#### *Productiecijfers*

Tabel 16 bevat gegevens omtrent de productie van loodmetaal in de wereld. Vergelijking met de productiecijfers van looderts (Tabel 15) leidt tot een aanzienlijk positief verschil. Dit betreft het metaal afkomstig van de terugwinning van lood uit afgedankte goederen. Ook blijkt dat West-Europa naast het gebruik van eigen looderts een grote hoeveelheid importeert. Het verkeert daarmee in een afhankelijker positie dan de Verenigde Staten en ook Japan.

### **3.4. Verbruik en toepassingen**

#### *Het wereld-loodverbruik<sup>9)</sup>*

Tabel 17 verschaft gegevens over het wereldverbruik aan geraffineerd lood.

#### *Het toekomstig verbruik*

Zoals ook zal blijken uit de bespreking van toepassingsgebieden van lood, bestaat over de ontwikkeling van het loodverbruik veel onzekerheid. Het is te betwijfelen of de bescheiden groei van de afgelopen jaren zich zal voortzetten (zie ook par. 1.). In Hoofdstuk 2 heeft dr. Brug reeds een aantal verwachtingen omtrent verbruiksgroei van minerale grondstoffen uit het Paley-rapport (1950) met de werkelijkheid vergeleken. Hier worden de vroegere verwachtingen voor lood nog eens nader getoetst in Tabel 18. De medewerking van gerenommeerde deskundigen aan het Paley-rapport heeft het optreden van grote discrepanties niet kunnen verhinderen.

<sup>9)</sup> Gegevens voor Nederland over import, productie en export vindt men in de bijdrage van drs. H.K. van Tuinen en W. van Sorge (Hoofdstuk 2).



**Tabel 16.** Productie van geraffineerd lood in de wereld (10<sup>3</sup> ton) [18]

	1964	1969	1974
Amerika	981	1.204	1.237
w.o.: verenigde Staten	538	721	752
Mexico	170	176	202
Canada	137	170	126
Peru	90	76	81
Europa (excl. comm. landen)	911	1.203	1.260
w.o.: BR Duitsland	223	305	321
Groot Britannië	180	261	277
Frankrijk	122	156	178
België-Luxemburg	78	102	100
Joegoslavië	101	107	114
Nederland	17	15	26
Communistische landen	752	927	1.138
w.o.: Sowjet Unie	425	530	660
China	100	110	140
Bulgarije	88	95	105
Polen	42	51	70
N-Korea	45	55	65
Azië (excl. comm. landen)	132	204	250
w.o.: Japan	108	187	228
Australië	231	221	224
Afrika	93	137	116
w.o.: ZW-Afrika	48	70	64
Tunesië	13	17	28
Zambia	13	24	25
Marokko	19	27	—
Wereldtotaal	3.100	3.896	4.225

**Tabel 17.** Wereldverbruik van geraffineerd lood (10<sup>3</sup> ton) [18]

	1964	1969	1974
Europa (excl. comm. landen)	1.184	1.355	1.385
w.o.: BR Duitsland	260	315	265
Groot Britannië	308	275	266
Frankrijk	172	199	199
Italië	89	146	204
Spanje	57	77	90
Nederland	50	48	39
Amerika	907	1.158	1.323
w.o.: Verenigde Staten	728	911	1.030
Mexico	62	99	94
Canada	53	65	74
Communistische landen	735	960	1.193
w.o.: Sowjet Unie	380	460	620
China	100	185	175
Oost-Duitsland	70	80	88
Polen	63	66	90
Bulgarije	43	67	85
Azië (excl. comm. landen)	222	247	314
w.o.: Japan	164	188	224
India	38	30	43
Australië	67	75	80
Afrika	35	38	56
w.o.: Z. Afrika	20	20	31
Wereldtotaal	3.150	3.836	4.350



**Tabel 18.** Werkelijkheid en verwachting van de groei van het verbruik van primair lood in een aantal gebieden of landen [24]

	Werkelijke stijging van het verbruik 1950-1973 (%) <sup>1)</sup>	Verwachte stijging van het verbruik 1950-1975 (%)
Japan	2.033	143
Australië	110	103
West-Europa	117	58
Canada	37	66
Overige OESO-Landen (excl. Verenigde Staten)	324	220
Totaal gemiddelde	188	78

<sup>1)</sup> T.o.v. de door Paley gehanteerde cijfers voor 1950. Andere bronnen geven hiervoor andere cijfers (bijv. Metallstatistiek). Dit leidt dan ook tot andere percentages (bijv. in het geval van Japan).

#### Verbruik per toepassing

In de periode 1965 — 1974 was het aandeel van de diverse globale toepassingsgebieden in het loodverbruik in Nederland als volgt [18]. Accu's en kabelmateriaal: 55 tot 60%; pijpen en folie: afnemend van 30 naar 20%; legeringen 6 tot 7%; pigmenten en chemicaliën: stijgend van 10 tot 14%. Voor de Verenigde Staten zijn meer gedetailleerde gegevens bekend over het verbruik per toepassing (zie Tabel 19).

**Tabel 19.** Verbruik in % van het totaal van lood naar toepassingen in de V.S. van Amerika [18]

	1964	1969	1974
Accu's	36	42	48
Munitie	5	6	6
Lagermetaal	2	1	1
Brons, messing	2	2	1
Kabels	5	4	3
Lood voor afdichting	6	3	1
Gietwerk	1	1	—
Tubes, folie	1	1	—
Buis e.d.	2	1	1
Plaat, bladlood	2	2	1
Soldeer	6	5	4
Lettermetaal	2	2	1
Loodwit	1	1	—
Loodglit, menie	6	6	6
Andere pigmenten	1	1	1
Antiklopmiddelen	19	19	16
Overige toepassingen	3	3	10
Totaal	100	100	100

#### Eigenschappen van lood

Voor de praktische toepassingen van het metaal zijn vooral de volgende eigenschappen van belang.

- Lood heeft een relatief laag smeltpunt: 327 °C.
- Het ongelegeerde metaal is zacht en gemakkelijk vervormbaar.
- Het heeft een hoog dempend vermogen voor mechanische en geluidstrillingen.
- Het vormt gemakkelijk legeringen met diverse andere metalen. Veel van deze legeringen bezitten aantrekkelijke eigenschappen.
- Lood wordt aan de lucht geoxydeerd. Het gevormde oxydelaagje, mits onbeschadigd, beschermt het metaal tegen verdere oxydatie.
- De reacties van lood met water zijn afhankelijk van de hierin opgeloste stoffen. Als het water wat zuurstof en calciumzouten bevat, zal er spoedig een laagje van loodoxyde en/of calciumcarbonaat en loodcarbonaat worden gevormd, waardoor het metaal tegen verdere aantasting wordt beschermd en ook de opname van lood in het water niet verder gaat. Dit is (c.q. was) van belang voor waterleidingsbuizen, afvoerbuizen, grondkabels, dakplaten, e.d.
- Het gedrag van lood ten opzichte van zwavelzuur is interessant: door de inwerking van dit zuur wordt een laagje loodsulfaat op het metaaloppervlak gevormd. Het sulfaat heeft bij niet te hoge temperatuur een geringe oplosbaarheid in zwavelzuur, zodat verdere aantasting van het metaal vrijwel achterwege blijft. Hierop zijn vooral in de chemische industrie toepassingen gebaseerd.
- Lood heeft een lage doorlaatbaarheid voor ioniserende straling.

#### De belangrijke toepassingen: aspecten en verwachtingen

- **Loodaccu's** Deze vormen het belangrijkste toepassingsgebied voor lood: hardlood (antimoon of calcium/tin-houdend lood) voor de platen en roosters, alsmede looddioxyde met laag antimoongehalte als pasta in de roosters. Loodaccu's dienen in hoofdzaak voor de stroomvoorziening van diverse soorten voertuigen (hetzij als hulp-, hetzij als hoofdstroombron). Zij bezitten bepaalde nadelen, zoals een vrij groot gewicht en volume, alsmede een vulling met zwavelzuur, hetgeen (bijv. bij breuk) gevaar kan opleveren. Andere oplossingen zijn echter nog niet in staat, de loodaccu's uit deze toepassing te verdringen. Het gebruik van accu's van 12 volt (in plaats van 6 volt) en van wisselstroom heeft geleid tot de toepassing van kleinere, lichtere accu's in deze belangrijke marktsector. Ook wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een accu waarvan de vulling van verdund zwavelzuur niet meer van tijd tot tijd op peil behoeft te worden gebracht door bijvullen met water. Voor de platen van deze accu's wordt een lood/calcium c.q. lood/calcium-tinlegering gebruikt, in plaats van antimoonhoudend lood. Antimoon verlaagt nl. het kritische voltage, waarbij water wordt ontleed in waterstof en zuurstof [25].



Wat het belangrijkste afzetgebied betreft: de automobiemarkt heeft, zelfs in de meest ontwikkelde landen, het verzadigingspunt waarschijnlijk nog niet bereikt, zodat voorlopig nog wel op een groeiende markt mag worden gerekend. De levensduur van een loodaccu is beperkt, maar het materiaal wordt voor meer dan 90% teruggewonnen.

- *Kabelmantels.* Toepassing in de vorm van antimoonhoudend lood bij laagspanningskabels (telefoon e.d.) en bij ondergrondse kabels voor lage tot hoge spanning [26,27]. Voor de bovengrondse hoogspanningsleidingen worden tot nu toe niet-geïsoleerde koperen (soms aluminium) kabels gebruikt; de isolatie vindt plaats door middel van isolatoren aan de draagmasten. Omdat tegen deze bovengrondse hoogspanningsnetten toenemende bezwaren rijzen wegens ontsiering van het landschap, zal in de toekomst voor de aanleg van hoogspanningskoppel- en transportnetten wellicht weer meer gebruik worden gemaakt van ondergrondse kabels. Het gaat hier uiteraard om kabels met een aanzienlijke diameter en in lengten van meestal minstens enige tientallen kilometers (zelfs in Nederland), zodat voor de constructie van deze kabels belangrijke hoeveelheden lood als mantelmateriaal nodig zouden zijn.
- *Lettermetaal.* Door de ontwikkeling van nieuwe reproductietechnieken, vooral lichtdruksystemen, is een belangrijk deel van de markt voor lettermetaal verloren gegaan. Het gaat daarbij over het algemeen om legeringen met tot 10-12% tin en tussen 10 en 25% antimoon.
- *Soldeer.* Dit is vanouds een zeer nuttig hulpmiddel bij het maken van pijp- en draadverbindingen e.d. voor loodgieterswerk en in de elektrotechniek. Deze toepassing lijkt niet spoedig aan betekenis te zullen verliezen. De hoeveelheid metaal, die per soldeerverbinding wordt gebruikt, is in het algemeen gering. Het aandeel van deze toepassing in het totale loodverbruik is daarom niet meer dan enkele procenten, ook al wordt er veel soldeerwerk verricht. Het gaat om een bijna continue reeks lood/tin legeringen, gaande van 98% lood/1% tin tot 30% lood/70% tin, met kleine toevoegingen van andere metalen, zoals antimoon.
- *Lagermetaal* voor lagers van motoren en andere machines (witmetaal). Dit zijn legeringen met in het algemeen 80-90% lood, 10-15% antimoon, 5-10% tin en kleine hoeveelheden andere metalen, zoals koper, nikkel, cadmium en arseen. In enkele sectoren van dit toepassingsgebied heeft een zekere vervanging door kunststoflagers plaats gehad, doch er zijn geen tekenen die er op wijzen dat lagers op basis van witmetaal spoedig tot de museumstukken zullen gaan behoren. Het toepassingsgebied zelf zal voorlopig nog wel groeien in deze nog steeds verder motoriserende en mechaniserende wereld.
- *Overige legeringen.* Sommige andere loodlegerin-

gen hebben enige praktische betekenis en het is uiteraard mogelijk, dat de betekenis van deze legeringen, c.q. andere die nog tot ontwikkeling kunnen worden gebracht, zal toenemen.

- *Elektriciteitstransport* bij zeer lage temperatuur (supergeleiding). Lood is bij temperaturen nabij het absolute nulpunt een uitstekende geleider voor elektriciteit. Van deze eigenschap zou in de toekomst wellicht praktisch gebruik kunnen worden gemaakt voor het transport van elektriciteit. Daarbij zou dan loodkabel moeten worden toegepast, waarmee in dit geval wordt bedoeld dat het lood zelf als elektriciteitsgeleider — en niet als materiaal voor de beschermingsmantel — dient. Bij dit systeem zou de loodkabel in vloeibaar helium moeten zijn gedompeld, d.w.z. op een temperatuur van niet hoger dan ongeveer 4 °Kelvin of wel -269 °C dienen te worden gehouden [27]. Deze toepassing zal wegens de uitgebreide technische voorzieningen waarschijnlijk vrij beperkt blijven en ook niet leiden tot het gebruik van grote hoeveelheden lood.
- *Tetraethyllood en tetramethyllood.* Dit wordt ter verbetering van de klopvastheid aan autobenzine toegevoegd. Kwantitatief is dit één van de belangrijkste toepassingen, die in de gemotoriseerde landen tot circa 10% (in sommige landen zelfs meer) van het totale loodverbruik voor zich opeist (1970). Er zijn echter bezwaren uit een oogpunt van milieuhygiëne (zie par. 3.6.).
- *Absorptie van ioniserende straling.* Lood heeft een zeer sterk absorptievermogen voor ioniserende straling. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt door toepassing van lood als metaal (plaat, buis, blokmetaal) en ook in glas met een hoog loodgehalte. Men denke aan het werken met röntgenapparatuur (b.v. voor analytisch gebruik) in chemische en fysische laboratoria en voor diagnostiek en bestraling in ziekenhuizen; verder natuurlijk de verschillende toepassingen in de kernfysica, zowel in het laboratorium als op technische schaal. Het gebruik van lood in deze toepassingen is belangrijk, waarbij echter meer aan de kwalitatieve betekenis (de bescherming tegen straling) dan aan de tonnages moet worden gedacht. In de toekomst zal de betekenis van deze toepassing ongetwijfeld toenemen.
- *Pigmenten.* De toepassingen van een aantal loodverbindingen als pigmenten in verf en andere producten zijn reeds lang bekend. Het betreft in hoofdzaak loodglut (PbO), menie (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), loodwit (basisch loodcarbonaat), chromaatgeel (loodchromaat) en calciumplumbaat. Hier lijken geen opzienbarende nieuwe ontwikkelingen op handen te zijn. In sommige gevallen kan zelfs van een negatieve tendens worden gesproken. Loodwit bijv. is grotendeels van de markt verdrongen, aanvankelijk door zinkwit (zinkoxyde), later vooral door titaanwit (titaandioxyde). Kwaliteitseisen en gezondheidsoverwegingen zijn de belangrijkste factoren, die tot deze ontwikkeling hebben geleid.



Het voorafgaande omvat weliswaar de belangrijkste toepassingsgebieden, maar daarmee is het arsenaal nog niet uitgeput. Men denke aan de toevoeging in kleine hoeveelheden in brons en messing, aan het gebruik voor spuitgietwerk (o.a. balanceergewichten voor wielen), aan toepassing van hardlood in verpakkingstubes, leidingen, appendages en bekledingen in de chemische industrie, sanitair materiaal en geluidsisolatie, aan hagel voor jachtgeweren en aan loodstearaten als stabilisatoren voor kunststoffen. Als loodsilicaat wordt lood toegepast in loodglas, in gehalten tot ca. 30%. Dit loodglas, of kristal, verkrijgt hierdoor een fraaie glans. Een legering, bestaande uit 80% lood en 20% tin (terne-metaal) wordt op dezelfde wijze als in tin en zink gebruikt voor het bedekken en daardoor beschermen tegen aantasting van staalplaat. Van zulke zogeheten terneplaat worden o.a. benzinetanks van auto's gemaakt.

### 3.5. Substitutie en recirculatie

*Toepassingen waarin lood vooralsnog onvervangbaar is*

Naar schatting werd in 1975 van het loodverbruik in de vrije wereld 45% toegepast voor het vervaardigen van batterijen. Dit percentage zal naar verwachting oplopen tot 51% in 1980 resp. 55% in 1985. Weliswaar verricht men op verschillende plaatsen onderzoek naar de mogelijkheid, batterijen op basis van andere grondstoffen te construeren, doch voor het grootste gedeelte bevindt dit onderzoek zich nog in een experimenteel stadium. Behoudens toepassing in speciale gevallen voorziet men zeker binnen afzienbare tijd geen ontwikkeling die het loodverbruik ten behoeve van de traditionele batterijen wezenlijk zal beïnvloeden. De produktie van alternatieve materialen of constructies voor accu's is afhankelijk van de beschikbaarheid van geëigende grondstoffen. Zo is er te weinig cadmium beschikbaar om voor algemene toepassing nikkel/cadmium accu's te vervaardigen.

Aangezien lood voor de verschillende soldeersoorten een essentiële grondstof is, is op dit punt geen substitutie te verwachten. Overigens is de hoeveelheid lood, die voor de vervaardiging van soldeermateriaal wordt gebruikt, gering.

Lood in de vorm van bladen en strippen is ten dele onvervangbaar, vooral indien dit wordt gebruikt als afdichtingsmateriaal bij de bouw. Ook voor de toepassing als bescherming tegen ioniserende straling bestaan weinig substitutiemogelijkheden.

*Toepassingen waarbij substitutie wel een rol kan spelen*

De afnemende betekenis van lood als lettermetaal is al genoemd. Lood ten behoeve van kabelmantels is een toepassing, waarvan niet duidelijk is, of en in hoeverre deze voor substitutie in aanmerking komt. Op grond van technische overwegingen zal in verschillende gevallen aan het gebruik van lood de voorkeur wor-

den gegeven. Toch zullen moderne ontwikkelingen op het gebied van kunststofmaterialen het loodverbruik in deze sector wezenlijk kunnen beïnvloeden. Voorts zijn er nog een aantal produkten, zoals loodpigmenten, chemische produkten op basis van lood, bijzondere alliages (lagermetalen), die ten dele vervangbaar zijn, ten dele onvervangbaar. In het totale beeld spelen zij echter geen grote rol, met uitzondering van een produkt als tetra(m)ethyllood. Kwantitatief is dit een belangrijke toepassing en naar schatting wordt per jaar in de vrije wereld 300.000 tot 400.000 ton lood voor dit produkt gebruikt, globaal 10% van het loodverbruik. Uit een oogpunt van milieuhygiëne wordt een vermindering van dit verbruik voorzien, hetgeen in sterke mate afhankelijk is van de ontwikkelingen op het gebied van schone motoren, die op loodvrije benzine kunnen werken. Voorlopig wordt overigens het terreinverlies, in absolute hoeveelheden, wel gecompenseerd door het toenemende benzineverbruik.

### *Terugwinning*

De betrekkelijk hoge prijs van lood stimuleert de terugwinning van dit metaal uit afval. In de westerse geïndustrialiseerde landen is gemiddeld meer dan 40% van de totale produktie afkomstig uit deze secundaire bron. Tabel 20 geeft een beeld van het niveau van de loodrecirculatie. Het metaal komt na een relatief korte omlooptijd terug uit de eindtoepassing. De terugwinning van lood uit afval, voornamelijk accu's, is vrij eenvoudig. Voor een deel van de loodtoepassingen is terugwinning uitgesloten (lood in benzine, pigmenten in verf, soldeer, deels legeringen). Ook uit een oogpunt van energiebesparing is recirculatie van lood belangrijk (zie par. 3.6.).

### 3.6. Energie- en milieu-aspecten

#### *Energie-waarde van lood*

Het energieverbruik bij de produktie van lood is relatief laag. Dit stelde, zoals gezegd, sommige volken in de Oudheid reeds in staat lood te produceren. Het is zeker ook voor de toekomst een belangrijk pluspunt voor lood.

Voor de produktie volgens het normale schachtovenproces van 1 ton lood vanaf ruw erts tot het metaal is 46 tot 51 GJ aan energie in verschillende vormen nodig. De terugwinning van lood uit oud- en afvalmetaal kost gemiddeld slechts 7 tot 8 GJ/ton. Recirculatie van lood werkt dus energiebesparend.

#### *Milieu-aspecten*

Het is bekend, dat lood giftige eigenschappen heeft. Hiermee dient bij de produktie en de toepassingen rekening te worden gehouden. In de bedrijven, waar het metaal, zijn legeringen en andere verbindingen worden geproduceerd of verwerkt, moeten de nodige maatregelen worden genomen om verontreiniging



Tabel 20. Terugwinning van lood uit afgedankt materiaal (10<sup>3</sup> ton) [18]

	1964	1969	1974
BR Duitsland	41	62	78
Frankrijk	38	34	27
Italië	28	19	51
Nederland	10	26	25
Groot Brittannië	120	92	59
Overige	4	7	29
West-Europa	241	240	269
Verenigde Staten	369	421	432
Canada	32	38	40
Brazilië	5	13	21
Amerika	406	472	493
Azië (Japan)	61	71	61
Schatting van de schroothoeveelheden die reeds in het raffinageproces aanwezig zijn, c.q. circuleren	376	477	511
Totaal	1.084	1.260	1.334

van het milieu in het bedrijf en de omgeving binnen aanvaardbare grenzen te houden. Het gaat hier in de eerste plaats om lood, dat in de vorm van damp en stof uit ovens e.d. de atmosfeer kan verontreinigen. Met behulp van afzuig- en reinigingsinstallaties is dit probleem goed op te lossen.

Aan de kant van de toepassing kan het verschijnsel van loodvergiftiging, dat in het verleden nogal eens voorkwam bij schilders, worden genoemd. Bekendheid met het gevaar en het teruglopende gebruik van loodwit (de voornaamste oorzaak van het verschijnsel) vormen de oplossing van dit probleem.

Lood heeft, zoals vermeld, veel toepassing gevonden als waterleidingbuis. Dit zal in het algemeen uit gezondheidsoogpunt geen al te grote bezwaren hebben opgeleverd, daar op het metaaloppervlak snel een dun oxydelaagje ontstaat waaruit het water vrijwel geen lood opneemt. Zekerheidshalve lijken de tegenwoordig gebruikte (en veelal voorgeschreven) materialen toch wel veiliger: hoofdleidingen in de grond van staal (de grotere mechanische sterkte is uiteraard ook belangrijk); leidingen binnenshuis van koper. Van belang is ook, dat het maken van de buisverbindingen bij deze metalen gemakkelijker is.

Er is nog een belangrijk milieu-aspect, nl. het lood in de benzine. Bij de verbranding komt het lood met de uitlaatgassen in de atmosfeer. Op drukke wegen en onder bepaalde weersomstandigheden kan dit leiden tot ongunstige situaties. In vele landen zijn reeds beperkingen van kracht t.a.v. de toepassing van lood in de benzine. Het is echter op dit moment nog een vraag, of men er reeds in is geslaagd goede alternatieven te ontwikkelen [27, 28].

## 4. Zink

door ir. B. de Jong, mr. J.L.F.B. Grupstra, ir. L.R.J. Lamers en ir. J.L. Oudesluys<sup>10)</sup>

### 4.1. Geschiedenis

De geschiedenis van zink (Zn) is in zoverre merkwaardig, dat men reeds vanaf de vroege Oudheid legeringen zoals messing kon bereiden, maar dat de kennis van de produktie van het metaal zelf veel minder ver teruggaat. Waarschijnlijk hebben de Babyloniërs reeds omstreeks 2500 voor Chr. legeringen van koper, zink en tin (dus van de typen messing en brons) door reductie van bepaalde ertsen met houtskool geproduceerd. Ook de Grieken en de Romeinen hebben deze techniek enigermate beheerst, maar ontdekten evenmin het metaal zink.

Het heeft in Europa nog tot eind 15e, begin 16e eeuw geduurd, voordat onderzoekers (vooral Paracelsus) het metaal wisten te bereiden. De industriële produktie begon pas in het begin van de 18e eeuw in Engeland. Overigens was in het Verre Oosten, met name in China, de produktie van zink wel veel eerder uitgevonden, waarschijnlijk al in het begin van onze jaartelling. Vanaf het begin, omstreeks de 17e eeuw, van regelmatige handelsverbindingen met het Verre Oosten werd zink uit o.a. China in Europa ingevoerd. De in de Oudheid direct tot messing en dergelijke ver-

<sup>10)</sup> Deze paragraaf is tot stand gekomen door bewerking en aanvulling van het afstudeerverslag van ir. B. de Jong [29]. Afstudeerhoogleraar was prof. dr. ir. N.W.F. Kossen.



werkte ertsen zijn vermoedelijk in hoofdzaak van het calamien-type (zinksilicaat) geweest.

## 4.2. Voorkomen, reserves en winning

### Zinkmineralen

Zink wordt voor 90% gewonnen uit sulfidische ertsen. De overige 10% komt uit oxydes, carbonaten en silicaten, maar de produktie van zink uit deze ertsen blijft hier buiten beschouwing. Zinksulfide komt in de regel voor in combinatie met een aantal andere waardevolle sulfides, namelijk die van koper en lood en in kleinere hoeveelheden zilver, goud en cadmium. Globaal onderscheidt men de volgende vier klassen voor zinkerts: zink-pyrieterts; zink-looderts; zink-kopererts en zink-lood-kopererts.

In deze studie is voor een nadere beschouwing van produktieprocessen (par. 4.3.) en energie- en milieuaspecten (par. 4.6.) uitgegaan van een zink-looderts met ca. 6% zink en ca. 3% lood. De combinatie lood-zinkerts komt het meest voor, doch gezien de marktvraag is er een toenemende behoefte, ook andere combinaties te verwerken. Er zijn momenteel echter nog in vrij ruime mate ertsen beschikbaar met een zink/loodverhouding van 5 à 6 : 1.

Zink komt in de aardkorst voor met een gemiddeld percentage van 0,009% (90 gram zink per ton gesteente). Een gemiddeld zinkerts bevat circa 6% zink. Het minimale percentage van een zinkerts dat op een bepaald moment economisch winbaar is hangt af van de zinkprijs en wordt enigszins beïnvloed door de waarde van de bijprodukten. De zinkproducent (zink-smelter) zelf gaat echter primair uit van een zinkerts dat in concentraatvorm met een gehalte van 50 tot 55% zink op de markt komt.

### Ertsreserves

Tabel 21 bevat gegevens over de omvang van rendabele en (nog) niet rendabele zinkertsvoorkomens, alsmede schattingen van reserves in nog niet geëxploreerde gebieden.

De wereldproduktie van zink als concentraten bedroeg in de periode 1972-'74 gemiddeld  $4,8 \times 10^6$  ton (zie Tabel 22). Dit correspondeert met een statische index voor de levensduur van de aangetoonde economisch winbare reserves van ca. 47 jaar. Nemen wij een voortzetting aan van de huidige stijging van het wereldverbruik met 3 à 3,5% per jaar, dan is de overeenkomstige exponentiële index ca. 28 à 31 jaar. De uiteindelijke wereldvoorraad van  $5.085 \times 10^6$  ton zou bij het genoemde stijgingspercentage omstreeks 2090 zijn verbruikt, hetgeen bepaald gunstiger is dan in het geval van tin (omstreeks 2045 à 2055).

### Winning

Zinkerts wordt meestal ondergronds gedolven. Na te zijn gemalen wordt het materiaal door middel van flotatie (zie ook par. 3.2.) gescheiden in een zink-, en een loodconcentraat en afval. Het flotatiewater, dat het afval bevat, wordt naar zogeheten tailingvijvers afgevoerd. Het afval kan daar bezinken. Het water wordt — gewoonlijk na te zijn gezuiverd — op het oppervlaktewater geloosd. Meestal maakt men het flotatiewater eerst met behulp van calciumcarbonaat zwak alkalisch, om bij de flotatie in oplossing gegane metaalverbindingen als (slecht oplosbare) hydroxyden neer te slaan. Het geproduceerde zinkconcentraat wordt naar de zinkfabriek vervoerd.

Tabel 22 geeft een overzicht van de wereld-mijnbouwproduktie van zink. Het blijkt dat in 1974 circa 52%

**Tabel 21.** Aangetoonde en vermoedelijk bestaande zinkertsreserves in  $10^6$  ton zinkinhoud (1970) [3]

	Aangetoond	Vermoedelijk	Totaal
<i>Economisch winbaar</i>			
USA	45	60	105
N-Amerika excl. USA	39	285	475
Z-Amerika	16		
Europa	58		
Afrika	14		
Azië	42		
Australië	21		
Totaal	235	345	580
<i>Subeconomisch winbaar</i>			
USA	75	230	305
Rest van de wereld	1.200	3.000	4.200
Totaal	1.275	3.230	4.505
Totaal economisch en subeconomisch	1.510	3.575	5.058



**Tabel 22.** Wereld-mijnbouwproductie van zinkertsen ( $10^3$  ton zinkinhoud)<sup>1)</sup>

	1963	1968	1973	1974
Amerika	1.388	2.122	2.539	2.469
w.o.: Canada	430	1.052	1.231	1.122
Verenigde Staten	480	480	434	449
Peru	195	291	414	387
Mexico	240	240	271	263
Communistische landen	811	1.152	1.543	1.593
w.o.: Sowjet Unie	400	600	900	950
Polen	147	218	210	200
N-Korea	80	120	160	160
China	90	90	120	130
Europa (excl. comm. landen)	571	683	711	698
w.o.: BR Duitsland	509	118	123	116
Zweden	85	81	118	109
Joegoslavië	61	96	96	95
Spanje	92	76	95	94
Italië	107	140	79	78
Ierse Republiek	—	53	69	66
Australië en Nw. Zeeland	357	422	481	454
Azië (excl. comm. landen)	232	340	392	418
w.o.: Japan	198	264	264	241
Iran	10	27	32	42
Z-Korea	1	19	48	42
Afrika	246	256	238	256
w.o.: Zaïre	103	119	87	81
Zambia	38	53	53	58
ZW-Afrika	34	23	34	45
Wereldtotaal	3.605	4.975	5.904	5.888

<sup>1)</sup> Gegevens: Billiton International Metals.

werd geproduceerd in de westerse geïndustrialiseerde landen en Japan, circa 27% in de communistische wereld en de overige 21% in de derde wereld (voornamelijk Mexico, Peru, Zaïre en Zambia).

#### 4.3. Productie van het metaal

Het bij de mijnen geproduceerde zink(sulfide-)concentraat wordt in de zinkfabriek eerst geroost. Het tussenprodukt, zinkoxyde, zet men door reductie om in het ruwe metaal. Tenslotte volgt nog een zuivering van het ruwe zink.

Bij het roosten worden het zinksulfide en andere in het concentraat aanwezige metaalsulfiden onder ruime luchttoevoer geoxydeerd tot metaaloxiden en zwaveldioxyde. Deze laatste stof dient als basis voor de zwavelzuurproductie. De warmte die vrijkomt bij het roosten wordt meestal benut voor de opwekking van stoom.

Voor het onttrekken van zuurstof (reduceren) aan het zinkoxyde zijn verschillende processen mogelijk. Van deze processen nemen het verticale en horizontale retortproces alsmede het elektro-thermische procédé sterk in betekenis af. Het elektrolytisch proces wordt thans toegepast bij circa 70% van de wereldproduk-

tie. Van de 34 tussen 1960 en 1975 gebouwde fabrieken maken er volgens opgaven 23 gebruik van dit type proces, waarbij het zinkoxyde wordt opgelost in zwavelzuur, gezuiverd en vervolgens uit de oplossing geëlektrolyseerd. Bij het oplossen (logen) en zuiveren moeten alle voor de elektrolyse storende verontreinigingen worden verwijderd. Het zink komt in zuivere vorm vrij. Het wordt van de kathodes verwijderd, in inductie-ovens omgesmolten en tenslotte in blokken gegoten.

#### Alternatieven

Het belangrijkste alternatief voor de elektrolytische zinkbereiding was — evenals in het geval van lood, zie par. 3.3. — gedurende een aantal jaren het Imperial Smelting Furnace proces (ISF). Bij dit proces wordt het zinkoxyde in een hoogovenproces gereduceerd met cokes. Het zink komt in dampvorm vrij. Deze zinkdamp zou bij afkoeling weer snel oxyderen, hetgeen wordt voorkomen d.m.v. afvangen bij hoge temperatuur in een mist van looddruppeltjes. Bij afkoeling van deze lood-zinkvloei stof scheiden deze twee zich, waarbij een vrij zuivere soort zink ontstaat. Een hoogovenproces is een thermisch procédé, waar-



voor minder energie nodig is dan voor een elektrothermisch procédé. Een bijkomend voordeel van het ISF proces is dat tegelijk met zink ook andere metalen zoals lood en koper kunnen worden gereduceerd. Deze metalen kunnen in vloeibare vorm onderuit de hoogoven worden afgetapt. Toch is de groei van het aantal toepassingen tot stilstand gekomen op grond van milieuproblemen, moeilijkheden met de cokesvoorziening, beperkt aanbod van voor het proces zeer geschikte gemengde ertsen (een gevolg van verbeterde flotatietechnieken) en hogere eisen t.a.v. het zinkgehalte van het blokzink. Momenteel wordt ca. 12% van het zink in de wereld geproduceerd volgens de ISF-methode.

Een methode die energie zou besparen is de directe reductie van zinksulfide, maar tot op heden heeft men nog geen commercieel acceptabele methode ontwikkeld.

Tabel 23 geeft een overzicht van de productie van primair zink in de wereld.

#### 4.4. Verbruik en toepassingen

##### Het wereld-zinkverbruik <sup>12)</sup>

Tabel 24 bevat gegevens over het zinkverbruik in de wereld.

##### Verbruikspatroon

Tabel 25 geeft de aandelen in het zinkverbruik van enkele belangrijke toepassingen. Nederland is op dit punt niet representatief vanwege een betrekkelijk kleine automobiel- en huishoudelijke apparatenindustrie (welke overigens veelal spuitgietwerk uit het buitenland betreft). Bovendien bezit ons land geen continue bandverzinkerijen. Per hoofd van de bevolking is het verbruik van zinkmetaal in Nederland dan ook laag in vergelijking met andere gebieden in West-Europa en Noord-Amerika, waar dit wel tot 2 à 3 maal hoger kan zijn.

<sup>12)</sup> Gegevens voor Nederland over import, productie en export vindt men in de bijdrage van drs. H.K. van Tuinen en W. van Sorge (Hoofdstuk 2).

**Tabel 23.** Productie van primair zink in de wereld (10<sup>3</sup> ton) <sup>1)</sup>

	1963	1968	1973	1974
Europa (exclusief communistische landen)	923	1.187	1.561	1.712
w.o.: BR Duitsland	166	203	395	400
België	206	248	272	290
Frankrijk	168	208	258	277
Italië	77	112	182	196
Spanje	69	75	106	130
Communistische landen	834	1.130	1.585	1.645
w.o.: Sowjet Unie	425	620	940	980
Polen	181	202	235	240
China	90	90	120	130
N-Korea	60	80	130	130
Amerika	1.253	1.557	1.332	1.283
w.o.: Verenigde Staten	865	998	605	575
Canada	258	387	533	438
Mexico	56	82	71	133
Azië (excl. comm.landen)	291	632	869	883
w.o.: Japan	291	609	844	851
Australië	179	205	300	277
Afrika	102	116	174	200
w.o.: Zaïre	53	63	68	69
Z-Afrika	—	—	53	65
Zambia	49	53	53	58
Wereldtotaal	3.582	4.827	5.821	6.000

<sup>1)</sup> Gegevens: Billiton International Metals.



**Tabel 24.** Wereldverbruik van primair zink ( $10^3$  ton) <sup>1)</sup>

	1963	1968	1973	1974
Europa (exclusief communistische landen)	1.186	1.400	1.813	1.757
w.o.: BR Duitsland	280	361	438	389
Frankrijk	181	202	290	306
Groot-Brittannië	265	281	305	268
Italië	110	155	220	202
België/Luxemburg	124	122	185	195
Spanje	52	53	107	129
Amerika	1.161	1.472	1.773	1.569
w.o.: Verenigde Staten	996	1.220	1.363	1.174
Canada	72	115	153	141
Mexico	25	42	59	59
Communistische landen	725	1.000	1.421	1.488
w.o.: Sowjet Unie	393	580	840	880
China	90	120	190	200
Polen	112	129	149	160
O-Duitsland	50	60	60	60
Tsjecho-Slowakije	40	39	55	60
Azië (excl. comm.landen)	429	697	1.048	919
w.o.: Japan	305	523	815	678
India	81	81	79	86
Australië en Nieuw Zeeland	93	105	124	133
Afrika	41	54	83	96
w.o.: Z-Afrika	36	39	61	69
Wereldtotaal	3.635	4.728	6.262	5.962

<sup>1)</sup> Gegevens: Billiton International Metals.

### Eigenschappen

De volgende eigenschappen zijn vooral van belang voor de toepassingsmogelijkheden van zink.

- Zowel het smeltpunt (419°C) als het kookpunt (907°C) zijn relatief laag.
- Het metaal is goed pletbaar, doch niet erg rekbaar.
- De mechanische sterkte is matig.
- Zink vormt legeringen met andere metalen; belangrijk is vooral de legering met koper (geelkoper of messing). Bij het thermisch verzinken van staal

ontstaan in de overgangslaag ook legeringen.

- In droge lucht oxydeert het metaal niet; in vochtige lucht wordt het bedekt met een beschermend laagje zinkhydrocarbonaat.
- Zink lost op in de meeste zuren, vooral minerale zuren. De snelheid waarmee dit gebeurt hangt onder andere af van de zuiverheid van het zink en de toestand van het oppervlak van het metaal, de concentratie van het zuur en de temperatuur.
- Zink lost ook op in sterk basische vloeistoffen (logen).

**Tabel 25.** Aandeel in het verbruik van de voornaamste toepassingen van zink in enkele gebieden (1972/1973)

	Aandeel in het verbruik (%)				
	Wereld [30]	VS <sup>1)</sup>	W.Europa [30]	BR Duitsland <sup>1)</sup>	Nederland <sup>1)</sup>
Verzinken	40	38	37	33	39
Zinkspuitgieten	27	40	18	19	2,5
Messing	17	13	23	28	14
Gewalst (blad- en band-) zink	8	3	13	13	25
Zinkoxyde	4	4	5	4	12
Overige toepassingen	4	2	4	2	7,5

<sup>1)</sup> Gegevens voor 1973, afkomstig van Billiton International Metals.



- Zink wordt in het algemeen niet aangetast door organische stoffen.
- Door zijn onedelheid kan het worden gebruikt voor corrosiewerende toepassingen op andere metalen.
- De fysiologische aspecten van zink zijn geheel anders dan die van bijvoorbeeld lood. Het komt in de vorm van organische verbindingen zelfs normaal voor in het lichaam van mens en dier; een tekort kan tot bepaalde deficiëntieverschijnselen leiden.

### Toepassingen

*a. Verzinken.* De belangrijkste werkwijze is het thermisch verzinken, waarbij de te verzinken produkten worden ondergedompeld in vloeibaar zink. De laagdikten die kunnen worden bereikt liggen bij stuksverzinken tussen 50 en 150  $\mu\text{m}$  en bij het continue bandverzinken tussen de 15 en 30  $\mu\text{m}$ . In beduidend mindere mate worden verder nog de volgende technieken toegepast.

- Sherardiseren (zinkstof opbrengen en verwarmen), laagdikte 15-25  $\mu\text{m}$ .
- Zinkspuiten (zinkpoeder of draad in vloeibare vorm verstuiven), laagdikte 25-250  $\mu\text{m}$ .
- Elektrolytisch verzinken (Zn neerslaan uit Zn-elektrolyet), laagdikte 1-20  $\mu\text{m}$ .

Veel verzinkte produkten vinden hun afzet in staalconstructies, bestemd voor industrie en woningbouw. De automobiellindustrie, de scheepsbouw en toepassingen als licht- en elektriciteitsmasten, pijpen en betonstaal nemen echter ook een belangrijk deel voor hun rekening. Het verzinken zal — als meest omvangrijke toepassing — nog nader worden besproken.

*b. Messing.* Samen met koper is zink het belangrijkste legeringsmetaal voor messing of geelkoper. Het zinkgehalte van deze legering varieert van 20 tot 45%. Messing wordt gebruikt voor uiteenlopende produkten, zoals schroeven, autoradiatoren, warmtewisselaars, materiaal voor apparaten- en instrumentenbouw, waterkranen.

*c. Bladzink.* Bladzink is in verschillende dikten verkrijgbaar en wordt veel toegepast in de bouw. Men denke aan dakranden, kilgoten, afdekking van platten en dakkapellen, dakvensteromlijstingen en ventilatiekokers.

*d. Spuitgieten.* De toepassingsgebieden voor zinkspuitgietwerk liggen vooral in de fabricage van produkten van gecompliceerde en vaak dunwandige vormgeving. Autocarburateurs, huishoudelijke apparaten, ornamenten en speelgoed zijn slechts enkele voorbeelden. Het zink dat voor het spuitgieten wordt gebruikt bevat meestal 3 tot 5% aluminium.

*e. Zinkoxyde.* Zinkoxyde wordt onder andere gebruikt voor de produktie van pigmenten, banden (als toevoeging aan de rubber), glazuur, vloerbedekkingsmateriaal en chemicaliën. De zuiverste kwaliteiten worden in de farmaceutische industrie (zalven, lotions, cosmetica) toegepast.

*f. Zinkstof.* Zinkstof is hoofdzakelijk van belang voor de verfindustrie. Zinkstofverven bevatten 90-95% zinkstof. De corrosiewerende eigenschappen zijn speciaal op staal uitzonderlijk goed.

*g. Opofferingsanoden.* Bescherming tegen corrosie van scheepswanden, sluisdeuren, booreilanden, damwanden, buisleidingen (vooral die voor het transport van olie van installaties op zee naar de vaste wal). Het zink wordt in de vorm van blokjes metaal op het te beschermen (edelere) metaal bevestigd en lost zelf langzaam op.

### Nadere bespreking van het verzinken

Aangezien het verzinken — ook in Nederland — het belangrijkste verbruiksdeel vormt, wordt deze toepassing nader in beschouwing genomen. Het verzinken geschiedt primair om staal tegen corrosie te beschermen. Een bijkomend voordeel is, dat bij thermisch verzinkt materiaal de harde buitenlaag tevens slijtvaster is. Het zink vormt een uiterst dunne patina aan het oppervlak, die langdurige bescherming biedt. Het zink kan tevens fungeren als opofferingselektrode in het oxydatieproces, waardoor het ijzer kathodisch wordt beschermd. Dit laatste is vooral bij snijkanten en bij beschadigingen van de zinklaag van belang.

De twee in Nederland meest voorkomende werkwijzen om staal thermisch te verzinken zijn droogverzinken en natverzinken. Op beide zijn enige variaties mogelijk, meestal gevormd door het ontbreken van één of meer spoel- of koelbaden. Het droogverzinken wordt in Nederland het meest toegepast. Met betrekking tot deze werkwijze kan men de volgende gemiddelde kentallen aanhouden<sup>13</sup>).

#### — Materiaalverbruik

Zinkverbruik: 80 kg/ton staal. Het zinkrendement bedraagt 60%, hetgeen betekent dat 50 kg Zn in de vorm van een laag van circa 70  $\mu\text{m}$  op het staal is aangebracht. De rest verdwijnt in zinkas (circa 20%); hardzink, een ijzer-zink verbinding (circa 14%); afvalbeitszuur (circa 3%) en in afvalwater (circa 2%, afhankelijk van de bedrijfsvoering).

De drie eerstgenoemde restprodukten worden bij daarvoor geoutilleerde bedrijven gedeeltelijk tot zink verwerkt en voor de rest tot zinkstof en zinkoxyde. Ook de chemische industrie neemt een deel van deze produkten af.

#### — Energieverbruik

Voor de verwarming van de baden staat meestal een met gas of olie gestookte stoomketel ten dienste. De zinkpot wordt elektrisch of direct met gas verwarmd. Het totale energieverbruik bedraagt circa  $3,1 \times 10^9 \text{ J}$  per ton verzinkt staal.

#### — Milieubelasting

De luchtverontreiniging van 500 gram per ton verzinkt staal (verbruik 80 kg zink), is als volgt samen-

<sup>13</sup>) Gegevens afkomstig van Bammens Groep BV, Maarssen.



gesteld: 84% ammoniumchloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; 0,42 kg), 12% zinkchloride ( $\text{ZnCl}_2$ ; 0,06 kg) en 4% zinkoxyde ( $\text{ZnO}$ ; 0,02 kg).

De overeenkomstige waterverontreiniging bedraagt circa 8 kg, bestaande uit 1,6 kg. zinkionen ( $\text{Zn}^{2+}$ ), 1,6 kg ferro- of ijzerionen ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en 4,8 kg chloride-ionen ( $\text{Cl}^-$ ).

Voorzien wordt dat bovengenoemde hoeveelheden in de toekomst door aanvullende maatregelen zullen worden teruggebracht tot 10% of minder.

De praktische levensduur van een verzinkte staalconstructie is in een landelijke omgeving circa 25 jaar. Dit is dus de tijdsduur van het in gebruik nemen tot het moment waarop de corrosiewerende werking van het zink door oxydatie is verdwenen. Gemiddeld gaat van de zinklaag 2 à 3  $\mu\text{m}$  per jaar door oxydatie verloren, maar in een industriële omgeving alsmede in een zee-klimaat is de levensduur aanmerkelijk geringer, nl. 5 à 8 jaar. Levensduurverlenging is doorgaans mogelijk, hetzij door de laagdikte te vergroten, hetzij door toepassing van een duplexsysteem (zink + verflaag). De levensduur in een industrieel klimaat kan hiermee worden uitgebreid van 5 tot 20 à 30 jaar.

Tijdens het gebruik van verzinkt staal gaat door oxydatie in een landelijke omgeving 1 à 2 kg zink per ton staal per jaar verloren. Voor zover bekend wordt het milieu (oppervlaktewater) hierdoor verwaarloosbaar belast en zijn er geen schadelijke effecten. Een nadellige consequentie is, dat het zinkverlies door oxydatie tijdens gebruik niet meer kan worden teruggewonnen.

Na gebruik worden industriegoederen van verzinkt staal in de meeste gevallen gesloopt met behulp van snijbrandapparatuur. Het energieverbruik per ton gesloopt produkt, inzetbaar bij de staalfabrikage, is moeilijk te geven. Wanneer het afgedankte consumentengoederen betreft, zullen deze in de regel via de gemeentelijke reinigingsdiensten op een stortplaats belanden. Een uitzondering hierop vormen de produkten die schrootwaarde bezitten, zoals auto's en huishoudelijke apparaten. Deze worden voor een deel na enige voorbewerking ingezet als schroot bij de staalfabrikage. Tijdens de gebruikperiode is reeds een deel van het zink door oxydatie voor de kringloop verloren gegaan. Bij het recirculatieproces (schrootinzet bij staalfabrikage) ontwijkt het restant zink in de vorm van stof ( $\text{ZnO}$ ), dat samen met andere tijdens de gasreiniging opgevangen materialen wordt verzameld en bij de voeding van de hoogovens wordt gevoegd. Via de hoogovengaswassing belandt het zink uiteindelijk in het slib. Aangezien het economisch terugwinnen van de 2 à 3% Zn in het slib niet verantwoord is, wordt het momenteel nog geloosd. Hergebruik van het zink in slib is mogelijk indien voldoende slib voor het voeden van een verwerkingsinstallatie kan worden aangeboden. In Nederland is dat niet het geval. In Japan, dat een veel grotere staalproductie heeft, wordt uit het slib een zinkhoudende grondstof voor de zinkelektrolyse gemaakt.

#### 4.5. Substitutie en recirculatie

##### *Overwegingen t.a.v. vervangingsmogelijkheden*

##### *— Het verzinken*

*Materialen* die de corrosiewerende functie van zink zouden kunnen overnemen zijn: organische en anorganische coatings, waaronder metallische bekledingen (bijvoorbeeld aluminium), c.q. combinaties hiervan. De toepassing van alternatieven hangt vooral af van de prijs van het gereede produkt en van de mate waarin het produkt voldoet aan functionele criteria. Het onderhoudsaspect is in deze zeer belangrijk. Verschillende andere mogelijkheden zijn bestudeerd en sommige zelfs in praktijk gebracht, doch tot op heden blijft men op grote schaal aan zink de voorkeur geven en het gebruik in deze sector neemt nog steeds toe.

*Produkten* die de functie van het verzinkte staal kunnen overnemen, zijn: weervast staal (laaggeleerd staal), roestvast staal, aluminium, kunststoffen, beton, etc. Deze vervangende produkten hebben gemeen, dat zij in één materiaal mechanische eigenschappen en corrosiebestendigheid verenigen, wat op zich erg aantrekkelijk is. Een afwegingsproces bepaalt in hoeverre deze alternatieven in aanmerking komen. Zo lijkt de toepassing van weervast staal maatschappelijk aantrekkelijk (minder grondstoffen- en energieverbruik, minder milieubelasting), maar ontmoet bij verschillende toepassingen grote esthetische bezwaren.

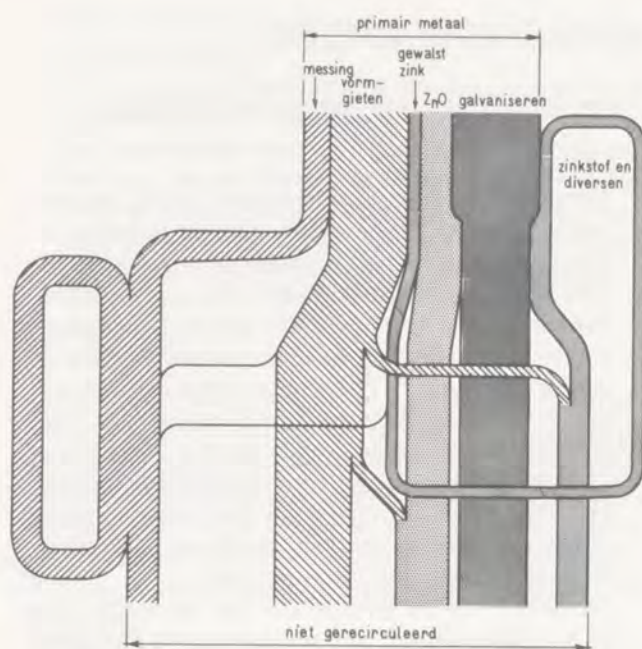
*— Zink als kathodische bescherming* in de vorm van opofferingsanodes. Soms worden andere technieken toegepast, zoals opgedrukte stroom of aluminium of magnesium anoden. Bij dergelijke toepassingen spelen echter overwegingen van technische aard een grotere rol dan de prijs.

*— Zinklegeringen voor spuitgieten.* Op dit gebied ondervindt het dure zink concurrentie van aluminium, voorzover althans het prijsverschil zo groot is dat de hogere produktiekosten van aluminiumlegeringen worden gecompenseerd. Het gietproces is bij het gebruik van zink nauwkeurig. De gietstukken hoeven maar weinig te worden afgebraamd. Vervanging van zink door aluminium (of zelfs magnesium) wordt daardoor niet gauw goedkoper. Om deze reden worden zinklegeringen nog steeds op grote schaal gebruikt en het ligt niet in de verwachting dat zij deze plaats zullen verliezen.

Op bepaalde gebieden — voorzover technisch toelaatbaar — kunnen zinklegeringen worden vervangen door kunststoffen, zodat het verbruik van zinklegeringen een minder sterke groei zal laten zien dan in het verleden.

*— Zinkstof als basis voor zinkstof-compounds.* Deze spelen een belangrijke rol bij het van een corrosiewerende verflaag voorzien van ijzer- en staalconstructies, bijv. in de scheepsbouw. De kosten van het onderhoud stijgen zo sterk, dat besparingen ten gevolge van het toepassen van zinkstofverven al spoedig lonend zijn.





**Figuur 1.** Stromingsdiagram van zink door een economie (Verslag European Zinc Producers Techn. Committee, Stockholm, 1/2 okt. 1975).

- *Zink voor de vervaardiging van messing.* Ook dit is een belangrijke toepassing, waar zink zich zal kunnen handhaven, alhoewel ook het niveau van de koperprijzen van invloed is. In het verleden hebben hoge koperprijzen, onder andere in de kabelindustrie, geleid tot het gebruik van aluminium als vervangend materiaal.
- *Zinkwit (zinkoxyde).* Voorzover toegepast in de verfindustrie, ondervindt het concurrentie van andere witte pigmenten, zoals titaandioxyde en lithopoon. Een belangrijke toepassing, waarbij zinkwit als vrijwel onvervangbaar wordt beschouwd, is die als vulmateriaal in de rubberindustrie en als grondstof voor fotocopieermateriaal. Het fotocopieëren wordt echter weer verdrongen door de xerografie.
- *Blad- en bandzink.* Enkele beperkte toepassingen van dit produkt (in droge batterijen en voor lithografische platen) buiten beschouwing latende, worden blad- en bandzink voornamelijk gebruikt voor dakbedekking en voor goten en pijpen. Afgezien van toepassing op grond van esthetische overwegingen, waarbij de prijs van minder belang is, ondervindt het dure bladzink concurrentie van kunststofprodukten. Tengevolge van de technische eisen waaraan in het bijzonder goten moeten voldoen en die ook voor kunststofgoten gelden, kunnen zinken goten hun marktpositie goed handhaven. De prijsstijging van de aardolie heeft inmiddels de grondstof voor kunststofgoten ook belangrijk duurder gemaakt. Alleen in de doe-het-zelf sector en bij bepaalde vormen van laagbouw, zoals garages en schuren, waar met gewone PVC-goten kan worden volstaan, heeft zink terrein verloren. Zinken afvoerpijpen zijn zo goed als geheel uit de markt verdrongen door de goedkope PVC-pijpen.

#### *Recirculatie van zink*

Productie-afval, c.q. omloopschroot — ook wel secundair schroot genoemd — dat ontstaat als afval in de zinkverwerkende industrie, wordt naar schatting voor 75% opnieuw in de zink-kringloop opgenomen. Het omvat 20-30% van het verbruik in de westerse wereld. Het secundaire schroot, voornamelijk legeringen op zinkbasis en slakken, wordt opgewerkt tot opnieuw in gebruik te nemen metallisch materiaal of gebruikt in andere toepassingssectoren. De legeringen op zinkbasis worden middels destillatie weer gerecicleerd. Zink in messing blijft bij het omsmelten in het messing.

Voor consumptie-afval, dat in de metallurgie ook tertiair of oud schroot wordt genoemd, zijn de organisatorische en technisch/economische recirculatiemogelijkheden uitermate gering. Een uitzondering vormen hier oud bladzink, messing en bepaalde spuitgietlegeringen. De recirculatie van oud zink-schroot wordt geschat op 20-25%. Figuur 1 illustreert de huidige situatie. Op de verbetering van recirculatiemogelijkheden wordt intensief gestudeerd.

#### **4.6. Energie- en milieu-aspecten <sup>14)</sup>**

##### **4.6.1. De energie-inhoud van zink**

Bij de bepaling van de energie-inhoud van zink is uitgegaan van de volgende zaken.

- De winning van zinkerts vindt plaats in dagbouw.
- Het erts is een sulfidisch lood-zinkerts dat door middel van flotatie wordt gescheiden.

<sup>14)</sup> Voor een grondige en uitgebreide behandeling zie men ook [29].



- Het roosten gebeurt in een fluid-bedrooster en het afgas wordt verwerkt in een contactproces-zwavelzuurfabriek.
- De extractie verloopt elektrolytisch. Een purificatieproces behoeft bij elektrolytisch zink niet te worden toegepast.

De energie-inhoud is dan als volgt opgebouwd.

a. *Energiekosten van de winning van het erts.* Deze bedragen  $2,9 \text{ kWh}_e + 20,3 \text{ kWh}_t$ , c.q.  $(3 \times 2,9 + 20,3) \times 3,6 \times 10^6 = 0,10 \times 10^9 \text{ J}$  per ton erts [31].

b. *Energiekosten van malen en floteren.* Deze bedragen  $15,0 \text{ kWh}_e + 18,5 \text{ kWh}_t$ , c.q.  $(3 \times 15 + 18,5) \times 3,6 \times 10^6 = 0,23 \times 10^9 \text{ J}$  per ton erts<sup>15)</sup> [31].

Omdat bij deze processen ook loodconcentraat ontstaat, worden de energiekosten naar het gewicht aan metaalinhoud verdeeld over deze twee geproduceerde concentraten. Per ton zink in concentraat wordt ongeveer 0,5 ton lood in concentraat geproduceerd. De energiekosten van winning, malen en floteren worden daarom voor 2/3 deel aan zink toegekend:  $0,22 \times 10^9 \text{ J}$  per ton erts.

Een post die volledig aan zink moet worden toegekend is het drogen van zinkconcentraat. De energiekosten hiervan bedragen  $0,22 \times 10^9 \text{ J}$  per ton concentraat.

c. *Energiekosten van roosten en zwavelzuurfabrikage.* Het roosten is een exotherm proces. De warmte die vrijkomt bevindt zich hoofdzakelijk in de afgassen en wordt benut om stroom te produceren. Deze wordt gebruikt voor het aandrijven van turbines in de zwavelzuurfabriek en voorts voor een deel besteed aan het verwarmen van oplossingen in de zuiveringsstap. Ook wordt er wel elektriciteit mee opgewekt. Er is in deze studie van uitgegaan dat de stoom geheel in de zinkfabriek wordt verbruikt. De elektrische energiebestedingen van roostfabriek en zwavelzuurfabriek bedragen dan  $90 \text{ kWh}_e$  per ton concentraat ( $0,97 \times 10^9 \text{ J}$  aan primaire energie).

d. *Energiekosten van de zuiveringssectie en de elektrolyse.* De energie voor de zuivering omvat elektrische energie voor o.a. het verpompen van vloeistoffen en stoom voor het verwarmen van de vloeistoffen. De stoom opgewekt bij het roosten blijft verder als energiepost buiten beschouwing. Aan elektrische energie wordt ongeveer  $300 \text{ kWh}_e$  verbruikt. De elektrolyse zelf kost  $3000 \text{ kWh}_e$  per ton zink. Totaal vraagt deze stap dus  $3300 \text{ kWh}_e$  (aan primaire energie  $35,6 \times 10^9 \text{ J}$  per ton zink).

e. *Het omsmelten van zinkkathodes* in een inductieoven kost ongeveer  $128 \text{ kWh}_e$  of  $1,4 \times 10^9 \text{ J}$  aan primaire energie per ton gegoten zink. De energie-inhoud van 1 ton gegoten zink wordt nu als volgt gevonden:  $22,3 \times (\text{energiekosten erts}) + 2,10 \times (\text{energiekosten concentraat}) + 1,07 \times (\text{energiekosten zink}) + 1 \times (\text{energiekosten gegoten zink}) = 46,9 \times 10^9 \text{ J}$  aan primaire energie. In [32] wordt opgegeven  $49,7 \times 10^9 \text{ J}$  per ton.

<sup>15)</sup> Opwekkingsrendement elektrische energie aangenomen op  $33\frac{1}{3}\%$ .

## Het verwerken van lagerwaardige ertsen

De hoeveelheid erts M die nodig is voor de productie van 1 ton metaal hangt af van het gehalte (gewichtspercentage)  $x$  van het metaal in het erts, en van de hoeveelheid A van het metaal in het erts die nodig is voor de productie van 1 ton metaal. M is dan gelijk aan  $A \cdot \frac{100}{x}$ . In het geval van het hiervoor behandelde traditionele proces is  $A = 1,34$  bij een zinkgehalte van het erts van ca. 6%. De toegevoegde energie voor delven, malen en floteren samen was  $0,22 \times 10^9 \text{ J}$  per ton geproduceerd erts. Deze energiekosten als functie van het zinkgehalte  $x$  van het erts worden gegeven door de vergelijking:  $1,34 \times \frac{100}{x} \times 0,22 = \frac{0,295}{x} \times 10^9 \text{ J}$ .

De energie-inhoud E van het geproduceerde zink als functie van het zinkgehalte  $x$  van het erts wordt dan:

$$E = \left( \frac{0,295}{x} + 42,0 \right) \times 10^9 \text{ J per ton gegoten zink}^{16)}.$$

## Het ISF-proces

Het ISF-proces is een thermisch proces en daarom kan worden verwacht dat de energiebehoefte ervan lager is dan die van het elektrolytisch proces. Voor de productie van 1 ton zink is ongeveer 1,15 ton cokes nodig, terwijl men als bijproduct verkrijgt 0,5 ton lood. Deze 1,15 ton cokes moet dus over beide produkten worden verdeeld. Gekozen is een verhouding 2 : 1, omdat de energiekosten van lood en zink als men ze afzonderlijk fabriceert, ongeveer gelijk zijn (zie ook par. 3.6.). Het cokesverbruik voor zink wordt dan 0,767 ton per ton metaal. Voor de productie van 0,767 ton cokes is nodig 1,022 ton steenkool. Energie-inhoud hiervan:  $29,8 \times 10^9 \text{ J}$ . Bij de cokesbereiding komen bijprodukten vrij met een energie-inhoud van  $6,7 \times 10^9 \text{ J}$ . De energiekosten van het ISF proces bedragen dan  $23,1 \times 10^9 \text{ J}$ . In feite moeten ook nog energieposten worden meegenomen voor toevoegingen tijdens het hoogovenproces en voor elektrische energie voor ventilatoren en compressoren. De energie-inhoud van ISF-zink wordt dan ongeveer  $32,4 \times 10^9 \text{ J}$ . Dit is aanzienlijk lager dan de energiewaarde van het elektrolytische proces.

Men dient echter bij het vergelijken van de energiekosten wel te bedenken, dat het elektrolytisch proces een betere kwaliteit zink oplevert:  $\geq 99,99\%$ , terwijl de zuiverheid van ISF-zink ligt tussen  $99,5-99,7\%$ . Om aan de toenemende vraag naar zuiver zink te voldoen moet men dan bij ISF-zink nog een extra bewerking, namelijk herdestillatie, toepassen. Deze bewerking is duur aan arbeid en energie. Men kan dit zelfs als één van de belangrijkste redenen beschouwen voor het uitblijven van spectaculaire successen van het proces. Bovendien brengt het ISF-proces met zich dat de roosting moet worden uitgevoerd op een sinterband, waar continu energie nodig is om het erts tot ontbran-

<sup>16)</sup> De waarde 42,0 vindt men door de formule in te vullen voor het hiervoor gevonden geval: een zinkgehalte  $x$  van het erts van 6% en een energie-inhoud van  $46,9 \times 10^9 \text{ J}$  per ton gegoten zink.



ding te brengen. De vrijkomende gassen zijn te laag in temperatuur om voor stoomproduktie te kunnen worden benut.

#### 4.6.2. Milieubelasting

Bij de bereiding van zink, weer uitgaande van de in 4.6.1. genoemde punten, komen de volgende afvalstoffen vrij.

— *Het delven van het erts*

Bij het delven van zinkerts (gehalte 6%,  $A = 1,34$ ) in dagbouw wordt de bovenlaag gestript. De stripverhouding is 3 : 1 genomen, zodat de hoeveelheid afval bij het delven ca. 70 ton per ton geproduceerd zink bedraagt. Over de hoeveelheid stof die vrijkomt bij het delven zijn geen gegevens bekend.

— *Het malen en floteren*

Bij het malen van zinkerts komt stof vrij en wel 1 kg per ton erts [33]. Per ton zink is dit 22,3 kg. Bij de flotatie komen zogenaamde tailings vrij. Deze bestaan uit fijn gemalen gesteenten, die overblijven bij de flotatie. In dit gruis bevindt zich nog enig zink dat bij verbetering van de flotatietechniek eventueel uit dit afval kan worden gewonnen (een analoog hiervan ziet men bijvoorbeeld bij oude goudmijnen). De hoeveelheid tailings bedraagt 19,3 ton per ton zink. Dit materiaal wordt met het flotatiewater afgevoerd naar vijvers. Het gruis bezinkt en het flotatiewater spuit men.

In dit water bevinden zich nog restanten van de flotatiechemicaliën en opgeloste metaalverbindingen. Door het alkalisch maken van het flotatiewater wordt een groot deel van deze verontreinigingen neergeslagen. Over hoeveel er toch nog in het oppervlaktewater terecht komt zijn ons geen cijfers bekend. Drooggevalen tailings kunnen gaan stuiven. Om dit te verhinderen beplant men ze.

— *Roosten en zwavelzuurfabrikage*

Bij het roosten van zinkconcentraat komt zwaveldioxyde ( $SO_2$ ) vrij, dat voor 98% kan worden gebruikt in een zwavelzuurfabriek. Per ton zink wordt er 23 kg  $SO_2$  gespuid. Bij het roosten in een fluidbedrooster komt er erg veel stof in het afgas. Dit wordt er voor 98% uit verwijderd, omdat het een waardevol produkt is (zinkoxyde) en omdat het stoort in de zwavelzuurfabrikage. Spui: 9 kg per ton zink.

— *Zuivering en elektrolyse*

Het residu dat overblijft bij het oplossen (logen) van zinkoxyde in zwavelzuur wordt na te zijn gewassen naar bassins gepompt, waarin het wordt opgeslagen. Dit residu heeft namelijk een aanzienlijk gehalte aan lood, zink, koper en zilver. Op sommige plaatsen wordt het residu al verwerkt, elders bewaart men het tot er op economische wijze diverse metalen uit kunnen worden gewonnen. Het water uit deze bassins wordt gerecirculeerd omdat het nog geringe hoeveelheden opgeloste metaalverbindingen bevat.

— *Omsmelten*

Een afvalprodukt dat weer wordt verwerkt, is de

slak die op het metaal ontstaat door oxydatie van zink aan de lucht: 25 kg slak per ton zink.

Resumerend wordt er per ton zink aan afvalstoffen geproduceerd:

- 66,9 ton afval bij het delven in dagbouw;
- 22,3 kg stof bij het malen;
- 19,3 ton flotatie-afval: tailings;
- een hoeveelheid flotatiechemicaliën, alsmede opgeloste metalen;
- 23 kg  $SO_2$ ;
- 9 kg stof;
- 625 kg logingsresidu;
- 25 kg slak.

## 5. Aluminium

door ir. B. de Jong, dipl.ing. P.W. van Maaren en drs. P. Pappenheim<sup>17)</sup>

### 5.1. Geschiedenis [34]

Aluminium (Al) is, in tegenstelling tot wat in het algemeen in de vakliteratuur wordt aangenomen, een oud metaal. Duizenden jaren geleden werd er reeds aluminium bereid en verwerkt. Een goed bewijs vormen de aluminium onderdelen van een armband die te Chou Chou in China werden gevonden in een graf uit omstreeks 1000 voor onze jaartelling. Over de bereiding en verwerking van dit antieke aluminium tast men nog in het duister.

Een kleine 3000 jaar ging voorbij voordat men aluminium opnieuw ontdekte. In 1827 bereidde Wöhler als eerste het relatief zuivere metaal door middel van een variant op het alkalimetaal-amalgaam procédé van de Deen Oersted. De vader van de aluminiumindustrie is de Fransman Sainte-Claire Deville. Hij verbeterde in 1850 het proces van de Duitser Wöhler. Het kalium verving hij door natrium en het watervrije aluminiumchloride door het dubbelchloride van natrium en aluminium. Hiermee werd een voor de praktijk bruikbare methode gevonden om aluminium te bereiden uit aluinaarde, maar de prijs van aluminium bleef in de orde van grootte van die van goud liggen. Bunsen en na hem Sainte-Claire Deville wisten aluminium langs elektrolytische weg te bereiden. Dit werd hun mogelijk gemaakt door de vinding van Siemens, die in 1866 de dynamo had uitgevonden waarmee elektrische stroom kon worden opgewekt.

In 1886 maakten Héroult in Frankrijk en Hall in de Verenigde Staten onafhankelijk van elkaar bekend dat zij door middel van elektrolyse van aluminiumoxyde, opgelost in gesmolten kryoliet, aluminium konden vervaardigen. Het jaar 1886 kan dan ook als het geboortjaar van de moderne aluminiumindustrie worden beschouwd. Alle moderne aluminiumsmelterijen voor de vervaardiging van primair aluminium werken nog

<sup>17)</sup> Deze paragraaf is tot stand gekomen door bewerking en uitbreiding van het afstudeerverslag van ir. B. de Jong [29]. Afstudeerhoogleraar was prof. dr. ir. N.W.F. Kossen.



steeds volgens het principe van Héroult en Hall. De kosten daalden al vrij spoedig van ca. f 1.000/kg tot ca. f 2/kg, welk niveau tot heden met kleine schommelingen nagenoeg constant is gebleven. De in de praktijk benodigde hoeveelheid energie om aluminium uit zijn oxyde vrij te maken was in 1888  $150 \times 10^6 \text{ J/kg}$ , in 1900  $90 \times 10^6 \text{ J/kg}$ . De allernieuwste smelterijen voor het vervaardigen van primair aluminium gebruiken nu ca.  $50 \times 10^6 \text{ J/kg}$ . In 1887 maakte de Oostenrijker Bayer een methode bekend volgens welke hij vrij zuiver aluminiumoxyde op een economische manier uit bauxiet kon bereiden. Deze methode, ook wel het Bayerproces genoemd, wordt thans op grote schaal in de aluminiumindustrie toegepast.

## 5.2. Voorkomen, reserves en winning

### Voorkomen

Aluminium staat hoog op de lijst van de meest voorkomende metalen: circa 8% van de aardkorst bestaat uit dit metaal. Het belangrijkste erts waaruit aluminium wordt geproduceerd is bauxiet, genoemd naar de Zuidfranse plaats Les Baux, waar dit materiaal voor het eerst werd gewonnen. Bauxiet ontstaat meestal door uitspoeling van laterietbodems in tropische streken. Het bestaat voor 30 tot 60% uit aluminiumoxyde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). De rest bestaat hoofdzakelijk uit oxyden van ijzer, silicium en titanium ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  en  $\text{TiO}_2$ ). In bauxiet komt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  voor in de monohydraatvorm (boehmiet, diaspoor) of in de trihydraatvorm (gibbsiet). Het gibbsiet is het gemakkelijkst te verwerken in het Bayerproces omdat het minder gebonden  $\text{SiO}_2$  bevat dan de andere ertsen. In het geval van gibbsiet kunnen daarom in de regel lagerwaardige ertsen worden verwerkt dan van boehmiet of diaspoor. Tabel 26 geeft een overzicht van de bekendste aluminiumertsen. De kleigroep bevat de (nog) sub-economische mineralen. Deze komen in grote hoeveelheden overal op de wereld voor.

Het aluminiumoxyde in de kleimineralen kan niet door middel van het reeds eerder genoemde Bayerproces

Tabel 27. Wereldbauxietreserves [37]

	Bewezen reserves ( $10^6$ ton bauxiet)
Afrika	4.040
w.o.: Guinea	3.630
Ghana	285
Australië	3.630
Amerika	2.440
w.o.: Brazilië	907
Jamaica	725
Suriname	545
Europa (excl. comm.landen)	355
w.o.: Joegoslavië	181
Griekenland	82
Frankrijk	63
Azië (excl. comm.landen)	200
w.o.: India	141
Totaal <sup>1)</sup>	10.665

<sup>1)</sup> Gegevens voor de communistische landen ontbreken; volgens [37] omvatten de bewezen reserves in die landen  $600 \times 10^6$  ton bauxiet.

worden gewonnen. Er bestaan voor deze materialen wel ontsluitingsprocédés, waarvan de produktiekosten echter tenminste 20% hoger zijn [35]. Aangezien de winning van bauxiet ongeveer 25% van de kosten van  $\text{Al}_2\text{O}_3$  uitmaakt [36], moet de bauxietprijs ongeveer verdubbelen om de goedkoopste van de alternatieven rendabel te maken.

Tabel 27 geeft een overzicht van omvang en spreiding van de bewezen bauxietreserves over de wereld. De belangrijkste reserves blijken te liggen in Guinea, Australië, Brazilië, Jamaica en Suriname.

### Levensduur van de aanspreekbare voorraden

De wereldvoorraden aan bauxiet worden geschat op

Tabel 26. Grondstoffen voor de bereiding van aluminium [35]

	Formule	Gewichts-% $\text{Al}^1)$	Gewichts-% $\text{Al}_2\text{O}_3^1)$
<i>Alumina</i>	$\text{Al}_2\text{O}_3$	53	100
<i>Bauxiet</i>		25	47
- Boehmiet	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		
- Diaspoor	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		
- Gibbsiet	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$		
<i>Klei</i>		20	38
- Kaolinit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15	28
- Leisteen	Onzuivere klei	14	27
- Anorthosit			
= Albiet	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$		
= Anorthiet	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$		
- Aluniet	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20	87
- Dawsoniet	$\text{Na}_3\text{Al}(\text{CO}_3)_3 \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3$	19	33

<sup>1)</sup> Afgeronde cijfers.



1,2 [3] tot  $4 \times 10^9$  ton aluminiumhoud [38]<sup>1a)</sup>. De consumptie bedroeg in 1972  $12 \times 10^6$  ton primair aluminium (zie par. 5.5.). De voorraad van  $1,2 \times 10^9$  ton is bij het huidige stijgingspercentage van 8,5 per jaar in circa 30 jaar uitgeput. De voorraden van de gemakkelijkt te verwerken andere bronnen zijn echter enorm:  $3,52 \times 10^{12}$  ton Al-inhoud [3]. Dit is bij het verbruik van 1972 voldoende voor 300.000 jaar. Zelfs indien de huidige stijging in het verbruik nog enkele tientallen jaren zou voortduren, is geen spoedige uitputting van deze voorraden te verwachten. De invloed van zulke hoge produktieniveaus op het energieverbruik en het milieu zou uiteraard zeer groot worden.

Het blijkt dat verhoging van het recirculatie-percentage van aluminium van 20% tot 50%, wat vermoedelijk haalbaar is, de levensduur van de voorraad van  $1,2 \times 10^9$  ton slechts verlengt van 27 tot 31 jaar. Verlaging van het groeipcentage heeft een grotere invloed: een afname van 8,5% naar 5% per jaar geeft een levensduurverlenging van 27 tot 36 jaar (zie ook par. 5.5.).

#### Winning en bewerking

Het delven van bauxiet gebeurt in de meeste gevallen in dagbouw. Slechts enkele mijnen (Frankrijk, Griekenland) winnen bauxiet ondergronds. Bij dagbouw moet in de regel eerst de bovenlaag worden afgegraven, voor men bij het ertslichaam komt. Na beëindiging van de mijnbouwwerkzaamheden wordt deze bovenlaag meestal weer teruggebracht in de groeve, waarna zich weer een nieuwe vegetatie kan gaan ontwikkelen. Bauxietwinning vindt op grote schaal plaats en is volledig gemechaniseerd.

Het gewonnen materiaal wordt gemalen en, indien het meer dan 8%  $\text{SiO}_2$  bevat, gewassen. Als de bauxiet over grote afstand moet worden vervoerd, wordt het eerst gedroogd. Dit bespaart transportkosten. Als de volgende stap, de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -produktie, ter plaatse gebeurt, kan het drogen achterwege blijven.

#### 5.3. Produktie van het metaal

Het voorbewerkte erts wordt naar een aluminiumfabriek getransporteerd. Het materiaal ondergaat daar twee hoofdbewerkingen:

- bereiding van aluminiumoxyde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- de reductie van dit oxyde tot aluminiummetaal.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  wordt uit bauxiet bereid door middel van het Bayerproces. Bij dit proces wordt  $\text{Al}_2\text{O}_3$  opgelost in natriumhydroxyde ( $\text{NaOH}$ ) van 180 à 200°C onder druk. Het niet oplosbare gedeelte, de zogenaamde rode modder, wordt afgefiltreerd, gewassen en gestort. Het filtraat wordt gedeeltelijk ingedampt en gent met  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  kristallen (aluminiumoxyde-trihydraat). Bij het afkoelen kristalliseert circa 50% van de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  als het trihydraat uit. De kristallen worden afge-

filtreerd, gedroogd en in een roterende oven gecalcineerd bij 1100°C, waarbij het hydraat water verliest. Het zo geproduceerde zuivere aluminiumoxyde wordt in de volgende processtap geëlektrolyseerd.

De reductie van  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tot Al gebeurt door middel van het Hall-Héroult-proces.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wordt hierbij opgelost in een smelt met kryoliet ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) en aluminiumfluoride ( $\text{AlF}_3$ ). Deze smelt heeft een dichtheid die kleiner is dan gesmolten aluminium, en drijft er daarom op. Het geheel bevindt zich in een koolstofbak die als kathode dienst doet. Als anode worden blokken koolstof gebruikt. Bij de elektrolyse wordt aluminiumoxyde ontleed in aluminium en zuurstof, waarbij het eerste naar de bodem zakt. Van tijd tot tijd wordt het vloeibare aluminium afgetapt en in blokken gegoten, of in vloeibare toestand vervoerd naar aluminium-gietrijen.

De tijdens de elektrolyse gevormde zuurstof reageert met de anode onder vorming van kooldioxyde ( $\text{CO}_2$ ). De warmte die hierbij vrijkomt dient om de temperatuur van de smelt op peil te houden. Doordat de anodes tijdens de elektrolyse worden verbruikt, moet men deze van tijd tot tijd vervangen.

#### Andere processen

Voor laagwaardiger erts dan bauxiet zoals klei of anorthosit, kan men het Bayerproces niet meer toepassen. De  $\text{Al}_2\text{O}_3$  produktie uit klei gaat als volgt. De stof wordt opgelost in salpeterzuur. Er ontstaat dan een oplossing van aluminiumnitraat ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ), waarin ijzerverbindingen slecht oplosbaar zijn. Deze worden afgefiltreerd. Door indampen van de oplossing laat men het aluminiumnitraat uitkristalliseren. Deze stof ontleedt bij verhitting. Hierbij ontstaat zuiver aluminiumoxyde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [39]. De  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -produktie uit anorthosit gebeurt door samensmelten van deze stof met natriumoxyde ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) en kalksteen. Het produkt behandelt men met een soda-oplossing, om  $\text{Al}_2\text{O}_3$  te extraheren. Het aanwezige siliciumoxyde ( $\text{SiO}_2$ ) wordt met behulp van calciumoxyde ( $\text{CaO}$ ) neergeslagen en afgefiltreerd. Door kristallisatie wint men uit het filtraat  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , wat na verhit (gecalcineerd) te zijn, kan worden verwerkt in het Hall-Héroult-proces [40].

Als alternatieven voor het Hall-Héroult-proces zijn de volgende methoden te noemen.

#### — ASP-proces [41]

Bij deze methode wordt aluminiumoxyde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) gechloreerd tot aluminiumchloride ( $\text{AlCl}_3$ ) wat daarna door elektrolyse wordt gereduceerd tot aluminium en chloor. Het chloor wordt gerecicleerd.

#### — AARC-Todt-proces [39]

Men kan hierbij zowel uitgaan van klei als van aluminiumoxyde. Klei wordt gecalcineerd en gechloreerd. Er ontstaat een mengsel van chlorides dat gescheiden wordt door middel van destillatie. Het aluminiumchloride ( $\text{AlCl}_3$ ), dat ook gevormd kan worden door chloreren van zuiver  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , wordt met mangaan bij 300°C omgezet in Al-poeder en mangaanchloride ( $\text{MnCl}_2$ ). Het  $\text{MnCl}_2$  wordt geoxydeerd tot  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , wat in een hoogoven met

<sup>1a)</sup> De wereldbauxietvoorraad volgens [38] is  $15,5 \times 10^9$  ton. Er is circa 4 ton bauxiet nodig voor de produktie van 1 ton aluminium (Tabel 26).



cokes wordt gereduceerd tot mangaan (Mn).

— *Alcan sub-halide proces* [35]

Bauxiet wordt gesinterd in een elektrische oven, waarbij een legering ontstaat van aluminium, ijzer en silicium. Dit produkt laat men reageren met  $AlCl_3$ . Aluminium uit de legering wordt omgezet in  $AlCl$ , wat erg vluchtig is. Het  $AlCl$  wordt opgevangen in een bad van  $Al$ , waarin het ontleedt in  $AlCl_3$  en  $Al$ . Het  $AlCl_3$  wordt weer gerecirculeerd.

— *Het carbothermische en het nitride proces van Péchiney* [35]

Bij deze methode wordt zuiver  $Al_2O_3$  thermisch omgezet in het carbide of het nitride. Deze stoffen ontleeden bij hoge temperatuur, waarbij aluminium wordt gevormd.

Het ziet er nog niet naar uit dat één van de behandelde processen op korte termijn een concurrent kan worden van het Bayer-Hall-Hérault-procédé. Er bestaat nog een chloride-route waarover uit de literatuur niet veel bekend is.

*De produktie van aluminium in de wereld*

Hoewel de produktie van aluminium energie-intensief

mag worden genoemd, is het beslag dat zij legt op de geproduceerde hoeveelheden fossiele brandstoffen zodanig (minder dan 5%) dat veranderingen in de vraag naar energie door de aluminiumindustrie geen grote invloed zullen hebben op de prijs van energie. Daarom mag men de vraag naar aluminium zien als de voornaamste verklarende factor voor het aanbod van aluminium, althans op een termijn die voldoende is voor het opvoeren van de produktiecapaciteit (3 à 5 jaar).

De tabellen 28 en 29 geven een overzicht van respectievelijk de wereldproduktie aan primair aluminium en van de wereldproduktiecapaciteit van primair aluminium in 1975, alsmede een prognose tot 1980. Tabel 30 bevat gegevens over de produktie in 1973 van de belangrijkste aluminium leverende ondernemingen. Uit de cijfers volgt dat de wereldaluminiumproduktie ongeveer voor 60% in handen is van zes ondernemingen. De meeste bauxietexporterende landen zijn ontwikkelingslanden waarvoor dit erts vaak nagenoeg het enige belangrijke exportprodukt is (bijvoorbeeld Guinea, Jamaica, Suriname en andere). Het mag dan ook geen verwondering wekken dat een aantal landen de IBA (International Bauxite Association) hebben ge-

Tabel 28. Wereldproduktie van primair aluminium ( $10^3$  ton) [42]

	1964	1969	1974
Amerika	3.125	4.561	5.713
w.o.: Verenigde Staten	2.316	3.441	4.448
Canada	764	979	1.009
Brazilië	27	32	114
Europa (excl. comm.landen)	1.202	1.865	3.298
w.o.: Noorwegen	261	502	649
BR Duitsland	220	263	689
Frankrijk	316	371	393
Verenigd Koninkrijk	32	34	293
Italië	115	145	212
Nederland	—	69	247
Spanje	50	106	190
Griekenland	—	83	147
Joegoslavië	34	48	147
Communistische landen	1.257	2.021	2.828
w.o.: Sowjet Unie	1.000	1.550	2.200
China	80	130	160
Roemenië	—	90	187
Polen	48	97	102
Azië (excl. comm.landen)	339	726	1.463
w.o.: Japan	264	565	1.118
India	56	132	129
Bahrein	—	—	118
Australië + Nieuw Zeeland	80	126	330
Afrika	51	160	279
w.o.: Ghana	—	113	157
Z-Afrika	—	—	47
Kameroen	51	47	75
Wereldtotaal	6.054	9.459	13.911



**Tabel 29.** Productiecapaciteiten voor primair aluminium in de wereld ( $10^3$  ton)<sup>1)</sup>

	Capaciteit bij begin van het jaar		
	1975	1978	1980 (schatting)
Verenigde Staten	4.475	4.776	5.030
Japan	1.397	1.670	1.715
Canada	1.066	1.140	1.490
Noorwegen	708	734	1.013
BR Duitsland	754	756	820
Frankrijk	410	410	410
Joegoslavië	190	300	400
Spanje	218	229	400
Brazilië	117	207	400
India	240	395	395
Australië	230	350	390
Italië	305	375	375
Verenigd Koninkrijk	366	366	365
Griekenland	145	145	275 <sup>3)</sup>
Nederland	266	266	266 <sup>4)</sup>
Venezuela	50	190	200
Ghana	154	190	190
Egypte	33	100	160
Nieuw Zeeland	117	150	140
Zweden	85	85	135
Iran	50	50	122
Bahrein	120	120	120
Overige landen <sup>2)</sup>	779	885	756
Wereldtotaal	12.275	13.889	15.567

<sup>1)</sup> Gegevens: Billiton International Metals.

<sup>2)</sup> In het Midden Oosten bestaan plannen voor smelters in Abu Dhabi (150), Dubai (120–150), Iran (300), Irak (150), Koeweit (150), Qatar (60–100) en Saoedi-Arabië (300). Het is niet waarschijnlijk dat al deze plannen binnen afzienbare tijd worden uitgevoerd. Zij zijn in de tabel buiten beschouwing gelaten.

<sup>3)</sup> Mogelijk handhaving niveau 1978.

<sup>4)</sup> Péchiney Nederland: 170; Aluminium Delfzijl: 96.

vormd, die ervoor moet zorgen dat de prijzen stabiel en hoog blijven. De produktiecijfers van de IBA in 1973 zijn verzameld in Tabel 31.

#### 5.4. Verbruik, nu en in de toekomst

##### 5.4.1. Verbruik en toepassingen in Nederland

Tabel 32 geeft weer hoe in Nederland het verbruik is

**Tabel 30.** Belangrijkste aluminiumproducerende bedrijven (1973) [42]

	Capaciteit ( $10^3$ ton)	Productie ( $10^3$ ton)	Aandeel in de wereldproductie (%)	Land van herkomst
ALCOA	1.705	1.606	15,8	USA
ALCAN	1.522	1.363	13,4	Canada
REYNOLDS	1.148	1.074	10,6	USA
KAISER	962	891	8,8	USA
PÉCHINEY	963	867	8,6	Frankrijk
ALUSUISSE	479	428	4,2	Zwitserland
Totaal	6.779	6.229	61,4	

verdeeld over de verschillende productiesectoren. Vergelijking met Tabel 29 leert dat er in Nederland voldoende productiecapaciteit bestaat om zowel het binnenlands verbruik als de export te dekken. Het metaal heeft een geringe soortelijke massa ( $2700 \text{ kg/m}^3$ ). Deze eigenschap, alsmede zijn mechanische en chemische eigenschappen, maken toepassingen in de constructiesector aantrekkelijk. Een voor de hand liggend voorbeeld is gebruik voor onderdelen in snelle en frequent versnellende voertuigen.

Aluminium wordt verwerkt tot de volgende halffabrikaten: walsprodukten, persprodukten, gietprodukten, draad en kabel, folies en diverse kleine toepassingen, zoals chemicaliën. Deze worden hoofdzakelijk in de volgende sectoren verbruikt: verkeer (motorblokken, plaatwerk, sierstrips); bouw (constructiemateriaal, kozijnen, plaatwerk); elektrotechniek (draad en kabels, folie); huishoudelijk (potten en pannen, bestek); verpakking (folies, blikjes); machinebouw (gegoten motorblokken e.d.). Ter vergelijking geeft Tabel 33 een overzicht voor een aantal landen van de aandelen van de belangrijkste sectoren in het verbruik.

#### 5.4.2. Het verbruik in de toekomst

##### 5.4.2.1. Internationale situatie

De vraag naar aluminium groeit ruim 3% sneller dan de gemiddelde vraag naar metalen, die min of meer parallel groeit met het reële Bruto Nationale Produkt der diverse landen. Een schatting van de toekomstige vraag op kortere termijn naar aluminium kan dus worden gemaakt door uit te gaan van het verwachte stijgingspercentage van het reële BNP. Het resultaat vindt men in Tabel 34.

Er is geen risico dat de bronnen van grondstof voor aluminium binnen afzienbare tijd worden uitgeput (par. 5.2.). Bij zulk een relatieve overvloed is het aanmerkelijk dat de exploratie naar bauxiet minder intensief is dan voor relatief schaarser wordende metalen en dat de werkelijke voorraad aanzienlijk groter is. Verder is recirculatie een belangrijke factor bij het aanbod van aluminium. Deze zal belangrijker worden naarmate er meer van dit metaal in gebruik is, zodat de behoefte aan grondstoffen minder snel zal stijgen dan het verbruik.

Het proces om aluinaarde uit klei te winnen is bekend



**Tabel 31.** Produktie in 1974 van bauxiet (in 10<sup>3</sup> ton) van de leden van de IBA <sup>1)</sup>

Australië	20.060
Jamaica	15.330
Suriname	6.850
Guinea	7.600
Guyana	3.050
Griekenland	2.810
Joegoslavië	2.370
Dominicaanse Republiek	1.210
India	1.270
Indonesië	1.290
Haïti	790
Sierra Leone	670
Ghana	360

<sup>1)</sup> Gegevens: Billiton International Metals.

**Tabel 32.** Opbouw van het Nederlandse aluminium-verbruik (10<sup>3</sup> ton) <sup>1)</sup>

	1964	1967	1970	1973 <sup>2)</sup>
Bouw	9,5	14,5	23	39
Emballage	9	11,5	17	19
Huishoudelijke en kantoorartikelen	8	10	15	13
Transport	5,5	5	7	12
Chemie/Landbouw/Voedingsindustrie	0,7	0,5	1	8
Werktuigbouw	6	4,5	6	6
Elektrotechnische industrie	6	4,5	6	6
IJzer- en staalindustrie	1	1,1	1,5	3
Poederverwerkende industrie	0,8	0,5	1,5	2
Diversen	5	0,4	2	6
Totaal binnenland	51,5	52,5	80	114
Export van halffabrikaten, folie, kabel en poeders	10,5	15,2	35,6	68 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Gegevens: Aluminium Zentrale, Düsseldorf.

<sup>2)</sup> Schatting Ministerie van Economische Zaken en Lips Dru-nen.

<sup>3)</sup> CBS; Uitvoerstatistiek januari/december 1973. Echter met een correctiefactor 0,917; de verhouding tussen de betreffende cijfers voor 1971 van de Aluminium Zentrale en de Uitvoerstatistiek.

en getest en het is economisch uitvoerbaar zodra kunstmatige of werkelijke beperkingen van de aanvoer van bauxiet zich zouden voordoen. Alleen moet rekening worden gehouden met de investeringen en de tijd die nodig zijn om de produktie op te zetten. Bauxiet wordt gewonnen in een aantal vnl. tropische landen, zodat het risico van een langdurige stagnatie van de aanvoer op politieke gronden niet groot kan zijn. In verband met de geringe politieke stabiliteit van een aantal van deze landen is risico van tijdelijke beperking van de aanvoer van bauxiet niet uitgesloten. Wel is het voorkomen van bauxiet binnen de EEG beperkt, zodat er enige kwetsbaarheid zou ontstaan indien aanvoer van buiten Europa zou worden belemmerd.

#### 5.4.2.2. Toekomstig aluminiumverbruik in Nederland

##### Enkele beleidsoverwegingen

Voor het uitstippelen van een beleid ten aanzien van aluminium zijn vooral drie zaken van belang: energie, kapitaal en een goede prognose. Er is dus inzicht nodig in de te verwachten ontwikkeling van de vraag; in de mate van beschikbaar zijn van kapitaal (momenteel onvoldoende onder invloed van de wat lage prijs); en in hoeveelheid en soort energie nodig en beschikbaar voor reductie en raffinage. Geen knelpunt vormen de volgende factoren.

- Het aanbod van grondstoffen.
- Monopolioïde beïnvloeding van de prijs van de vraagzijde.
- Kwantitatieve beperkingen van de produktie door monopolisten, c.q. regeringen van exportlanden.
- Exorbitante prijsstijgingen, c.q. prijs-schommelingen. De veelgebruikte Gini-index voor de prijs-schommelingen van aluminium bedraagt 5,7 over de periode 1963-1974 en is daarmee de op één na gunstigste van alle 18 basisprodukten van de wereld en één van de laagste van alle metalen [46].

Vanuit het oogpunt van de beleidsbepaling kan men zich de volgende vragen stellen.

**Tabel 33.** Aandelen in het nationaal verbruik voor een aantal sectoren (1970/75)

	Engeland [43]	Hongarije [43]	Japan [43]	Nederland <sup>1)</sup>	USA [45]	BR Duitsland [44]	Zweden [43]	Zwitserland [43]
Transport	28	13	16	11	23	23	6	10
Elektro-technische industrie	11	29	7	5	15	11	20	11
Bouw	10	16	32	34	22	17	37	23
Werktuigbouw	6	5	19	5	8	7	7	17
Huishoudelijk/kantoor	10	13	3	11	10	10	13	4
Verpakking	8	—	—	17	11	8	11	24

<sup>1)</sup> Aluminium Zentrale, Düsseldorf.



**Tabel 34.** Vraag naar primair aluminium (10<sup>3</sup> ton) in de niet-communistische wereld; 1972 — 1978

	1972	1973	1974	1975	1976	prognose 1977	1978
Europa (incl. Joegoslavië en Turkije)	2.822	3.238	3.430	2.828	3.290	3.680	3.989
Noord-Amerika	4.542	5.382	5.466	3.905	4.945	5.370	5.700
Midden- en Zuid-Amerika	279	332	401	400	450	510	575
Afrika	91	102	121	115	140	160	190
Azië	1.517	1.939	1.603	1.612	1.908	2.106	2.292
Australië en Nieuw-Zeeland	127	184	212	180	195	210	225
Totaal	9.378	11.177	11.233	9.040	10.928	12.036	12.971
Procentuele verandering t.o.v. vorig jaar	+ 10,6	+ 19,2	+ 0,5	- 19,5	+ 21	+ 10	+ 8

— Moet men het verbruik van aluminium afremmen of stimuleren?

— Waar moet het aluminium worden geproduceerd?

Gegeven de toereikendheid van de grondstoffen gaat het er slechts om dat de prijsontwikkeling de vraag kan volgen, zodat de financiering van de investeringen voor nieuwe raffinage- en reductiebedrijven is verzekerd. Dit wordt bereikt door zich te onthouden van ingrepen. Van de zijde van de aluminiumproducenten is daarnaast gesteld dat men zou moeten afzien van het instellen van een termijnmarkt voor aluminium, aangezien dit zou leiden tot sterkere fluctuaties in de prijzen als gevolg van speculatie, en dus wegens het vergrote risico tot een geringere neiging tot investeren [47].

De eerste vraag is daarmee in essentie een kwestie van energiepolitiek op korte termijn en van energie versus grondstoffen op lange termijn. Beginnend met dit laatste, zou aluminium een aantal andere grondstoffen moeten vervangen wanneer deze uitgeput raken [48]. Deze substitutie zal mogelijk worden indien voldoende elektrische energie beschikbaar zal zijn. De meningen over de toekomstige schaarste aan elektrische energie lopen uiteen, getuige de houding in Nederland ten opzichte van kerncentrales <sup>20)</sup>. Daarbij spelen motieven als stimuleren van soberheid en verplaatsen van de produktie naar ontwikkelingslanden mede een rol.

Aannemende dat er voldoende energie ter beschikking zal zijn, geldt voor de vervanging van schaarse materialen door aluminium de algemene regel: hoe eerder men ermee begint, hoe beter de overgang verloopt. Van belang is dan de totale energiebalans (produktie- en gebruikscyclus) van de toepassing voor di-

verse mogelijke materialen. Zoals in par. 5.5. zal worden aangetoond, kan deze balans in een aantal gevallen uitslaan ten gunste van aluminium. Ook van belang voor de korte termijn is de vraag in hoeverre marktfactoren voor andere metalen negatief zijn, zodat uit dien hoofde substitutie van deze metalen door aluminium wenselijk kan zijn.

De vraag waar de produktie van aluminium moet plaatsvinden ligt in het vlak van internationale economische politiek. Met name spelen hierbij de volgende vragen.

— Wat draagt een aluminiumfabriek bij tot de ontwikkeling van een bepaald ontwikkelingsland?

— Hoe belangrijk is bezit in eigen land (of EEG) van een aluminiumproducerende industrie (uitgaande van Europese grondstof)?

— Is er plaatselijk voldoende elektrische energie uit al dan niet fossiele bron?

In het kader van deze studie moet worden volstaan met de vaststelling dat een aluminiumfabriek in verhouding tot de geboden werkgelegenheid zeer kapitaalintensief is en eigenlijk alleen tot economische vooruitgang van een ontwikkelingsland zal leiden indien daar een bron van goedkope energie is, waarbij voornamelijk aan waterkracht (hydraulische energie) valt te denken.

#### Prognose

In 1973 lag het binnenlands verbruik van aluminium rond de 8 kg per hoofd van de bevolking, een cijfer dat — zoals uit Tabel 32 valt af te leiden — een forse stijging onderging in de laatste tien jaar. Een prognose over de aluminiumconsumptie is mede afhankelijk van een schatting van de ontwikkeling van het nationale inkomen.

Als men het jaarverbruik per hoofd van aluminium voor een aantal landen vergelijkt met hun nationale produkt, blijkt dat naarmate een land een hoger nationaal produkt geniet, het aluminiumverbruik daarmee veel meer dan evenredig is toegenomen [49]. Dit wijst erop dat er bij toenemende welvaart een verschuiving

<sup>20)</sup> Een aluminiumfabriek met haar constante verbruik van energie is een ideale afnemer voor een kerncentrale die immers eveneens een constante basisproduktie aan elektrische energie levert. Dit in tegenstelling met centrales op basis van fossiele brandstoffen, waarbij de produktie binnen bepaalde grenzen aan de behoefte kan worden aangepast.



in materiaalgebruik plaatsvindt ten gunste van aluminium. Dit valt ook te verwachten op grond van de eigenschappen van dit metaal, met name de aspecten dat het weinig onderhoud nodig heeft en een geringe soortelijke massa bezit.

In de Verenigde Staten is het aluminiumverbruik 23 kg per hoofd en het stijgt nog. Er zijn redenen om aan te nemen dat dit hoge verbruik in de Verenigde Staten wordt veroorzaakt door een bijzondere economische — en wellicht ook culturele — historie. Een redelijke schatting kan daarom zijn dat het verbruik van aluminium in de industrielanden anders dan de VS nog wel sterk zal stijgen, maar asymptotisch zal naderen tot ongeveer 20 kg per hoofd van de bevolking. Voor Nederland zou dit betekenen dat wij op wat langere termijn (10 à 20 jaar) moeten rekenen op een verdubbeling van het verbruik in 1973. Deze verdubbeling zal — zoals gezegd — voor een belangrijk deel bestaan uit een kwalitatieve verandering in het pakket goederen dat wordt gekocht, niet zozeer een kwantitatieve.

Behalve voor eigen verbruik is aluminium in Nederland ook nodig voor halffabrikaten die wij exporteren (zie Tabel 32), en voor verwerking in velerlei exportprodukten <sup>21)</sup>. Prognoses omtrent de export zijn niet beschikbaar.

In Nederland was in de periode 1964 - 1973 het jaarlijkse groeipercentage van het BNP tegen vaste prijzen ongeveer 5% en van het verbruik van aluminium ruim 8%. Uitgaande van het gegeven dat in de V.S. de vraag naar aluminium ruim 3% sneller steeg dan de vraag naar andere metalen, ondanks het hogere niveau van het verbruik van aluminium, mogen wij aannemen dat de relatieve groei van het verbruik van aluminium zal blijven voortduren gedurende de komende 20 jaar, behoudens uiteraard effectieve maatregelen van de overheid om deze relatieve groei te beïnvloeden.

De prognose voor het binnenlands aluminiumverbruik in Nederland is dan eenvoudig te maken, afhankelijk van de gemaakte veronderstelling van de groei van het BNP in vaste prijzen (Tabel 35).

**Tabel 35.** Prognoses binnenlands aluminiumverbruik

Groei BNP (%/jaar)	0	2	3	5
Groei binnenlands aluminiumverbruik (%/jaar)	3	5	6	8
Vraag naar aluminium (10 <sup>3</sup> ton) in:				
1975 (uitgangspunt)	120	120	120	120
1980	140	153	160	176
1985	161	195	215	260
1990	187	250	290	380
1995	217	320	380	560

<sup>21)</sup> Zie ook de bijdrage van drs. Van Tuinen en W. van Sorge in Hoofdstuk 2.

De schattingen voor 1990 en 1995 welke behoren bij 3% en 5% stijging van het BNP komen hoger uit dan overeenkomt met het genoemde verzadigingsniveau van 20 kg per hoofd. Afhankelijk van de gebruikte prognose van de Nederlandse bevolking ligt dit niveau namelijk tussen 300 en 350 x 10<sup>3</sup> ton. Maar het is toch wel te verwachten dat deze asymptoot bij een reële welvaartsstijging nog wat naar boven zal schuiven. Een niveau van 380 x 10<sup>3</sup> ton lijkt dan alleszins reëel, hetgeen tenslotte niet hoger is dan het huidige verbruik per hoofd in de V.S. Slechts bij de prognose van 560 x 10<sup>3</sup> ton dient een vraagteken geplaatst. Een gemiddelde stijging van het BNP met 5% per jaar van nu tot 1995 lijkt echter eveneens vrijwel uitgesloten.

Naast deze binnenlandse vraag is er die van de export-industrie van aluminium halffabrikaten. Het is een hachelijke zaak om hiervoor een prognose te geven, omdat geen gegevens van deze industrie worden gepubliceerd en ook omdat hier naast de algemene ontwikkeling van de conjunctuur tevens concurrentieverhoudingen een rol spelen, welke op het ogenblik voor Nederland niet gunstig liggen.

## 5.5. Terugwinning en vervanging

### *Recirculatie en duurzaamheid*

Mede door zijn weerstand tegen corrosie en andere eigenschappen is aluminium bijzonder geschikt voor recirculatie. De mogelijkheden daartoe worden op het ogenblik nog niet voldoende uitgebuit. Dit ten dele omdat er nog veel mankeert aan onze afvalverwerking, maar ook omdat het gebruik van aluminium nog sterk stijgend is. Hierdoor is de omvang van de generatie aluminiumprodukten waar de afval vandaan moet komen, relatief klein ten opzichte van de huidige behoefte. De feitelijke herwinning van aluminium uit afval bedraagt in Nederland op het ogenblik rond 30 x 10<sup>3</sup> ton of 20% van het totale verbruik van dit metaal [50]. Rekening houdend met het bovengenoemde generatie-effect, zou dit percentage ongeveer kunnen verdubbelen.

Door Chapman [44] is een model opgesteld waarmee men kan berekenen hoeveel schroot jaarlijks maximaal te recirculeren is. In Engeland wordt 84% van het nieuwe schroot (afval van de produktie dat niet door het bedrijf zelf, als huisschroot, wordt gerecirculeerd) en 50% van het oude schroot (afval van de consumptie) opnieuw verwerkt. De rest wordt waarschijnlijk gedumpt. Voor de VS liggen deze cijfers lager: respectievelijk 70 en 20%. Als de maximaal te recirculeren hoeveelheid aluminium ook werkelijk zou worden gehaald, zou voor ongeveer 50% in de totale aluminiumbehoefte kunnen worden voorzien, zelfs bij een exponentieel stijgende consumptie [44, 45].

Levensduurverlenging heeft voor het materiaal aluminium in de regel weinig zin. De meeste toepassingen zijn modegevoelig (auto's), hun levensduur wordt door andere factoren — zoals technische voor-



uitgang — bepaald (huishoudelijke produkten, elektrische apparaten) of het gebruik is eenmalig (verpakking). Alleen voor toepassingen in de bouw en in hoogspanningskabels zou levensduurverlenging zinvol kunnen zijn, omdat het op zichzelf zeer effectief is (zie ook de bijdrage van prof. Dirken in Hoofdstuk 2). Verduurzaming kan worden verkregen door het toepassen van betere legeringen.

### *Concurrentiepositie van aluminium*

#### *1. Algemeen*

In al die gevallen waar met veel minder gewicht kan worden volstaan voor de toepassing in aluminium, waar corrosiebescherming van staal bijzondere en energieverbruikende maatregelen eist of waar staal snel verloren zal gaan ten gevolge van corrosie, kan de energiebalans ten gunste van aluminium doorslaan. In verband met de geringe soortelijke massa, corrosiebestendigheid en bijzondere mechanische eigenschappen kan fabricage van het eindproduct in aluminium minder energieverwendend zijn dan van staal. Dit moet per toepassing worden bekeken. Alexander, c.s. vermelden van een aantal materialen de energie-investering per eenheid van respectievelijk treksterkte, elasticiteitsmodulus en vermoeidheidssterkte [51]. Met behulp van deze aanpak kan men bijv. een indruk krijgen van welke bouwstoffen de concurrentiepositie verbetert bij een stijging van de energieprijzen.

Behalve staal zijn ook kunststoffen in een aantal toepassingen vervangbaar door aluminium. Per gewichtseenheid gebruiken kunststoffen gemiddeld twee maal zo veel energie als staal, maar nauwelijks de helft van de energie van aluminium. In het algemeen is voor een bepaalde toepassing in kunststof veel minder massa nodig dan in staal. Met aluminium is het verschil wat kleiner [52, 53]. Kunststoffen zijn echter nauwelijks voor recycling vatbaar, al kunnen zij bij verbranding als afval weer wat energie opleveren. Wanneer men de herwinning van aluminium (die minder dan 5% van de energie voor de produktie eist, zie par. 5.6.) op een hoog peil weet te brengen, zal substitutie van aluminium door kunststoffen uit oogpunt van energiepolicies in elk geval niet aantrekkelijk zijn; het omgekeerde zal eerder in aanmerking komen.

#### *2. Transport*

In het verkeer wordt aluminium steeds meer toegepast vanwege de geringe soortelijke massa. Aluminium vervangt staal in plaatwerk en gegoten produkten. In lichtgewichttoepassingen is er concurrentie met magnesiumlegeringen.

Er zijn meerdere studies gemaakt van het verband tussen benzineverbruik van personenauto's en het gewicht ervan. Gemiddeld vervangt 1 kg aluminium 2,2 kg staal. Dit betekent een gewichtsbeparing van 1,2 kg of voor een gemiddelde Europese auto een besparing van  $4,2 \times 10^5$  liter benzine per afgelegde km [54]. Bij een gebruik van zo'n auto over 120.000 km betekent dit een besparing van rond 5 liter benzine per kg

toegepast aluminium. Het gehalte aan dit metaal van Amerikaanse en Europese typen is respectievelijk ongeveer 36 en 40 kg per gemiddelde auto. Men zou deze gewichten kunnen opvoeren tot respectievelijk 190 en 160 kg. De extra brandstofbesparing zou dan voor de Europese personenauto ongeveer 600 liter benzine kunnen bedragen, gerekend over de gehele levensduur. Een ander pluspunt van vergroting van het aluminiumgehalte is de verhoging van de schrootwaarde van de afgedankte wagen.

Bij de Franse spoorwegen zijn nieuwe rijtuigen beproefd die door toepassen van aluminium circa 3,3 ton minder wegen dan de conventionele modellen. Hier vindt men een netto besparing van gemiddeld 2 liter dieselolie per kg aluminium over een traject van 120.000 km.

#### *3. Elektrotechniek*

In de elektrotechniek vervangt aluminium steeds meer koper en kan op den duur wellicht zelf weer in beperkte mate worden vervangen door supergeleidende materialen. De substitutie van koper door aluminium in elektrische leidingen (ook hoogspanningstracés) gebeurt op grote schaal omdat koper duurder is. Men heeft theoretisch twee keer het gewicht aan koper nodig voor een bepaalde mate van elektrische geleiding dan i.g.v. aluminium. In dat geval zou toepassen van aluminium evenveel energie vragen als koper. In de praktijk is toch iets meer aluminium nodig, waardoor de toepassing ervan ongeveer 10% meer energie eist. Daartegenover staat dat het geringere gewicht van aluminium een gewichtsbeparing op de dragende constructie kan opleveren (zoals bij hoogspanningslijnen), zodat per saldo de energiebalans koper/aluminium wel ongeveer in evenwicht zal zijn. Voorts is er de overweging dat koper zeer grote prijsfluctuaties kent en dat de wereldreserves van dit metaal beperkt zijn. De ertsvoorraden in Europa zijn volledig ontoereikend om de behoefte van de EEG te dekken.

#### *4. Bouw*

Staal heeft als voordeel de grotere treksterkte en stijfheid; aluminium het geringere gewicht. Aluminium wordt veel toegepast in raamkozijnen en deuren. Hierin ondervindt het concurrentie van roestvrij staal en van hout. De tendens is dat aluminium meer wordt gebruikt in de bouwsector. Op dit gebied is nog te weinig studie verricht om met volledige en goede cijfers te kunnen komen. Het is bekend dat warmteverlies van huizen door tocht groot kan zijn. Aluminium ramen maken een tochtvrije constructie mogelijk. Het metaal is namelijk vormvast en heeft corrosiewerende eigenschappen. Staal roest en hout vervormt op den duur.

#### *5. Machine- en apparatenbouw*

Gegoten aluminium onderdelen krijgen een steeds groter aandeel in de markt. Dit gaat ten koste van andere gegoten materialen als zinklegeringen of gietijzer. Tot de nieuwste toepassingen van aluminium behoren het gebruik als constructiemateriaal in zonne-



collectoren (raamlijst en collectorplaat) [55] en ontzittingsinstallaties [56].

#### 6. Huishoudelijk gebruik

Er is concurrentie tussen roestvrij staal en aluminium (pannen, bestek). Ook kunststoffen en keramisch materiaal hebben hier een aandeel.

#### 7. Verpakking

Aluminiumfolies kunnen worden vervangen door kunststof. Aluminium blikjes krijgen een groter aandeel in de blikmarkt, ten koste van diverse soorten stalen blikjes.

Het verbruik van aluminium stijgt in alle bovengenoemde sectoren. Tegenover de lagere exploitatiekosten in diverse gevallen staan veelal hogere investeringskosten. Het gaat er dus wel om de specifieke voordelen van het metaal te benutten.

### 5.6. Energie- en milieu-aspecten

#### 5.6.1. De energie-inhoud van aluminium

Voor het gebruikelijke Bayer-Hall-Hérault proces is de energie benodigd voor de produktie van 1 ton aluminium in Stichtingspublicatie 19 berekend op ca.  $230 \times 10^9$  J aan primaire energie [50]. Er is daarbij uitgegaan van 4,5 ton bauxiet, welke 1,95 ton  $Al_2O_3$  oplevert, alsmede van een opwekkingsrendement van 1/3 voor de benodigde elektriciteit. De energie-inhoud van machines en gebouwen is buiten beschouwing gelaten. Men komt in de literatuur betrekkelijk uiteenlopende resultaten tegen [31, 32, 35, 40, 57]. Doorgaans kan dit worden verklaard door het verschil in aannamen en uitgangspunten.

##### *Energie benodigd voor alternatieven*

##### *— Grondstoffen*

De energie-inhoud van aluminium is uiteraard afhankelijk van de kwaliteit van de verwerkte grondstoffen. Voor bauxiet met 30%  $Al_2O_3$ , klei en anorthosit vindt men achtereenvolgens een energiebehoefte van 270, 290 en  $320 \times 10^9$  J per ton aluminium [40].

##### *— Processen*

Voor de in 5.3. genoemde andere processen is weinig met zekerheid te zeggen, omdat geen van de processen momenteel wordt toegepast. De verwachting is dat het ASP-proces 30% reductie op de energiekosten van de elektrolyse zal opleveren. De ontwerpers van het AARC-Todt proces verwachten zelf 90% reductie in elektrische energiekosten, maar geven geen waarde op voor de energiebehoefte voor de reductie van  $Mn_2O_3$  in een hoogoven. Over de andere processen vindt men in de vakliteratuur zelfs geen globale schattingen.

##### *Energiebehoefte voor het recirculeren*

De energiekosten van het terugwinnen van aluminium

zijn aanzienlijk lager dan die van de produktie van primair aluminium. Zij hangen sterk af van de verwerkte soort schroot en van de efficiëntie van de omsmeltoven. Gemiddeld variëren de energiekosten voor gerecirculeerd aluminium van 3 tot 5% van de kosten voor primair aluminium. Opvoeren van de hoeveelheid gerecirculeerd aluminium zal dus aanzienlijk aan energie besparen [50].

#### 5.6.2. Milieubelasting

De produktie van materialen heeft altijd tot gevolg dat het milieu door het produktieproces wordt beïnvloed. Deze beïnvloeding kan op verschillende manieren plaatsvinden (zie de bijdrage van prof. Mörzer Bruyns in Hoofdstuk 3). Een groot deel van deze milieubeïnvloedingen kan worden verminderd of zelfs teniet gedaan door het nemen van maatregelen. Dit kost echter geld en energie. Men kan dan ook constateren dat in een tijd van relatieve schaarste aan grondstoffen, kapitaal en energie de lozingsnormen van afvalstoffen in een land als de V.S. worden verzacht, iets wat uit het oogpunt van milieubehoud niet aanvaardbaar is.

Een mogelijkheid voor het vergelijken van diverse vormen van water- en luchtverontreiniging wordt gegeven door Babcock, c.s. [58]. Hij vergelijkt emissies aan de hand van de lozingsnormen zoals die vastliggen in de Amerikaanse EPA-normen. Het quotiënt van de hoeveelheid verontreiniging en de lozingsnorm geeft dan een maat voor de ernst van de milieubelasting. Maar voor lang niet alle stoffen is er een lozingsnorm en de normen veranderen nogal eens door gewijzigde inzichten. Visuele verontreinigingen zijn overigens op grond van zulke criteria niet te vergelijken. Vandaar dat deze paragraaf zich beperkt tot het inventariseren en kwantificeren van de diverse afvalstromen van het produktieproces.

##### *Inventarisatie van de milieubelasting*

##### *— Afval bij de winning*

Bij de bauxietwinning in dagbouw moet eerst de bovenlaag van de grond worden gestript. Dit levert een hoeveelheid afval op van ca. drie ton per ton gedolven bauxiet. Bij het malen en delven komt stof vrij. De hoeveelheid bedraagt 3 kg per ton bauxiet, en wordt voor 80% afgevangen [33]. Per ton bauxiet wordt dus 0,6 kg stof gespuid.

##### *— Afval bij de $Al_2O_3$ -bereiding*

Bij het calcineren van de  $Al_2O_3$  komt stof vrij. De hoeveelheid is 100 kg per ton  $Al_2O_3$  en wordt voor 90% afgevangen [33]. Per ton  $Al_2O_3$  wordt dus 10 kg stof geloosd. Een tweede afvalstroom is de rode modder. De hoeveelheid die hiervan vrijkomt, hangt sterk af van het  $SiO_2$ - en  $Fe_2O_3$ -gehalte van het bauxiet. Bij een normale bauxietsoort (50%  $Al_2O_3$ ) bedraagt de hoeveelheid geproduceerde rode modder 0,95 ton per ton  $Al_2O_3$ .

Soms wordt de rode modder gebruikt om er  $Al_2O_3$  en  $Fe_2O_3$  uit terug te winnen. Een goede toepassing voor



deze grote hoeveelheid afval is er echter niet. Bij de opslag gaan de fijngemalen deeltjes stuiven als de modder opdroogt.

#### — Afval bij de Al-bereiding

Bij de elektrolytische reductie door middel van het Hall-Héroult proces komen de volgende afvalstoffen vrij.

- CO<sub>2</sub> en CO (door verbranding van de anodes).
- SO<sub>2</sub> (door zwavel in de anodes).
- Koolwaterstoffen (uit de anodes).
- Gasvormige fluorides (uit het elektrolyet; hoofdzakelijk HF en SiF<sub>4</sub>).
- Stof: een mengsel van koolstof, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en een aantal fluorides.

De gevaarlijkste milieubelastende stoffen die vrijkomen, zijn de fluorides.

In het algemeen kan de zuivering op twee manieren gebeuren: door een primair systeem of door een secundair systeem. Bij een primair systeem is de cel overkapt en worden de gassen die bij de elektrolyse vrijkomen afgezogen naar de gasreinigingsinstallatie. Bij een secundair systeem laat men de afgassen vrij in de fabriek en ventileert men de fabriek door rotoren in het dak, waar zich tevens een zuiveringssysteem bevindt. In het geval van een secundair systeem moet men grotere gasvolumes verwerken. Een nadeel van een primair systeem is dat bij sommige operaties (bijvoorbeeld het aftappen van aluminium) de overkapping moet worden opengemaakt, waardoor gassen aan het primaire systeem ontsnappen. Het best werkt een combinatie van een primair en een secundair systeem, maar dit wordt vaak te duur geacht om toe te passen. In Europa zijn de meeste fabrieken uitsluitend uitgerust met een secundair gasreinigingssysteem [33]. De afvangpercentages van diverse secundaire systemen staan vermeld in [59].

De totale hoeveelheid afval bij de elektrolytische bereiding van 1 ton aluminium kan als volgt worden gespecificeerd:

- 50 kg slak;
- 15 kg stof, waarvan 5,5 kg fluorides;
- 0,5 kg gasvormige fluorides;
- 1,7 ton CO<sub>2</sub>, alsmede 180 kg CO;
- 30 kg SO<sub>2</sub>;
- 14 kg fluorides in water uit het gasreinigingssysteem.

#### Milieubelasting van alternatieven

Bij het toepassen van lagerwaardige bauxieten neemt de hoeveelheid afval bij de winning en de hoeveelheid rode modder bij de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-bereiding toe. Bij het toepassen van alternatieve grondstoffen, zoals klei en anorthosiet krijgt men bovendien andere vormen van milieubelasting, vanwege de andere ontsluitingsroute. Bij het proces voor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-bereiding uit klei komen bijvoorbeeld tijdens het calcineren van Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> nitreuze verbindingen vrij. Over de hoeveelheden afval is niets bekend omdat deze processen niet in de

praktijk worden toegepast.

De alternatieven voor het Hall-Héroult proces hebben het voordeel dat er geen fluorides vrijkomen tijdens de Al-bereiding. Bij de processen die met chloor werken (ASP-, AARC-Todt en Sub-halideproces) bestaat de kans dat chloor of chlorides worden gespuid. Ook hier valt weinig te zeggen omdat er nog geen procesgegevens zijn.

#### Milieubelasting door recirculatie

De milieukosten van gerecirculeerd aluminium hangen af van de soort schroot. Nieuw schroot, afkomstig van de productie, is in de regel weinig verontreinigd en kan vrij gemakkelijk worden omgesmolten. Oud schroot kan ijzer bevatten, wat door middel van magnetische scheiding uit het aluminium kan worden verwijderd. Isolatiemateriaal van kabels en draad moet worden afgebrand, wat zeker milieubelasting oplevert. Ook olieresten die in beide soorten schroot aanwezig kunnen zijn, werken milieubelastend. Bij het schoonmaken van schroot ontstaan SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en koolwaterstoffen. Als er PVC in het isolatiemateriaal is verwerkt, bevindt zich in het afgas ook HCl. Over de toegepaste zuiveringssystemen en de hoeveelheid spui zijn geen gegevens gevonden. Gerecirculeerd aluminium heeft als voordeel boven primair aluminium dat er bij de verwerking geen fluorides vrijkomen.

#### 5.7. Magnesium als legerend metaal voor aluminium <sup>22)</sup>

Magnesium (Mg) was, zij het in de vorm van complexe verbindingen, al in de Oudheid bekend. Zijn naam dankt het aan één van de belangrijkste vindplaatsen uit die tijd, namelijk het plaatsje Magnesia in Thessalië (Griekenland). In 1833 werd magnesium voor het eerst bereid door Faraday via elektrolyse van gesmolten watervrij magnesiumchloride, een procédé dat in 1852 door Bunsen verder werd ontwikkeld om het metaal op grote schaal te produceren. De prijs van magnesium bleef evenwel in de orde van grootte van die van goud. Dit duurde tot 1886, toen men de door Grätzel ontwikkelde elektrolysecellen in de aluminium- en magnesiumfabriek te Hemelingen ging toepassen. Hierdoor werd het mogelijk magnesium tegen een veel lagere prijs te vervaardigen. Dit bedrijf verkreeg als eerste door middel van elektrolyse magnesium uit carnalliet. Het is ook deze delfstof, die — samen met bischoffiet en kaliumzouten — in Groningen, Friesland en Drente in economisch winbare vorm wordt gevonden [60].

Shell ontwikkelde voor de Nederlandse situatie een nieuw magnesiumproductieproces. Het project werd echter in 1972 gestaakt [61]. Vermoedelijk wordt overwogen om in een later stadium een deel van de te winnen magnesiumzouten in Noorwegen te verwerken

<sup>22)</sup> Deze paragraaf is ontleend aan een uitgebreidere, nog te publiceren studie over magnesium van dipl.ing. P.W. van Maaren.



tot magnesium en de rest in Nederland te gebruiken als basis voor de bereiding van magnesiumverbindingen.

#### Voorkomen

De aardkorst bevat gemiddeld circa 3,5% magnesium. Het metaal behoort hiermee tot de reeks van de meest voorkomende elementen. Behalve als bestanddeel van mineralen treft men magnesiumverbindingen ook aan in het water van bepaalde meren zoals het Great Salt Lake (0,45 g/l Mg) en de Dode Zee (25,5 g/l), in ziltwaterbronnen en zeewater (circa 0,13 g/l). Door dit laatste zijn magnesiumzouten bijna door elk land vrij te winnen. De wereldvoorraad aan magnesium in de vorm van zouten opgelost in zeewater wordt geschat op  $2 \cdot 10^{15}$  ton. Dit betekent dat de reserves aan magnesium als praktisch onuitputtelijk moeten worden beschouwd.

#### Bereiding

Er bestaan twee groepen van procédés, namelijk directe en indirecte reductie. Zowel op economische als op chemisch-metallurgische basis komen alleen de indirecte reductie-processen in aanmerking voor het eventueel verwerken van Nederlandse magnesiumzouten. Hiertoe behoren de elektrolytische procédés, zoals het gemodificeerde IG/MEL-proces, het DOW-zeewaterprocédé, het DOW-ziltwaterprocédé en het tot nu toe niet volledig uitgewerkte Nederlandse proces van Shell [62]. Bij dit laatste proces gaat het globaal om het volgende. Om magnesiumzouten van het type zoals die voorkomen in de Nederlandse bodem te winnen, moet men de betreffende afzetting eerst oplossen. Dat wil men doen door in de afzetting water te pompen. De temperatuur in de formaties bedraagt 60 tot 120°C (afhankelijk van de diepte; de temperatuur stijgt ongeveer 4° per 100 meter diepte), hetgeen het oplossen van de zouten bevordert. Een deel van de formatie lost op en komt als zilt naar boven via een tweede pijp in het boorgat. Dan wordt het zilt in bezinkbassins overgebracht, waar opschoning plaatsvindt. Vervolgens moet de overgebleven hoeveelheid zilt water, die na voortgezette indamping inmiddels meer dan 30% magnesiumchloride bevat, door sproeidrogen worden ontwaterd. Daarbij wil men gebruik maken van o.a. sproeidrooginstallaties. Het dan verkregen „cell feed“ zal een gehalte aan magnesiumchloride van meer dan 90% bezitten. Dit is direct geschikt voor elektrolyse in een (gemodificeerde) cel volgens het principe van IG-Farben.

#### Productie en verbruik in de wereld

Magnesium is een belangrijk metaal voor militaire doeleinden. De ontwikkelingen op dit gebied in de Verenigde Staten verliepen dan ook sinds het begin van de Tweede Wereldoorlog veel stormachtiger dan in West-Europa. Een verandering van de functie van magnesium trad pas op tegen het einde van de jaren vijftig, toen men beschikbaar komend primair magne-

sium meer in de civiele sector (automobielen, kantoor-machines, draagbare radio's en precisie-instrumenten) ging benutten. Spoedig steeg de vraag, hetgeen tot gevolg had dat de magnesiumfabrieken hun productie konden opvoeren en overgaan tot uitbreiding. Ondanks een toenemende vraag naar magnesium bleef het een monopolie-aangelegenheid, in het bijzonder voor DOW Chemical Company in de Verenigde Staten en Norsk Hydro in Noorwegen. Omstreeks 1968 lag het aandeel van Amerikaans magnesium (DOW Chemical) op de wereldmarkt rond de 60%. Tabel 36 geeft een overzicht van de productie van primair magnesium in de wereld.

Tabel 36. Wereldproductie van primair magnesium<sup>1)</sup> (10<sup>3</sup> ton) [10]

	1963	1968	1973	1974
Verenigde Staten	68,8	89,2	111,1	121,6
Sowjet Unie <sup>2)</sup>	32,0	42,0	55,0	55,0
Noorwegen	20,6	31,3	37,5	38,2
Italië	5,5	7,4	8,9	9,2
Japan	2,4	5,7	11,2	8,9
Frankrijk	1,8	4,5	7,0	7,0
Canada	9,1	9,0	5,3	5,9
VR China <sup>2)</sup>	1,0	1,0	2,5	2,5
Polen <sup>2)</sup>	0,3	0,3	0,5	0,5
Verenigd Koninkrijk	2,5	—	—	—
BP Duitsland	0,5	—	—	—
Wereldtotaal	144,5	190,4	239,0	248,8

<sup>1)</sup> Binnen het Verenigd Koninkrijk werd tot 1973 magnesium teruggewonnen uit afval; binnen de V.S., Japan en (tot 1968) de BR Duitsland werden hoeveelheden omgesmolten magnesium vervaardigd. Alles tezamen ging het daarbij in de periode 1963-1974 om 8 tot 15% van de productie aan primair metaal.

<sup>2)</sup> Schatting.

Tabel 37 geeft een overzicht van het mondiale verbruik van magnesium. De cijfers van de jaren 1973/1974 weerspiegelen de invloed van de recessie.

Na 1972 is de prijs van magnesium fors toegenomen, maar de verhouding met de prijs van aluminium bleef ongeveer gelijk. De belangrijkste kostenfactor die een sterke invloed uitoefent op de prijs van dit in zijn afzet geremde metaal is de energieprijzen<sup>23)</sup>. Deze kan voor een groot deel worden gecompenseerd door de verkoop van het tijdens de elektrolyse vrijgekomen chloor aan bijvoorbeeld de kunststoffenindustrie. De ontwikkeling van de magnesiummarkt zal sterk worden beïnvloed door de (monopolie-)positie van het kleine aantal fabrikanten.

<sup>23)</sup> Volgens [35] kost de productie van 1 ton Mg 378 x 10<sup>9</sup> J aan primaire energie, dus ruim anderhalf maal zo veel als in het geval van Al. Net als bij Al is de energie nodig voor het recirculeren van Mg slechts ca. 5% van de energie voor de productie van primair metaal.



**Tabel 37.** Wereld-magnesiumverbruik (10<sup>3</sup> ton) [10]

	1963	1968	1973	1974
Amerika	52,3	87,4	120,0	121,5
w.o.: Verenigde Staten	46,5	78,4	104,8	103,9
Brazilië	1,9	3,1	8,0	10,0
Canada	3,3	5,1	6,6	7,0
Europa (excl. comm. landen)	50,1	64,0	68,9	61,4
w.o.: BR Duitsland	33,3	44,2 <sup>1)</sup>	43,4	35,1
Frankrijk	3,8	5,6	6,5	7,4
Verenigd Koninkrijk <sup>1)</sup>	7,1	7,3	5,1	5,3
Italië	1,7	1,9	4,4	3,8
Nederland	0,2	0,3	0,9	0,4
Communistische landen	31,6	31,7	52,3	54,5
w.o.: Sowjet Unie	29,9	26,1	43,0	45,0
China	1,0	1,0	3,0	3,0
Azië (excl. comm. landen)	3,2	6,2	16,1	16,7
w.o.: Japan	2,9 <sup>1)</sup>	6,1	15,8	16,4
Australië	0,2	0,6	1,0	1,3
Afrika (Zuid-Afrika)	—	0,3	0,3	0,3
Wereldtotaal	137,4	190,2	258,6	255,7

<sup>1)</sup> Inclusief gerecirculeerd metaal.

#### Toepassingen

Analyse van de genoemde productiecijfers tezamen met gegevens van DOW Chemical Company leert dat in de westerse industrielanden het primair magnesium voor circa 55% wordt gebruikt in de volgende industrieën.

- De aluminiumindustrie. Meer dan 75% van de gewalste, geëxtrudeerde of gesmede aluminiumlegeringen bevatten magnesium; van de gietlegeringen is dit circa 40%. Het verbetert de mechanische eigenschappen en de corrosievastheid.
- De titaan-, zirkoon-, hafnium-, beryllium- en uraan-industrie enz. Deze gebruiken het als reductiemetaal.
- De poederindustrie, die het als pyrotechnisch metaal (voor ammunitie en vuurwerk) gebruikt.
- De chemische industrie en de metallurgie, welke het als katalysator of als reactiemetaal gebruikt (bijvoorbeeld de Grignardsynthese voor de productie van borium-, lithium- en calciumhydride; het zuiveren van argon of waterstof; de bereiding van nodulair gietijzer).

De overige 45% van het magnesium wordt gebruikt voor de vervaardiging van magnesiumlegeringen voor de volgende doelen.

- Circa 7% vindt toepassing in geëxtrudeerd profiel, anodeblokken voor kathodische bescherming en walsenproducten, zoals gereedschapsplaat en autotypieclischés.
- Circa 6% wordt toegepast in zand- en coquillegietwerk en gegoten anodeblokken voor bescherming van kathodes.
- Circa 32% wordt gebruikt in spuitgiet- en lagedruk-

gietwerk, dat voor 80 à 90% naar de automobielin-dustrie gaat. De rest gaat naar de elektrotechni-sche- en apparatenindustrie en dergelijke. In West-Europa waren de Volkswagenfabrieken ongetwij-feld tot voor kort de grootste verwerkers van mag-nesium (in 1973 circa 40.000 ton per jaar), zo niet de grootste verwerkers van de wereld, die circa 80% van het Westduitse magnesiumverbruik in de vorm van de legering 1441 (GD-MgAl4Si1) voor zich opeisten. In de nieuwe Volkswagen-modellen wordt echter veel minder magnesium toegepast: 7 tot 8 kg, tegen 21 kg in de bekende „kever“. Het magnesiumverbruik van de Volkswagenfabrieken zal dientengevolge in 1976 minstens zijn gehal-veerd t.o.v. dat in 1973.

#### 6. Literatuur

- [ 1]. Euromarkt Nieuws, **18** (1975), no. 3.
- [ 2]. Europa, grondstoffen en de derde wereld. Bu-reau Den Haag Europese Gemeenschappen, ok-tober 1974.
- [ 3]. US Geological Survey; Professional paper 820, 1973.
- [ 4]. S. Janković; Wirtschaftsgeologie der Erze, Springer Verlag 1967.
- [ 5]. W. Gocht; Handbuch der Metallmärkte, Springer Verlag 1974.
- [ 6]. Report of the President's Materials Policy Com-mission (Paley e.a.); Resources for Freedom (Document no. 527). House of Representatives, Washington D.C.



- [ 7]. US Bureau of Mines; Commodity data summaries. Washington D.C. 1974.
- [ 8]. H.C. Clarke; Alluvial mining using bucket dredges. *De Ingenieur* **87** (1975) no. 34, 645-8.
- [ 9]. Mining Journal; Annual Review. London, juni 1975.
- [10]. Metallgesellschaft A.G.; Metallstatistik **62**, 1964-1974, Frankfurt a.M., 1975.
- [11]. Anoniem, Annales des Mines, 1970.
- [12]. International Tin Council; Statistical Yearbooks & Supplements. Monthly Statistical Bulletins, Annual Reports (1956 - 1975).
- [13]. Staff US Bureau of Mines; Mineral Facts and Problems 1965. Bulletin 630; 1970; US Department of the Interior.
- [14]. — S. Wimpfen en A. Knoerr; World resources versus Copper and Aluminium demand to the year 2000. World Mining Congress, Lima, Peru, 3-8 november 1974.  
— M. Wane en S. Boshkov; Forecasting procedures for use in the minerals industry. World Mining Congress, Lima, Peru, 3-8 november 1974, preprint II-11.
- [15]. W. Malenbaum c.s.; Materials requirements in the United States and abroad in the year 2000. Research report of the Wharton School (University of Pennsylvania) to the National Commission on Materials Policy, maart 1973.
- [16]. United Nations Centre of Development Planning, 1973. Zie ook P. Bourrelier c.s.; Matières premières minérales et relations internationales. Annales des Mines (januari 1975), 7-68.
- [17]. W. Hofmann; Lead and lead alloys. Springer Verlag, Heidelberg/New York, 1970.
- [18]. - Metallgesellschaft, Metallstatistik 1963 - 1973.  
- World Bureau of Metal Statistics; World Metal Statistics (London), mei 1975.
- [19]. Ministerie van Buitenlandse Zaken, Nationale Adviesraad voor Ontwikkelingssamenwerking; De toekomstige beschikbaarheid van metallische mineralen. Advies no. 53, juni 1975.
- [20]. P. Paschen; Betrieb von Bleischachtöfen. *Erzmetall*, **26** (april 1973), 195-9.
- [21]. Where licensed Imperial Smelting Furnaces are operating. *Engineering/Mining Journal* (maart 1974), 195.
- [22]. Imperial Smelting Furnaces produce zinc (and lead) in Sardinia and Macedonia. *Mining Magazine* (december 1974), 464 - 73.
- [23]. H. Grothe; Von den Anfängen des Metallhüttenwesens. *Erzmetall*, **28** (april 1975), 165-71.
- [24]. H. Meffert; Wie zuverlässig sind Voraussagen über die Rohstoffversorgung? *Metall*, **9** (1974), 907-11.
- [25]. Globe sees "maintenance-freer" battery market still two years off. *American Metal Market*, 23-8-1974, 8.
- [26]. F.H. Kreuger en J.A. Cieremans; Ondergrondse kabel voor 400 kV-netten. *De Ingenieur*, **87** (1975) no. 23, 457-62.
- [27]. J. Schoonman en A.C.H. van Peski; Organolood-antiklopmiddelen en de fotochemische "smog". *Chemisch Weekblad*, **68** (1972) no. 3, 9-10.
- [28]. EPA auto emissions hearings to explore risks in catalysts. *American Metal Market*, 17-2-1975, 27.
- [29]. B. de Jong; Onderzoek naar schaarste, energie-inhoud en milieu-, "inhoud" van aluminium en zink. Afstudeerverslag, Laboratorium voor Fysische Technologie, TH Delft, 6 maart 1975.
- [30]. European Zinc Producers Technical Committee, 1972.
- [31]. P.F. Chapman; The energy costs of producing copper and aluminium from primary sources. *Metals and Materials*, **8** (februari 1974), 107-11.
- [32]. A.B. Makhijani en A.J. Lichtenberg; Energy and Well-being. *Environment*, **14** (1972), 10-8.
- [33]. H.R. Jones; Pollution control in non ferrous metals industry. Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey 07656, USA.
- [34]. P.W. van Maaren; Aluminium: Geschiedenis, winning en verwerking. *Metaal & Kunststof*, **10** (1972), 41.
- [35]. M.C. Flemings, K.B. Higbie en D.J. McPherson; Report of Conference on Energy conservation and Recycling in the Aluminium industry. MIT, 18/20-6-1974.
- [36]. H.J. Pick; Some economic consequences of technical decisions. *Mater. Sci. Eng.*, **10** (1972), 201-323.
- [37]. Western World's bauxite reserves and aluminium production. *Revue de l'Aluminium*, november 1972, 865.
- [38]. M. Rumberger en E. Wettig; Die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe — ein Bestandsaufnahme. *Metall*, **28** (1974) no. 5, 513-19.
- [39]. - F.A. Peters, R.C. Kurby en K.B. Higbie; Methods for producing alumina from clay. *Journal of Metals*, **19** (1967), 26-35.  
- European plant to produce aluminium from clay by non-electric route. *Metals and Materials*, **7**, september 1973, 370-1.
- [40]. J.C. Bravard, H.B. Flora II en Ch. Portal; Energy expenditures associated with the production and recycle of metals. ORNL-MIT-132, Oak Ridge National Laboratory, March 1972.
- [41]. Alcoa announces development of pollution-free aluminium smelting process. *Engineering and Mining Journal*, **174**, February 1973, 30.
- [42]. Diverse auteurs; *Metall*, **28** (januari 1975).
- [44]. P.F. Chapman; Energy Conservation and recycle of copper and aluminium. *Metals and Materials*, **8** (1974), 311-9.
- [45]. K. Schneider; Die Verhüttung von Aluminiumschrott. Metallverlag GmbH - Berlin 1970.
- [46]. SER publikatie M9, tabel 1.
- [47]. A. Jacomet; Lezing London Metal Center, 20-10-1975.
- [48]. A.M. Weinberg en H.E. Goeller; The age of substitutability. *Science and Public Policy*, **21** (1975), No. 11, 479-92.



- [49]. P. Müller; *Wirtschaft*, **9** (1975).
- [50]. A.C. Sjoerdsma en J.A. Over; Energy conservation, ways and means. Publikatie 19, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 1974, 50.
- [51]. W.O. Alexander en P. Appoo; Energy content: a vital factor in assessing materials demand and use. *Metals and Materials*, **8** (1974), 458-9.
- [52]. National Commission on Materials Policy; Material Needs and the Environment, Today and Tomorrow, Final Report, June 1973, US Government Printing Office, Washington D.C., Stock No. 5203-00005.
- [53]. US Energy requirements in the production of basic materials. *Petroleum Times*, 20-9-1974.
- [54]. J. van Liere; Aluminium en de constructeur. *De Ingenieur*, **88** (1976) No. 2, 25-7.
- [55]. J. Nioncel; L'industrie de l'aluminium s'intéresse aussi à la capitation de l'énergie solaire. *Revue d'Aluminium*, september 1975, 386-90.
- [56]. F.J. Kievits; Aluminiumindustrie naar een hoger plan. *Financieel Economisch Magazine*, **6** (1975), no. 21, 28.
- [57]. H. Göner en S. Marx; *Aluminium Handbuch*. Verlag Technik, Berlin 1971.
- [58]. L.R. Babcock en N.L. Nagden; Cost effectiveness of emission control. *J. Air Poll. Contr. Ass.*, **23** (1973), 173-9.
- [59]. R.E. Iversen; Air pollution in the aluminium industry. *Journal of Metals*, **25** (1973), 19-23.
- [60]. Magnesium Association; Magnesium salts concession sought by Shell. *Magnesium Newsletter*, november/december 1971.
- [61]. Nederland zou in korte tijd op magnesium kunnen overgaan. *Chemisch Weekblad/Chemische Courant*, **68** (1972), no. 47, 21.
- [62]. P.W. van Maaren; Magnesium I en II. *Metaal en Kunststof*, **11** (1973), no. 21 en no. 24, 46-9 resp. 26-9.



## Hoofdstuk 5. Enkele voorbeeldstudies van bouwmaterialen

### 1. Trends in de bouwnijverheid

door prof. ir. P.C. Kreijger en ir. F.J. van Sante<sup>1)</sup>

#### 1.1. Inleiding

Bouwen is geen doel op zich zelf, maar een dienstverlening aan de maatschappij [2]. Datgene wat moet worden gebouwd, is in sterke mate afhankelijk van de vragen die vanuit de veranderende maatschappij aan de bouwwereld worden gesteld. Slechts op enkele gebieden is het mogelijk gebleken acceptabele standaardbouwwerken te ontwerpen, zoals scholen, kleine bruggen en keten. De ontwikkelingen t.a.v. materialen en componenten zullen uiteraard hun invloed hebben op de ontwikkeling van gebouwen, wijken en regio's. Vooral echter zullen de wensen en eisen die men zal stellen aan de gebouwde omgeving van invloed zijn op de ontwikkeling van nieuwe componenten en materialen.

In een dichtbevolkt land als Nederland zal het ruimtebeslag voor de vervulling van behoeften aan beperkingen worden onderworpen. Een doorzichtige positiebepaling van de overheid is daarom van groot belang. Deze hangt samen met de kwaliteit en kwantiteit van de gegevens waarover kan worden beschikt. Het vergaren van recente betrouwbare informatie en het interpreteren ervan op het gebied van leven, wonen, werken, vervoer, recreatie, bouwen etc. is nog een voornaam punt van zorg. Een mogelijkheid is opslag en uitwerking van gegevens op regionaal niveau (tussen provinciaal en gemeentelijk in) [3]. De resultaten kunnen worden doorgegeven naar de provincies en de centrale overheid om bij te dragen tot de landelijke beleidsvorming. Via dergelijke informatie-centra kunnen beleidsvoorbereiders en bouwers niet alleen marktgegevens krijgen, maar ook te weten komen waar ter zake van de voor hen interessante objecten de beslissing wordt genomen.

Een stap in de richting van meer programmering van bouwactiviteiten is gedaan door de oprichting in 1970 van de Groep Regionale Bouwprogrammering (Bouwcentrum). Het onderzoek van deze groep geschiedt in samenwerking met het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. Het doel is het bouwbeleid hechter te funderen op de samenhang van het bouwproces met het maatschappelijke ontwikkelingsproces. Drie terreinen krijgen aandacht: volkshuisvesting, bouwnijverheid en ruimtelijke ordening. Er is een

dynamisch model ontworpen voor het simuleren van regionale en nationale ontwikkelingen. Dit model bevat zeer gedetailleerd de toekomstige bevolkingsontwikkeling, het aantal te verwachten arbeidsplaatsen per economische sector, de migratiebewegingen van de bevolking en de bedrijven en de behoefte aan nieuwbouw, renovatie en onderhoud van woningen. Ook wordt de ontwikkeling in de van de bouwnijverheid afhankelijke beroepsbevolking bestudeerd. Deze wordt geplaatst tegenover de vraag naar bouwvakarbeiders. In de grondsector worden de consequenties van deze ontwikkelingen uitgedrukt in de benodigde grondhoeveelheid, welke wordt geconfronteerd met het per bestemming beschikbare grondpotentieel. Zo wordt het mogelijk, de te verwachten bouwactiviteiten te vertalen in behoefte aan financieringsmiddelen, materialen en materieel. Tezamen met de factoren arbeid en grond kunnen deze gegevens worden omgevoerd tot een meerjarig investeringsprogramma.

Op basis van de resultaten van de regionale toepassingen besloot de Minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening tot de ontwikkeling van een simulatiemodel voor Nationale Bouwprogrammering, waarvoor de werkzaamheden in een vergevorderd stadium verkeren.

Het weergeven van een aantal trends in de bouwnijverheid welke hun invloed zullen hebben op materiaalgebruik, zoals dit verderop in deze paragraaf zal worden gedaan, vraagt allereerst om een korte en globale schets van de huidige situatie in de bouwsector. Deze is als volgt.

- De onzekerheid over aard en omvang van de toekomstige bouwbehoefte komt voort uit onenigheid omtrent de inrichting van onze samenleving en uit de dalende tendens van het Nederlandse geboortecijfer. Daarnaast rijst thans de vraag, ingegeven door de huidige recessie, in hoeverre de financiële middelen toereikend zullen zijn om de tot voor kort mogelijk geachte voorzieningen te verwezenlijken.
- De omvang en aard van de bouwcapaciteit komt voor een belangrijk deel nog overeen met die van de zestiger jaren. De situatie toen was gekenmerkt door massaproductie en een koopkrachtige vraag die de productiecapaciteit overtrof. Dit betekent dat vooral grote bedrijven in de huidige situatie moeten omschakelen. De kleinere en middelgrote bedrijven worden gedwongen hun kwaliteit op te voeren om scherper te kunnen concurreren. Het bouwproces is over het geheel genomen geen volledige industriële activiteit; het tendeeft meer naar een vorm van dienstverlening.

<sup>1)</sup> Tevens is in aanzienlijke mate gebruik gemaakt van een publikatie van dr. J. den Draak [1] en van schriftelijke mededelingen d.d. 17.5.1976 van zijn hand. Tevens is gebruik gemaakt van een artikelenreeks van W.M. Lookman in het Financieel Dagblad (nov./dec. 1975): „De bouw in nieuwe relaties” (herdrukt in Handboek Bouwen en Wonen, Kluwer).



- De aannemer heeft zich in de na-oorlogse tijd ontwikkeld van uitvoerder van bouwwerken tot ondernemer en projectontwikkelaar, die op eigen risico bouwt en verkoopt. Daarnaast komt nu de inspraak van de individuele bewoner, zowel bij de nieuwbouw als bij de vernieuwbouw. In vele gevallen staan de overheid, de woningbouwverenigingen en eigenaren van woningcomplexen nog tussen producent en consument. Dit houdt in dat de gebruiker dan niet rechtstreeks wordt bediend. De Stichting Architecten Research (SAR) heeft wegen aangegeven om dit te doorbreken.
- De grond-, water- en wegenbouw loopt terug. Onder andere door een sterker accent op milieufactoren is er een grotere behoedzaamheid en een meer kritische benadering t.a.v. de uitvoering van dergelijke werken. Zo worden ruilverkavelingen niet uitgevoerd, geplande wegen niet aanbesteed, dijken niet genormaliseerd etc. De Zuiderzee-werken en de uitvoering van het Deltaplan zijn vrijwel gereed.
- Het woningtekort voor de gezinshuisvesting is grotendeels ingelopen. Hiermee hangt ook samen de verzadiging in verwante sectoren in de utiliteitsbouw (winkelcentra, scholen). De vroegere woningnood is verschoven naar kwantitatieve en kwalitatieve tekorten op regionale en categorale deelmarkten (dit betreft vooral jonge mensen en lagere sociale groeperingen) en naar de zogenaamde woonnood. Het gemiddeld aantal vertrekken per

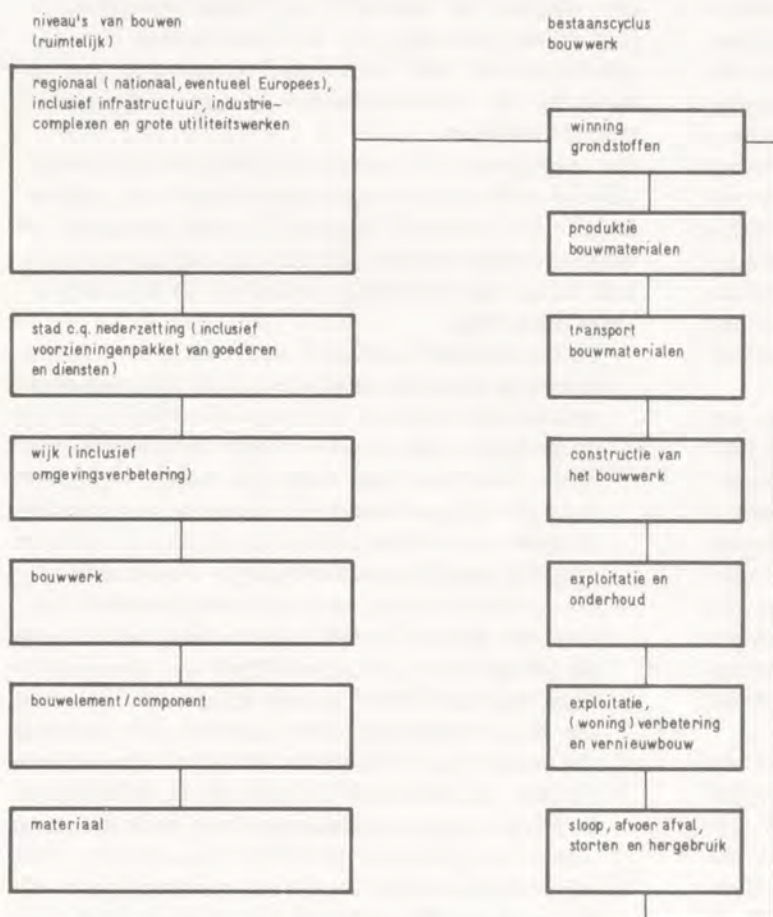
persoon stijgt; de nieuwbouw van drie- en vierkamerwoningen loopt terug; het aantal nieuwe woningen met één, twee en vijf kamers neemt juist toe. Sinds 1967 blijkt het percentage eengezinshuizen in de nieuwbouw te groeien, evenals het percentage huizen met bad- en douche-gelegenheid en voorzien van centrale verwarming (vooral bij nieuwbouw).

- In de sectoren onderhoud van bouwwerken en wegen, woningverbetering en vernieuwbouw (renovatie en restauratie) zijn de mogelijkheden voor werk blijven bestaan of zelfs verbeterd.

## 1.2. Trends

Ter bepaling van de gedachten kan de volgende ruwe structurering dienen. Men kan niveaus van bouwen onderscheiden zoals in Figuur 1. Hierin betreft de linker kolom het ruimtelijk aspect van het bouwen in het algemeen en de rechter kolom de stadia van de bestaanscyclus van een bouwwerk. In deze bijdrage zal aan de linker kolom de meeste aandacht worden gegeven.

De eisen, te stellen aan bouwwerken, vallen uiteen in menselijke (antropologisch, esthetisch, sociologisch) en operationele (economisch, constructief etc.). Het geboden bouwprodukt kan empirisch, experimenteel en normatief (ISO, CEN, EEG, ECE, OECD, NEN) worden geëvalueerd.



Figuur 1. Schema voor de indeling van trends voor de bouwsector



In dit kader kan niet elk facet worden belicht, of aanspraak op volledigheid worden gemaakt. Aan het kwantitatieve aspect en het aanwijzen van prioriteiten is voorbijgegaan. Dit geldt ook voor de financiële zijde.

#### *Het regionale niveau*

Het hoofdmotief is verbetering van de gebouwde omgeving, als onderdeel van het maatschappelijk ontwikkelingsproces.

- Men gaat scherper letten op de wenselijkheid, de omvang en de situering van bouwprojecten, evenals op de kwaliteit van ontwerpen in het algemeen. Dit geldt ook voor lagere overheden.
- Het wegennet zal langzamer groeien en daarmee de toename van kunstwerken als viaducten en verkeersklaverbladen. Thans is er ca. 103.000 km verharde weg, w.o. 12.000 km hoofdverkeerswegen en 6.000 km rijkswegen. Betonwegen — die sinds 1960 meer en meer werden vervangen door bitumineuze constructies op een fundering van met cement gestabiliseerd zand — zijn nu weer in opkomst. Bij landwegen vindt een duidelijke verschuiving plaats naar cement-gestabiliseerd zand. De minder snelle groei van het wegennet zal ook met zich meebrengen dat de bestaande wegen intensiever worden gebruikt en daarmee meer onderhoud behoeven.
- De aanleg van industrie-eilanden in de Noordzee zal op langere termijn op gang komen. In Nederland heeft de overheid een voorstel daartoe in overweging. Met het opspuiten of gestimuleerd laten aanslibben van land voor de Nederlandse westkust zou men ruimte kunnen scheppen voor vele activiteiten. Het aanslibben van land kan worden bevorderd door de aanleg van strekdammen uitgaande van het vaste land, maar ook vanaf een kunstmatig eiland. Hierbij zal echter uitgebreid begeleidend laboratoriumonderzoek met modellen noodzakelijk zijn.
- Het winnen van zand en grind (grondstoffen voor o.a. cement, zie ook de bijdrage hierover) ondervindt meer en meer bezwaren. Dit zal leiden tot het geleidelijk verleggen van het accent naar de winning van zulke grondstoffen uit de zeebodem.

#### *Het stedelijke en het wijk-niveau*

Als hoofdmotief geldt op dit niveau het streven naar kwaliteitsverhoging van het woon- en leefmilieu bij een optimale bezetting van grond.

- Er wordt meer dan vroeger betekenis gehecht aan stads- c.q. wijkvernieuwing en omgevingsverbetering. De planners en uitvoerders zullen daarbij sterker worden geconfronteerd met de inspraak van bewoners van te renoveren wijken. Maar ook de toekomstige bewoners van nieuwbouw laten zich meer horen. Tevens is een toenemende deskundigheid te verwachten bij de opdrachtgevers van grote bouwwerken of gebouwcomplexen. Die metho-

des hebben de voorkeur die passen bij kleinschaligheid. Dit geldt voor zowel vervangingsbouw als voor renovatie. De oplossing van problemen zal vaak plaatselijk moeten worden ontwikkeld.

- Ten aanzien van wijkverbetering, vernieuwbouw en woningverbetering zijn de kleinere en middelgrote aannemers thans beter toegerust dan de grote bouwmaatschappijen. De eerstgenoemde zijn sterker verbonden met een bepaalde omgeving. Men kent de plaatselijke situatie: niet alleen geldt dit voor de bodemgesteldheid, maar ook in het persoonlijke en bestuurlijke vlak. Ook geldt dit voor de kleinschalige nieuwbouw. Uiteraard zal ook het grootbedrijf na aanpassing zijn deel op de markt van de wijkvernieuwing en omgevingsverbetering veroveren. Men zou — op wat langere termijn — kunnen denken aan specialisatie door renovatieploegen gericht op bepaalde veel voorkomende soorten bouwwerken en op de uitrusting van huizen met inbouwkeukens en sanitair. Een andere mogelijkheid is om grote bedrijven met goede organisatietechnieken te laten optreden als hoofdaannemer, met plaatselijke bedrijven als onderaannemers.
- Er treedt een onderkenning op van de behoeften aan verscheidenheid van woonvormen en woonmilieus. Dit kan samenhangen met een ontwikkeling naar een meer pluriforme samenleving; de verscheidenheid van levensstijl (subculturen) zal toenemen. Bepaalde groepen (o.a. leeftijdscategorieën) blijken zich op de ene plaats beter te nestelen dan op een andere [4]. Daarnaast is er een streven, de herkenbaarheid van eigen wijk of buurt te vergroten. Bij omgevingsverbetering zal ook worden gestreefd naar het aanbrengen van meer groen. Dit heeft tevens een gunstig effect op het plaatselijke micro-klimaat.
- De vorm en ligging van een gebouwencomplex zullen meer worden gericht op vermindering van energieverbruik en geluidshinder.
- Centralisatie van utiliteitsvoorzieningen zal zich verder ontwikkelen. Te denken valt aan de levering van elektriciteit en warmte (total energy-installaties, afstandsverwarming, blokverwarming) en aan de behandeling van vast afval en afvalwater.
- Ten behoeve van de renovatie van wijken zal worden gezocht naar betere sloophethoden. In de plaats van slopen kan men ook werken met voorwandconstructies.
- Het lijkt er tenslotte op dat de overheid het forensen zal trachten te beperken. De attractie van stedelijke centra als woongebied zal kunnen worden vergroot als enerzijds de nadelen van buiten wonen zwaarder gaan wegen (men denke aan verkeersproblemen) en anderzijds door renovatie en omgevingsverbetering stadswijken hun charme her krijgen<sup>2)</sup>. Daarnaast zal de toename van het aantal

<sup>2)</sup> Het forensisme wordt opgeroepen door ontbreken van werkgelegenheid in de buurt van de plaats van domicilie, naast slechte woonomstandigheden en ontbreken van betaalbare huizen in de stad [5].



buitenshuis werkende gehuwde vrouw het wonen in de nabijheid van de werkgelegenheid — vooral in de stadscentra — aantrekkelijker maken.

#### *Het niveau van het bouwwerk*

Het hoofdmotief is hier verbetering van het bevredigend functioneren, vooral met betrekking tot gezondheid en welzijn van de mens.

- De individualisering zal verder gaan; daarbij hoort ook bescherming van de persoonlijke levenssfeer. Dit zal zich uiten in de vorm en de indeling van woningen (meer beslotenheid), maar ook in het meer toepassen van geluidsisolerende constructies.

Daarnaast blijft de huwelijksvruchtbaarheid dalen, evenals de leeftijd bij huwelijkssluiting. Het percentage kleine gezinnen en tweepersoonshuishoudens blijft dus groeien. De gemiddelde woningbezetting zou kunnen teruglopen tot 2,6 à 2,7 [6]. Ook neemt het aantal bejaarden verder toe. Het streven, ouderen de gelegenheid te geven zelfstandig te blijven wonen, draagt — evenals het bovengenoemde — bij tot de behoefte aan kleinere woningen. Tenslotte zal ook het aantal (o.a. jeugdige) alleenstaanden toenemen.

Met het voorgaande in lijn is de verwachting van voortgaande verschuiving van hoogbouw naar laagbouw en van huur- naar koopwoningen. Overigens zijn er ook in de sfeer van de hoogbouw wel andere mogelijkheden [5]. Men denke aan een binnenstraat en andere voorzieningen om dorpsaspecten terug te brengen, of aan brede, gevarieerd gestructureerde balkons.

- Prefabrikage en standaardisatie, zowel binnen als buiten de woningbouwsector, zal vruchten gaan afwerpen. Het gaat daarbij om elementen en onderdelen die de vrijheid van de opdrachtgever en de ontwerper zo min mogelijk aantasten. Men moet daarom denken aan productie-, assemblage- en montagesystemen die niet noodzakelijk in een bedrijfsorganisatie zijn opgenomen. Wel kan men met zulke systemen het bouwproces onafhankelijker maken van verstoringen, ordelijker produceren bij de assemblage en een betere kwaliteits- en functiebeheersing van bouwonderdelen bereiken. Men kan uiteraard zowel elementen van baksteen, beton, lichte materialen (hout, kunststof, aluminium) als combinaties daarvan benutten. Een mogelijke verdere ontwikkeling is die naar standaardbouwstructuren bestaande uit een basis-skelet met invulpakketten naar keuze. Het in dit verband door de Stichting Architecten Research ontwikkelde open inbouwsysteem leent zich ook goed voor kleinschalige projecten. De te verwachten verdere integratie — zowel nationaal als internationaal — van de coördinatie van bouwnormen is uiteraard voor bovenstaande ontwikkelingen van veel belang.
- Verdere ontwikkeling van doe-het-zelf activiteiten en mogelijkheden ligt bij het woningonderhoud voor de hand. Men denke slechts aan de stijgende

kosten van dienstverlening en de toenemende hoeveelheid vrije tijd. Maar ook eigenbouw — woningverbetering en vernieuwbouw — met geprefabriceerde onderdelen komt in aanmerking [7]. Een mogelijkheid is zelfs een casco-huis: een afgedekte ommuurde ruimte (voorzien van aansluitingen, etc.) die men zelf indeelt en inricht [8].

In ieder geval zullen meer eigenaren-gebruikers — vooral in groepsverband — als opdrachtgever gaan optreden [9]. Omdat men kwantitatief minder laat bouwen, is er meer gelegenheid om zich met voorbereiding en begeleiding bezig te houden. Uiteraard wordt ook de concurrentie scherper. Omdat immers globaal aan de woonvraag is voldaan, zullen het niveau van de economie en wisselende opvattingen een grotere rol gaan spelen. Onderhoud, nieuw- en vernieuwbouw, woningverbetering etc. kunnen eventueel worden uitgesteld tot een gunstiger geacht moment. Vooral bij kleinschalige projecten zal de rol van de ambachtsman weer groter worden.

- Binnen de woning zelf tenslotte mag men hogere eisen aan outillage en veiligheid verwachten, zowel in de sfeer van de nieuwbouw als van de vernieuwbouw. Hetzelfde geldt voor indelingsmogelijkheden en flexibiliteit daarvan. Er zullen betere leidingssystemen voor elektriciteit, verwarming en licht (mogelijk een centraal verlichtingssysteem) op de markt komen. Al eerder vermeld is de neiging tot beter isoleren (zowel t.a.v. warmte als geluid). In de plaats van thermostaten valt te denken aan apparatuur die integraal op temperatuur, vochtigheidsgraad, straling, luchtbeweging etc. reageert. De architectuur zal rekening gaan houden met psychologische effecten van vorm en ligging van kamers, van toegepaste materialen en van geprojecteerde openingen.

De buitenzijde van gebouwen kan van bepaalde constructies worden voorzien, bijvoorbeeld een honingraat-structuur om de wind te breken, of constructies om de levensduur te verlengen. Ook zal geleidelijk het benutten van zonne-energie voor verwarming ingang vinden (o.a. constructies op daken).

#### *Het niveau van de componenten*

Het hoofdmotief is verbetering van de kwaliteit.

- De coördinatie van normen (nationaal en internationaal) zal worden verbeterd. Evenals hiervoor besproken t.a.v. standaardisatie en prefabrikage is het harmoniëren van normen en voorschriften van vitaal belang voor de ontwikkeling van componenten en materialen. De rem die thans vooral door verschillen tussen landen in normen en voorschriften wordt gezet op de ontwikkeling van nieuwe bouwprodukten, is reeds nu duidelijk merkbaar. Dit is dan ook de reden dat de activiteiten op dit gebied de laatste tijd sterk zijn toegenomen. Vooral de ontwikkeling op het gebied van de uniformiteit van kwaliteitsverklaringen — in feite een vorm van



prenormalisatie — op Europees en nationaal niveau is van groot belang.

- Vooral het toenemend gebruik van kunststoffen, enerzijds in de vorm van gewapende kunststoffen en anderzijds in de vorm van structuurschuimen, is bij de ontwikkeling naar lichtgewicht constructie-elementen van belang. Het lage gewicht, de ruime mogelijkheden voor de keuze van vormgeving, kleur en afmetingen, werken alle in het voordeel. De nog bestaande problemen van duurzaamheid en gedrag bij brand zijn onderwerpen van intensieve studie. De aanzetten voor oplossingen zijn reeds aanwezig, zoals polyamiden, polybenzimidazolen en gecarboniseerde vezels.

De eenvoudige mogelijkheden die gewapende kunststoffen bieden voor het (pre-)fabriceren van ruimtelijke componenten zullen in het kader van de trend naar draagstructuren en inbouwpakketten van steeds grotere betekenis worden<sup>3)</sup>. Het gebruik van geprefabriceerde lichte scheidingswanden, meestal met een kern van kunststofschuim, is thans al bijna gemeengoed geworden.

De ontwikkeling van vloeren van gewapend gasbeton is van belang uit energiebesparingsoogpunt. Het lage gewicht, gepaard aan de hoge warmte-weerstand, maken de toepassing als vloeren zeer aantrekkelijk.

- Een logisch gevolg van de ontwikkeling naar geprefabriceerde onderdelen is de noodzaak van goede verbindingstechnieken. Hierbij zullen de voornaamste problemen liggen op het gebied van de isolatie van geluid en warmte en van de brandveiligheid. De toepassing van de eerdergenoemde lichtgewichtcomponenten staat of valt met een goede verbindingstechniek. Bij de verdere ontwikkeling van zulke technieken zal men meer gaan letten op de mogelijkheden van vervanging, reparatie en uitwisselbaarheid van onderdelen.
- Bij het ontwerp van componenten zal men ook rekening gaan houden met recirculatie, effectiever en efficiënter materiaalgebruik en levensduurverlenging. Men kan daartoe gebruik maken van verbeterde technieken op het gebied van vormprocessen (gieten, plastische vervorming, koude deformatie), van procédés met minder tussenhandelingen (gieten, extrusie, poederverdichting), corrosiebestrijding etc.

Daarnaast wil men een beter op elkaar afgestemde levensduur realiseren van de samenstellende onderdelen van een constructie. In dat kader dienen in de hiervoor te stringente voorschriften mogelijk-

heden tot ontheffing aanwezig te zijn, teneinde de betere oplossingen daadwerkelijk in bouwprojecten te kunnen testen.

#### *Het niveau van de materiaaltoepassing*

- De overdracht van speurwerkresultaten naar de praktische werker — o.a. via normen en voorschriften — laat nog te wensen over. Veel fouten, waardoor in gang gezette ontwikkelingen weer worden afgebroken, zijn op dit probleem terug te voeren. Zonder een duidelijke verbetering van de kennis-overdracht — waarvoor veel onderzoek nodig is — zal de verdere ontwikkeling van de bouw traag en met nodeloos veel moeite verlopen.
- Er gaat een accentverschuiving plaatsvinden van destructieve naar niet-destructieve keuringsmethoden. Deze ontwikkeling zal een stimulans betekenen voor de kwaliteitsbeheersing van materialen. Ook op dit gebied is internationale samenwerking een noodzaak. De reeds in gang zijnde regelingen zullen met het oog hierop verder dienen te worden uitgebreid.
- Er is een toenemende aandacht om bij materiaalproductie het energie- en waterverbruik te minimaliseren. Daarnaast is er een tendens om allerlei industriële bijprodukten en afvalstoffen te verwerken (vlieg-as, mijnsteen, fosfaat, gips, componenten van stedelijk afval). Voorts neemt de belangstelling voor recirculatietechnieken voor bouwmaterialen (vooral metalen) toe. Bij renovatie van gebouwen kan puin en beton worden hergebruikt. Er is onderzoek gaande naar mogelijkheden om het staal uit gewapend beton te verwijderen (zie ook Hoofdstuk 6, par. 2.3.).
- Er voltrekken zich substituties in diverse sectoren. Zink wordt vervangen door kunststoffen, staal door aluminium en met vezels gewapende kunststoffen. Verwant is het verbeteren van eigenschappen van beton: lichtbeton, schuimbeton, vezelbeton.
- Men streeft naar een langere levensduur van materialen en gebouwen door beter en gemakkelijker onderhoud. De eigenschappen van materialen en constructies uit een oogpunt van zowel bouwkundig- als schoonmaakonderhoud worden steeds belangrijker. De zeer hoge en stijgende kosten van onderhoud noodzaken tot een zorgvuldige keuze. Onderhoudsarme materialen krijgen de voorkeur. Duurzaamheid en aanschaffings- alsmede afbraak- en opruimingskosten spelen uiteraard eveneens een rol. Voorts tracht men de levensduur van materialen te verlengen door toepassing van beschikbaar gekomen kennis omtrent veroudering, aantasting, corrosie en aangroeiing. Ten aanzien van constructies buitengaats zal het toepassen van materialen met een voorspelbare (eventueel lange) levensduur in zwang komen.
- De ontwikkeling van slijtvaste materialen voor de toepassing in duurzame stoeve wegdekken staat in de belangstelling. Hierbij wordt gedacht aan

<sup>3)</sup> Staal, kunststof, hout- en plaatmaterialen op basis van hout, licht beton, combinaties; inbouwpakketten ten aanzien van kamers, badkamers, keukens, scheidingswanden, zolder- en vloerconstructies, installaties (of delen hiervan) voor warmte, water, klimaat en energie, lichtgewicht omhullingselementen voor tijdelijke duur (minder plaatsgebonden), composietconstructies, sandwichelementen, gelamineerde elementen, deuren, ramen.



stoffen als korund, gecalcineerd bauxiet, naar ook aan de toevoeging van kunststofafval aan bitumineuze slijtlagen ter vermindering van spoor- en ribbelvorming. Er is een toenemend gebruik van epoxyteermengsels en acrylaatharsen voor behandeling van brugdekken.

- De ontwikkeling van nieuwe (thermische en acoustische) isolatiematerialen heeft de aandacht; glascoatings, muurcoatings, schuimmaterialen. Zowel organische als anorganische bindmiddelen, lijmen en coatings staan hier in de belangstelling.
- Er zullen ontwikkelingen komen op het gebied van verbetering van elektro-, chemi- en bioluminescentie van stoffen. Dit kan leiden tot vermindering van elektriciteitsverbruik en verhoging van de veiligheid in donkere ruimten.
- Men heeft een toenemende aandacht voor de ontwikkeling van materialen (en composieten) met een bepaald psychologisch effect. Het gaat om de mentale invloed van vorm, kleur, textuur, belichting en aanvoelen.
- Er is een toenemend gebruik te verwachten van composiet-materialen en lichtgewicht-materialen (toepassing van combinaties van stoffen als lichte toeslag, vezels, metaal- of glasschuimen). Uiteraard zijn dergelijke composieten niet eenvoudig te recirculeren. Van belang worden ook kunststoffen die met kunstmatige vezels zijn gewapend. In dit verband verdient de ontwikkeling van met koolstofvezels gewapende kunststoffen de aandacht. Deze vezels geven kunststoffen een veel grotere sterkte en stijfheid dan men met glasvezels kan bereiken. Het voordeel van de grotere sterkte en stijfheid van bouwelementen uit met vezels gewapende kunststoffen wordt in het geval van de typische whiskermaterialen (siliciumcarbide, grafiet en siliciumnitride) nog aangevuld met een zeer goede bestandheid tegen hogere temperaturen. Behalve voor verbetering van de warmte-isolatie van constructies, zullen kunststofschuimen in de toekomst nog meer mogelijkheden bieden voor de bouw. Platen van schuim, bedekt met weerbesten-

dige folies of deklagen, zullen een rol gaan spelen als lichte vulelementen voor skeletbouw.

- Men mag een grotere belangstelling verwachten voor hout als constructiemateriaal ten behoeve van woningverbetering en -verfraaiing (zie ook de bijdrage over hout in dit hoofdstuk).

## 2. Beton

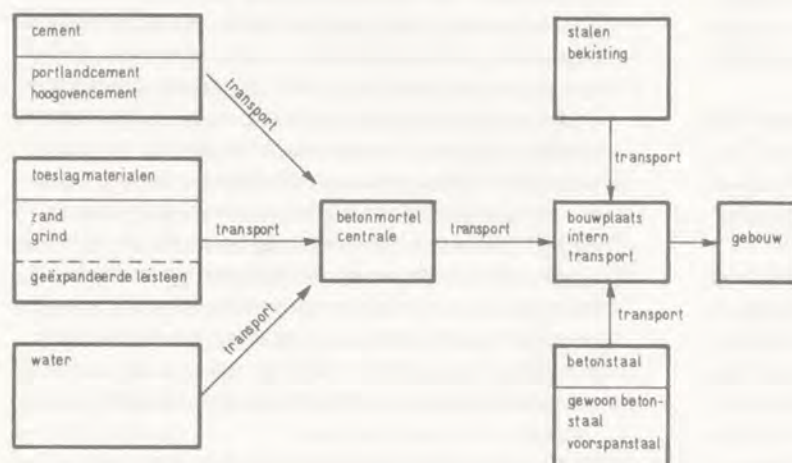
door ir. H.A.W. Cornelissen

### 2.1. Inleiding

Beton wordt bereid door cement, toeslagmaterialen en water te mengen. De toeslagmaterialen kunnen zand en grind zijn, maar ook wel andere materialen, die bijvoorbeeld een groter of geringer stortgewicht bezitten. Om bepaalde eigenschappen, zoals de verwerkbaarheid, te verbeteren, worden hulpstoffen aan het beton toegevoegd. Deze maken slechts een gering deel uit van het beton (circa 0,08-0,8 gew.%). Zij blijven in deze studie buiten beschouwing. Dikwijls wordt beton in combinatie met wapeningsstaal (al of niet voorgespannen) toegepast.

Van ieder van de bestanddelen van beton worden hierna de energie-, vervuiling- en schaarste-aspecten bestudeerd. Hierbij wordt aandacht geschonken aan de winning en de fabricage van de bestanddelen (inclusief transport), alsmede aan het mengen tot beton-specie in de betonmortelcentrales en het transport naar en op de bouwplaats (zie Figuur 2).

Uit gegevens, ter beschikking gesteld door de Verkoopassociatie Nederlandse Cement kan worden afgeleid, dat er in 1973 ca.  $4,6 \times 10^6$  ton beton werd geproduceerd, waarvan ca. 36% via de betonmortelcentrales, 30% in de betonwareninindustrie en 28% door aannemers. Daarbij is een gemiddelde toepassing van 300 kg cement per  $m^3$  beton aangenomen.



Figuur 2. Schematisch overzicht van de bestudeerde onderdelen van het fabricageproces en de toepassing van beton



## 2.2. Cementfabrikage in Nederland

### Inleiding

Cement is een hydraulisch bindmiddel van industriële oorsprong. De cementsoorten kunnen in de volgende twee groepen worden ingedeeld.

- De cementen op basis van portlandcementklinker (bijvoorbeeld portlandcement:pc en hoogovencement:hoc).
- De overige cementsoorten (bijvoorbeeld aluminiumcement en gesulfateerd cement).

In het kader van deze studie zijn alleen portlandcement en hoogovencement van belang, omdat deze in Nederland 99% van het verbruik uitmaken<sup>4)</sup>.

Portlandcement ontstaat door het malen van portlandcementklinker (d.i. het gebrande mengsel van mergel, leem en pyrietas, in de vorm van kleine bolletjes) onder toevoeging van gips/anhydriet.

Hoogovencement bestaat uit pc klinker, slak (afkomstig van de staalbereiding) en gips/anhydriet, waarbij de massaverhouding slak/klinker + slak tussen 0,35 en 0,85 ligt. Hoogovencement is beter bestand tegen de chemische inwerking van sulfaten, terwijl portlandcement een hogere beginsterkte bij lage temperatuur vertoont. Afhankelijk van maalfijnheid en samenstelling worden er drie soorten portlandcement (A, B en C) en twee soorten hoogovencement (A en B) onderscheiden. Deze klassen worden hier buiten beschouwing gelaten.

De gezamenlijke productiecijfers van de Nederlandse cementfabrieken en de verbruikscijfers zijn voor 1973 weergegeven in Tabel 1. Het Nederlandse verbruik vormt ca. 1% van het wereldverbruik aan cement ( $690 \times 10^6$  ton in 1973).

**Tabel 1.** Productie en verbruik van cement in Nederland in 1973<sup>1)</sup>

	Productie (10 <sup>6</sup> ton)	Verbruik (10 <sup>6</sup> ton)
Portlandcement (w.v. 70% klasse A)	1,75	2,95
Hoogovencement (w.v. 95% klasse A)	2,22	3,05
Totaal	3,97	6,00

<sup>1)</sup> Gegevens: Verkoopassociatie Nederlandse Cement (NV ENCI, BV Cemij en BV Robur).

### Grondstoffen

De mergel van de Sint Pietersberg vormt de belangrijkste grondstof voor de cementindustrie in Neder-

<sup>4)</sup> Voor een algemeen statistisch overzicht betreffende de bouwmaterialen in Nederland zie men Hoofdstuk 2, par. 6.2.3.

land. De afgravingsvergunning loopt echter in 1991 af. Er zijn onderzoeken gaande, gericht op het in exploitatie nemen van mergelvoorkomens in de gemeente Berg en Terblijt. Daar er voor hoogovencement veel minder mergel nodig is, geeft deze cementsoort ten aanzien van de grondstofvoorziening een gunstiger beeld. Tabel 2 geeft het totale grondstoffenverbruik voor 1972 weer. Tabel 3 geeft de grondstofbehoefte per proces en per cementsoort. Het blijkt, dat de benodigde hoeveelheden grondstoffen vrijwel onafhankelijk zijn van het gevolgde proces (nat of droog). Voor de fabrikage van hoogovencement is echter circa 30% minder aan grondstoffen nodig dan voor de portlandcement.

**Tabel 2.** Grondstoffenverbruik door de Nederlandse cementfabrieken gedurende 1972<sup>1)</sup>

	Verbruik (10 <sup>6</sup> ton)
Mergel (incl. 12,5% vuursteen)	3,618
Toeslagstoffen, w.o. 70% leisteel en verder leem, zand en ijzerhoudende toeslag (pyrietas)	0,695
Extra water	0,616
Gips/anhydriet	0,225
Hoogovenslak	1,850

<sup>1)</sup> Gegevens: N.V. ENCI (Maastricht). In verband met het bestaan van in- en uitvoer van deze grondstoffen kunnen de cijfers in deze tabel niet rechtstreeks uit die van de Tabellen 1 en 3 worden afgeleid.

### Fabrikage

De volgende drie fasen kunnen worden onderscheiden.

- De grondstofwinning en voorbereiding.
- Het branden tot de portlandcementklinker.
- Het malen tot cement.

De voornaamste grondstof is de mergel, die 94-98%  $\text{CaCO}_3$  bevat. Deze wordt met lepelbaggers afgegraven, om vervolgens met vrachtauto's naar de breker te worden vervoerd, waar de grove stukken worden gebroken. De leem, die zich in de lagen boven de mergel bevindt, wordt ook met vrachtauto's naar de fabriek vervoerd. De benodigde leisteel is afkomstig van de steenkolenmijnen.

De ijzerhoudende toeslag (pyrietas) is een afvalproduct van de zwavelzuurfabrieken en wordt per schip aangevoerd, evenals de nodige gips/anhydriet die afkomstig is uit Frankrijk en Duitsland. De hoogovenslak tenslotte wordt per schip aangevoerd, gedeeltelijk uit België, gedeeltelijk uit IJmuiden.

In het volgende stadium worden mergel, leem en pyrietas gemengd. Dit kan geschieden volgens het natte of het droge proces. Bij het natte proces worden de grondstoffen in de juiste verhouding onder toevoeging van water gemalen in de zogenaamde ruwpapmolens. Hierna worden de nog te grove delen in de fijnpappmolen opnieuw gemalen. De in de mergel voorkomende vuursteen (silex) wordt verwijderd. De uit de



**Tabel 3.** Verbruik grondstoffen afhankelijk van cementsoort en proces <sup>1)</sup>

	Portlandcement (pc)		Hoogovencement (hoc)	
	nat proces ton/ton pc	droog proces ton/ton pc	nat proces ton/ton hoc	droog proces ton/ton hoc
Mergel incl. vuursteen	1,665	1,716	0,651	0,671
Toeslagstoffen	0,360	0,259	0,141	0,101
Extra water	0,434	—	0,170	—
Gips/anhydriet	0,046	0,046	0,046	0,046
Hoogovenslak (incl. 10% vocht)	—	—	0,600	0,600
Totaal	2,505	2,021	1,608	1,418

<sup>1)</sup> Gegevens: N.V. ENCI (Maastricht).

molens komende fijnpap wordt naar bassins gevoerd, waar deze voortdurend wordt geroerd.

Bij het droge proces worden de grondstoffen gebroken en gedroogd en in de meelmolen gemalen. De vuursteen wordt vooraf verwijderd. Het meel wordt naar homogeniseringssilo's getransporteerd, waar het met gebruik van lucht onder druk wordt gemengd.

De pap (nat proces) of het meel (droog proces) wordt naar schuin opgestelde draaiovens gevoerd, waar in de heetste zone een temperatuur van 1450-1600°C heerst. Tengevolge van het draaien van de oven en de gedeeltelijke sintering ontstaan bolvormige deeltjes: de zogeheten portlandcementklinker. Hierna wordt de klinker in rooster- of satellietkoelers gekoeld. De opgewarmde lucht wordt als verbrandingslucht voor de ovens gebruikt.

Onder toevoeging van gips/anhydriet, om de bindingstijd te kunnen regelen, wordt de klinker in kogelmolens tot de gewenste fijnheid gemalen. In het geval van hoogovencement wordt uiteraard tevens slak toegevoegd.

#### Energie-aspecten

De energie die nodig is voor de cementfabrikage dient voornamelijk voor het branden van de portlandcementklinker in de draaiovens. Als brandstof wordt aardgas gebruikt. In de wintermaanden wordt er op stookolie overgeschakeld zodra de temperatuur onder het vriespunt daalt. De leiste is uit steenkolenmijnen afkomstig; de er in aanwezige steenkool dient als nevenbrandstof. Verbruik van elektrische energie vindt plaats bij de klinkerproductie (breker, papmeelmolens, aandrijving draaiovens etc.); door de cementmolen (kogelmolens) en tijdens de expeditie (transportbanden, verlichting gebouwen etc.).

Het energieverbruik voor het natte proces is hoger dan voor het droge proces. In het eerste geval moet namelijk de in de pap aanwezige hoeveelheid water tijdens het branden worden uitgedreven. In het meel voor het droge proces is ook water aanwezig, maar ongeveer 50% minder. Voor de papbereiding is anderszins minder elektrische energie nodig, maar dit verschil is gering. Het wordt in het volgende verwaar-

loosd. Wel worden portland- en hoogovencement afzonderlijk beschouwd. Daar hoogovencement voor circa 60% uit hoogovenslak bestaat, moet de energie voor bewerking en transport van deze slak worden meegerekend. De slak wordt door middel van bespuiten met brakwaterstralen gegraneerd. Voor de brakwaterkoeling zijn pompen nodig, die volgens opgave van Hoogovens B.V. gemiddeld  $50 \times 10^6$  J/ton slak verbruiken. Tabel 4 geeft een specificatie van het energieverbruik voor de diverse gevallen.

Voor portlandcement is volgens het natte proces ca. 47% meer energie per ton nodig; voor hoogovencement ca. 38%. Uit overwegingen van energiebesparing zou overschakeling naar het droge proces dus wenselijk zijn. Hetzelfde geldt voor overschakeling naar productie van alleen hoogovencement. Dit zou een energiebesparing van ca. 30% opleveren, uitgaande van de situatie van 1973. Wanneer de benodigde portlandcementklinker bovendien geheel volgens het droge proces zou worden vervaardigd, kan de besparing oplopen tot ca. 44%. Omdat thans ca. tweederde van de productie volgens het natte proces verloopt, bedraagt de energie-inhoud van portlandcement gemiddeld  $6,4 \times 10^9$  J/ton en van hoogovencement gemiddeld  $3 \times 10^9$  J/ton.

Ter vergelijking wordt in Tabel 5 de energiebehoefte voor de cementfabrikage in een vijftal landen gegeven. De verschillen kunnen een gevolg zijn van de verhouding waarin het natte en het droge proces worden toegepast en van de afmetingen en technische kwaliteiten van de ovens. Ook zal de gevolgde berekeningswijze invloed hebben.

#### Emissies

Een belangrijke vorm van vervuiling, die optreedt bij de fabrikage van portlandcement (-klinker) is de hoeveelheid stof. Bij het natte proces komt meer stof vrij dan bij het droge. Met behulp van elektrostatische en grindbedfilters wordt meer dan 99% van het stof vastgehouden.

Tabel 6 geeft een overzicht van de bij cementfabrikage optredende milieuvervuiling. In de tabel komt ook vuursteen (silex) voor. Dit afvalmateriaal wordt voor vrijwel 100% ingezet voor paklagen in de wegen-



**Tabel 4.** Energieverbruik in 10<sup>9</sup>J/ton bij fabricage en transport van cement <sup>1)</sup>

	Portlandcement		Hoogovencement	
	nat proces	droog proces	nat proces	droog proces
Transport van de grondstoffen <sup>2)</sup>	0,03	0,05	0,06 (incl. gra- nuleren)	0,06 (incl. gra- nuleren)
Klinkerbranden	5,93	3,60	2,32	1,41
<i>Elektrische energie</i> <sup>3)</sup>				
Klinkerproductie	0,57	0,57	0,22	0,22
Cementmaling	0,53	0,53	0,53	0,53
Expeditie	0,02	0,02	0,02	0,02
Transport van fabriek naar gebruiker over gemiddeld 200 km <sup>4)</sup>	0,15	0,15	0,15	0,15
Totaal	7,23	4,92	3,30	2,39

<sup>1)</sup> Gegevens: N.V. ENCI (Maastricht).

<sup>2)</sup> Mergel, leem en zand worden met vrachtauto's over gemiddeld 0,5 km getransporteerd. Pyriet, gips/anhydriet en hoogovenslak worden met binnenvaartschepen over respectievelijk 60, 500 en 50 km getransporteerd.

<sup>3)</sup> In de genoemde getallen is verdisconteerd dat er 11,4 x 10<sup>6</sup>J primaire energie nodig is om 1 kWh elektrische energie op te wekken.

<sup>4)</sup> Aangenomen is dat dit transport voor 55% met vrachtauto's; voor 33% per schip en voor 11% per trein geschiedt.

**Tabel 5.** Vergelijkend overzicht van de energiebehoefte voor de productie van portlandcement in diverse landen [10]

	BR Duitsland	Italië	Nederland	Verenigd Koninkrijk	Verenigde Staten
Totale cementproductie (10 <sup>6</sup> ton)	40,9	36,3	4,6	21,2	74,4
<i>Percentage geproduceerd volgens:</i>					
nat proces	5	13	67	69	59
droog proces	66	40	33	15	41
semi-droog proces	26	46	—	16	—
schachtproces	3	1	—	—	—
Energie-inhoud portlandcement (10 <sup>9</sup> J/ton)	4,7	5,1	6,4	7,1	8,3

bouw, stortstenen voor de waterbouw en in bewerkte vorm voor ijzervrije bekleding van molens. De kooldioxyde-emissie is het gevolg van de ontleding van de kalk in de mergel in calciumoxyde (ongebolste kalk, CaO) en kooldioxydegas (CO<sub>2</sub>). De zwavel uit de brandstoffen wordt tengevolge van een ingestelde ovenatmosfeer grotendeels aan de alkaliën gebonden. De emissie van zwaveldioxyde (SO<sub>2</sub>) is dan ook vrijwel nihil. Volgens Kreijger [11] is de SO<sub>2</sub>-emissie 0,5—1,4 kg/ton pc. Bij het granuleren van de hoogovenslak komt een niet-kwantificeerbare hoeveelheid zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S) vrij.

### 2.3. Zand en grind

#### Winning

Het in Nederland gewonnen zand en grind voor gebruik in mortel en beton is voornamelijk afkomstig van

**Tabel 6.** Emissies en afval bij de fabricage van cement <sup>1)</sup>

	kg/ton portland- cement	kg/ton hoogoven- cement
<i>Stof</i>		
- nat proces	0,3—2,0 [11]	0,1—0,7
- droog proces		
<i>Gassen</i>		
- kooldioxyde (CO <sub>2</sub> )	525	205
- zwaveldioxyde (SO <sub>2</sub> )	— <sup>2)</sup>	— <sup>2)</sup>
- zwavelwaterstof (H <sub>2</sub> S)	— <sup>2)</sup>	+ <sup>3)</sup>
Vuursteen	210	82

<sup>1)</sup> Gegevens: N.V. ENCI en Hoogovens B.V.

<sup>2)</sup> Te verwaarlozen.

<sup>3)</sup> Niet gekwantificeerd.



de grote rivieren. Rivierzand wordt voor circa 60% met zandzuigers en voor de rest met baggermolens gewonnen. Riviergrind wordt gebaggerd. Het materiaal wordt gewassen, gezeefd, gesorteerd en dan in binnenvaartschepen geladen. Door middel van zeven zal de grindbaggermolen meestal een scheiding maken tussen 3 groepen materialen, namelijk grof grind (groter dan circa 30 mm), betongrind (5–30 mm) en betonzand (kleiner dan 5 mm).

Ook op zee wordt zand en grind gewonnen. Dit gebeurt met steek- of sleepopperzuigers. Daar er in de toekomst steeds minder vergunning zal worden verleend om zand en grind op het land te winnen, zijn zeegrond en zeezand mogelijke alternatieven [12].

In Tabel 7 is aangegeven hoe het verbruik van grind, beton en metselzand over de verschillende categorieën is verdeeld. Van het totale grindverbruik werd ca. 52% naast of in de nabijheid van rivieren in Nederland gewonnen. Op zee werd ca. 6% geproduceerd. Het beton- en metselzand was voor het overgrote deel uit Nederland afkomstig. De in- en uitvoer zijn vrijwel even groot.

**Tabel 7.** Het verbruik in  $10^3$  ton van grind, beton- en metselzand in Nederland in 1973 [13]

	Grind	Betonzand	Metselzand
Betonmortel-bedrijven	7.304	4.837	275
Betonwaren-fabrieken	3.221	2.980	247
Asfalt-installaties	2.957	—	
„Grote werken” en aannemers	1.690	1.934	2.314
Kalkmortel-fabrieken	—	72	188
Overige afnemers	3.329	126	209
Totaal	18.501	9.949	3.233

#### Schaarste

Er is in Nederland nog een aanzienlijke voorraad grind en industriezand (beton- en metselzand) op economisch exploitabele plaatsen aanwezig, teneinde in de binnenlandse behoefte te voorzien. Ten gevolge van het vergunningenbeleid is thans de winning van vooral industriezand in gevaar. Voor de winning van grind in Limburg is een overeenkomst gesloten die voldoende ontgrindingsvergunningen voor een twintigtal jaren waarborgt. Voor de zand- en grindwinning geldt dat er veelal stringente eisen worden gesteld aan de herstructurering van het gebied [14].

#### Energie-aspecten

De energie-inhoud van rivierzand en riviergrind wordt

gevormd door het zuigen en baggeren en het transport met binnenvaartschepen naar de afnemers zoals bijvoorbeeld de betonmortelcentrales. Voor deze drie activiteiten is diesel- en smeerolie nodig. Grind (5–30 mm) en betonzand hebben een energie-inhoud van respectievelijk 128 en  $104 \times 10^6$  J/ton. Deze getallen zijn inclusief zeven, sorteren en spoelen<sup>5</sup>).

De betonmortelcentrales verwerken overwegend 5–30 mm grind en betonzand. Het door een baggermolen gewonnen materiaal (specie), bestaat voor circa 55% uit 5–30 mm grind. Het materiaal dat door een zandbaggermolen of zandzuiger wordt gewonnen, bestaat eveneens voor ca. 55% uit betonzand. De zandwinning geschiedt voor 40% met baggermolens en voor 60% met zandzuigers. Om tot bovengenoemde gemiddelde waarde te komen is hiermee rekening gehouden.

#### Emissies

Bij het baggeren en zuigen en het vervoer wordt dieselolie gebruikt. De zwavel uit de olie komt daarbij vrij in de vorm van zwaveldioxyde ( $\text{SO}_2$ ).

## 2.4. Licht toeslagmateriaal voor beton

### Inleiding

In beton kunnen in plaats van zand en grind (stortgewicht ca.  $1.600 \text{ kg/m}^3$ ) ook lichte toeslagmaterialen met stortgewichten van bijvoorbeeld  $400\text{--}800 \text{ kg/m}^3$  worden gebruikt. Voor constructie-doeleinden worden voornamelijk geëxpandeerde leisteen en klei gebruikt. Naar schatting bedroeg het Nederlands verbruik van deze materialen in 1973 circa  $160.000 \text{ m}^3$ . Daar er grote hoeveelheden leisteen (steenbergen van de kolenmijnen) en klei beschikbaar zijn, is er voorlopig geen schaarste te vrezen.

#### Fabrikage van geëxpandeerde leisteen [15]

De leisteen wordt per vrachtauto aangevoerd van de dichtbij de fabriek gelegen steenbergen bij de kolenmijnen. De samenstelling van de leisteen is zodanig dat er een expansiemiddel moet worden toegevoegd om het zwellen te bevorderen. Dit kan bijv.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  zijn [16]. De grondstoffen worden gebroken, gemengd, gemalen en gedroogd tot een fijn poeder. Dit poeder wordt met water aangemaakt tot een deeg dat wordt geëxtrudeerd tot cilindervormige korrels van de gewenste afmetingen en samenstelling. Per ton geëxpandeerde leisteen is ca. 1 ton leisteen nodig. Het bakken geschiedt in een draaioven bij een maximale temperatuur van ca.  $1250^\circ\text{C}$ . Als brandstof wordt aardgas of stookolie gebruikt.

<sup>5</sup>) Gegevens: Grindverkoopkantoor B.V.; C.V. Industriezand Centrale en Scheepsbevrachting, Transport en handelmaatschappij Phijffer B.V. (allen te Nijmegen).



### Energie-aspecten

Het energieverbruik ontstaat bij het transport van de grondstoffen naar de fabriek en het transport over circa 625 km (heen en terug) naar de gebruiker (circa 20% per schip en 80% per vrachtauto). Daarnaast is er tijdens het proces verbruik van brandstof en elektriciteit. Tabel 8 vat dit samen.

**Tabel 8.** Energie-inhoud van geëxpandeerde leisteen [17, 18]

	Verbruik (10 <sup>9</sup> J/ton leisteent)
Transport grondstoffen (over circa 0,5 km)	0,008
<i>Fabrikage</i>	
- brandstof	2,7–3,6
- elektriciteit <sup>1)</sup> (30 kWh <sub>e</sub> /ton)	0,34
Transport naar de consument	0,48
Totaal	3,53–4,43

<sup>1)</sup> Omrekeningsfactor naar primaire energie: 3,167 (1 kWh<sub>e</sub> = 11,4 × 10<sup>6</sup>J).

### Emissies

Bij de fabricage van lichte toeslagmaterialen ontstaat er stof. Met behulp van elektrische filters wordt de stofemissie beperkt, zodat deze ca. 0,5 kg stof per ton produkt bedraagt <sup>6)</sup>. Indien er zware stookolie met een zwavelgehalte van ca. 3,5% wordt gebruikt, zal er SO<sub>2</sub>-emissie optreden. Per ton produkt is ongeveer 70 kg olie nodig. Er zal dan ca. 5 kg SO<sub>2</sub> ontwijken.

## 2.5. De waterwinning

### Inleiding

Als aanmaakwater voor beton wordt meestal leidingwater gebruikt. Water dat rechtstreeks afkomstig is van oppervlaktewater kan verontreinigingen bevatten die de sterkte-ontwikkeling van beton nadelig beïnvloeden. Gezien het Nederlandse cementverbruik van ca. 6 × 10<sup>6</sup> ton in 1973 was er voor gebruik in mortel en beton ca. 3 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> water nodig. Dit vertegenwoordigde circa 0,25% van het totale drinkwaterverbruik<sup>7)</sup>. Het water ten behoeve van de nabehandeling wordt buiten beschouwing gelaten.

### Energie

De hoeveelheid energie die nodig is om drinkwater te

produceren hangt af van een aantal factoren. Zo kan het water afkomstig zijn van grond- of van oppervlaktewater, dat al dan niet verontreinigd kan zijn. Ook speelt een rol de druk waarop het leidingwater moet worden gebracht (hoogteverschillen binnen een district). Om een indruk van het energieverbruik te krijgen is voor een aantal — over geheel Nederland verspreid gelegen — waterleidingbedrijven<sup>8)</sup> nagegaan hoe groot de produkties waren en wat het energieverbruik was van grond- c.q. oppervlaktewater tot en met leidingwater, afgeleverd bij de gebruiker. Hieruit bleek dat in 1972 het gemiddeld energieverbruik voor de produktie van drinkwater ca. 4,5 × 10<sup>6</sup>J/m<sup>3</sup> bedroeg.

## 2.6. Bereiding van betonspecie

### Inleiding

In een betonmortelcentrale worden ten behoeve van het vervaardigen van betonspecie de grondstoffen afgewogen (droge centrale) en gemengd (natte centrale). Tabel 9 vermeldt welke hoeveelheden grondstoffen er in 1973 door betonmortelcentrales zijn verbruikt.

**Tabel 9.** Produktie betonmortel en verbruik grondstoffen in 1973 <sup>1)</sup> (10<sup>6</sup> ton)

	16,3	
	Verbruik	Verbruik in ton/ton betonmortel
Cement	2,18	0,13
Zand	5,5	0,34
Grind	8	0,49
Water	0,88	0,05

<sup>1)</sup> Gegevens: Vereniging van betonmortelfabrikanten in Nederland.

### Energie-aspecten

Voor intern transport en het mengen van de grondstoffen tot betonmortel is voornamelijk elektrische energie nodig. Daarnaast wordt brandstof verbruikt voor verwarming van bedrijfsgebouwen e.d. Voor het transport met truckmixers van de centrale naar de bouwplaats is dieselolie nodig. Tabel 10 geeft een overzicht van de totale energieverbruiken over 1973, inclusief het transport naar de bouwplaats.

### Emissies

Bij de behandelingen op een betonmortelcentrale komt stof vrij. Ter bestrijding hiervan zijn vele bedrij-

<sup>6)</sup> Gegevens: Structoliet B.V. (Maastricht).

<sup>7)</sup> Informatie: Vereniging Waterleidingbedrijven Nederland.

<sup>8)</sup> Waterleidingbedrijven in Friesland, de Achterhoek, Noord-Holland, Amsterdam, Rotterdam (Berenplaat), Eindhoven, Zuid- en Noord-Limburg.



**Tabel 10.** Energieverbruik voor de vervaardiging van betonmortel in de centrale en voor het transport naar de bouwplaats<sup>1)</sup> (1973)

	Totaalverbruik (10 <sup>12</sup> J)	Verbruik in 10 <sup>6</sup> J per ton beton- mortel
Elektriciteit <sup>2)</sup> (16 x 10 <sup>6</sup> kWh <sub>e</sub> )	182,4	11
Aardgas (0,6 x 10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> )	21,1	1
Stookolie (2,2 x 10 <sup>6</sup> kg)	96,8	6
Transport van centrale naar bouwplaats; diesel- olie (14,9 x 10 <sup>6</sup> kg)	656,3	40
Totaal	956,6	58

<sup>1)</sup> Gegevens: Vereniging van betonmortelfabrikanten in Nederland.

<sup>2)</sup> 1 kWh<sub>e</sub> = 11,4 x 10<sup>6</sup>J.

ven met een ontstoffsinstallatie uitgerust. Voorts zou ook de betonspecie die om welke reden dan ook te veel is aangemaakt, als vervuiler kunnen worden aangemerkt. Van deze overschotten aan betonspecie zou een standaardartikel kunnen worden gemaakt. Zij zouden ook weer kunnen worden uitgespoeld, hetgeen jaarlijks circa 160 x 10<sup>3</sup> ton grind en 100 x 10<sup>3</sup> ton zand op zou leveren [19].

## 2.7. Betonstaal en voorspanstaal

### Inleiding

Beton wordt meestal in combinatie met wapeningsstaal toegepast (gemiddeld 100 kg/m<sup>3</sup> beton). In Tabel 11 zijn produktie en verbruik van gewoon betonstaal en voorspanstaal gegeven voor 1973.

**Tabel 11.** Produktie en verbruik in Nederland van beton- en voorspanstaal in 1973<sup>1)</sup> (10<sup>3</sup> ton)

	Produktie	Verbruik
<i>Gewoon betonstaal</i>		
staven	305	365
matten	90	130
<i>Voorspanstaal</i>		
draad (en staven)	20	20
strengen	10	10

<sup>1)</sup> Gegevens: Hoogovens B.V.

### Energiebehoefte voor betonstaal

Betonstaal wordt vervaardigd uit blokken die warm tot ronde vormen worden gewalst. Door het materiaal

koud te vervormen wordt de treksterkte verhoogd. Er kunnen voorts allerlei profileringen worden aangebracht om de aanhechting aan het beton te vergroten. Al deze bewerkingen vereisen extra energie. De in Tabel 12 gegeven getallen zijn gemiddelden voor de vervaardiging van al deze betonstaalsoorten (inclusief staalbereiding). Omdat er bij de staalbereiding hoogovengas vrijkomt dat voor andere doeleinden wordt gebruikt, is de energieinhoud hiervan op het totaal in mindering gebracht.

**Tabel 12.** Energie-inhoud van betonstaal<sup>1)</sup> (10<sup>9</sup>J/ton)

	Energie
Steenkolen	20,52
Stookolie	1,67
Gas	8,37
Elektriciteit <sup>2)</sup> (275 kWh <sub>e</sub> /ton staal)	3,14
Totaal	33,70
minus vrijkomend hoogovengas	10,89
Energie-inhoud betonstaal	22,81 (afgerond: 23)

<sup>1)</sup> Gegevens: Hoogovens B.V.

<sup>2)</sup> 1 kWh<sub>e</sub> = 11,4 x 10<sup>6</sup>J.

### Energiebehoefte voor voorspanstaal

Het basismateriaal voor voorspanstaal moet aan hoge eisen voldoen. Het wordt in een speciale oven bereid. Vervolgens worden blokken gegoten die in een volgende arbeidsgang worden verhit tot ca. 1150°C en uitgewalst tot lange staven. Dit proces kost meer energie dan de vervaardiging van gewoon betonstaal. Exacte gegevens zijn echter niet bekend. Aangenomen wordt hier dat de energie-inhoud van het halffabrikaat, de walsstaven, gelijk is aan de energie-inhoud van gewoon betonstaal, nl. 22,81 x 10<sup>9</sup>J/ton.

Om voorspanstaal te maken worden de staven opnieuw verhit tot ca. 950°C en vervolgens in een loodbad snel afgekoeld tot 500°C. Het materiaal verkrijgt hierdoor een zodanige structuur (troostiet) dat de treksterkte toeneemt. Hierna volgt een beitsbehandeling in verdund zwavelzuur (60°C) om de walshuid te verwijderen, daarna worden de zuurresten met water weggespoeld. Vervolgens wordt de draad in een borax-oplossing gedompeld, waardoor de nog overgebleven zuurresten worden gebonden. Nu wordt de draad door een treksteen getrokken, zodat de doorsnede 60 à 70% wordt verminderd. De verkregen draad wordt recht gemaakt en ondergaat een thermische behandeling (kunstmatig verouderen). Tenslotte wordt de draad op rollen gewikkeld. Strengen worden niet gericht, maar op de samenslagmachine samengesteld en daarna thermisch behandeld. De resulterende energie-inhoud is in Tabel 13 gegeven.



**Tabel 13.** Energie-inhoud in  $10^9$  J/ton van voorspanstaal (draden en strengen)<sup>1)</sup>

	Energie
Energie-inhoud walsdraad	22,81
<i>Fabrikage voorspanstaal</i>	
elektrische energie <sup>2)</sup> (231 kWh <sub>e</sub> /ton staal)	2,63
aardgas (80 m <sup>3</sup> /ton staal)	2,81
Totaal	28,25 (afgerond: 28,5)

<sup>1)</sup> Gegevens: Nederlandse Draad Industrie.

<sup>2)</sup> 1 kWh<sub>e</sub> =  $11,4 \times 10^6$  J.

**Tabel 14.** Vervuiling (kg/ton eindprodukt) bij de fabricage van staal (1971)<sup>1)</sup>

	Vervuiling
<b>1. Lucht</b>	
zwaveldioxyde (SO <sub>2</sub> )	2,1 — 3,6
stikstofoxydes (NO <sub>x</sub> )	1,2 — 5,1
koolmonoxyde (CO)	23,7 — 40,4
fluoriden (gemeten als F <sup>-</sup> )	0,11 — 0,22
stof (fijn en grof)	2,4 — 6,0

## 2. Water

### *Cokesfabriek*

ammoniak (NH <sub>3</sub> )	0,2 — 0,25
fenolen	0,015 — 0,2
cyaniden (gemeten als CN <sup>-</sup> )	0,08 — 0,10
zwavelwaterstof (H <sub>2</sub> S)	0,015 — 0,02

### *Pelletfabriek*

fluoride (gemeten als F <sup>-</sup> )	0,2 — 0,4
zwaveldioxyde (SO <sub>2</sub> )	0,4 — 0,6

### *Hoogoven*

zink (Zn)	0,17 — 0,25
lood (Pb)	0,04 — 0,05
zwavelwaterstof (H <sub>2</sub> S)	0,01
cyaniden (gemeten als CN <sup>-</sup> )	0,01

### *Beitserij*

ijzer (gemeten als Fe <sup>2+</sup> )	0,09
chloorwaterstof (HCl)	0,08

## 3. Bodem

brandbaar vast (huishoudelijk + licht industrieel afval) naar vuilverbranding	5,9
onbrandbaar vast (puin, vuil, zand etc.)	26,5
brandbaar vloeibaar (olieachtige sludges, vet etc.)	0,54
onbrandbaar vloeibaar	
- dolomiet, kalkslik	8,3
- emulsies + schoonmaakvloeistoffen	0,24

<sup>1)</sup> Gegevens: Hoogovens B.V.

## Emissies

De vervuiling die bij de vervaardiging van staal optreedt, is opgegeven in Tabel 14. Bij de fabricage van voorspanstaal ontstaat er additionele vervuiling. Gegevens hierover zijn echter niet bekend.

## 2.8. Hergebruik van beton

Betonnen elementen zouden opnieuw kunnen worden gebruikt wanneer zij in standaard-uitvoeringen zouden worden toegepast. Na beëindiging van de levensduur van een gebouw kunnen zulke elementen voor een ander gebouw worden gebruikt, zodat de duurzaamheid van het materiaal beter wordt benut. Wanneer er echter sprake is van omvangrijke betonnen constructiedelen, kunnen deze na de levensduur van het gebouw (of constructie) alleen worden gesloopt. De verkregen brokken kunnen dan hun toepassing vinden in opvulmateriaal (bijvoorbeeld dammen). Het zou aantrekkelijk zijn om het wapeningsstaal (met een relatief hoge energiewaarde) van beton te scheiden. Deze bewerking is bij de huidige stand van zaken economisch onverantwoord. Onderzoek op dit punt is gewenst.

## 3. Metselbaksteen

door ir. H.A.W. Cornelissen

### 3.1. Inleiding

De grondstoffen-, energie- en vervuilingaspecten van de fabricage van een drietal baksteensoorten is nagegaan. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar [20]. In 1971 produceerde men in Nederland 2060 MWF<sup>9)</sup> metselbaksteen (gewone soorten) en 210 MWF straatstenen [21]. Deze studie beperkt zich tot de eerstgenoemde categorie. Tabel 15 geeft enkele productiecijfers<sup>10)</sup>.

**Tabel 15.** Productie van belangrijke typen metselbaksteen in 1971 [22]

	Productie (MWF) (%)	
Handvorm	234	11,4
Machinale vormbak	1.426	69
Strengpers	geperforeerd	350
	vol	50
		17
		2,6

<sup>9)</sup> Als standaard heeft men het Waalformaat (WF) gekozen:  $210 \times 100 \times 50$  mm<sup>3</sup>. MWF betekent miljoen WF-eenheden.

<sup>10)</sup> Voor een algemeen statistisch overzicht betreffende bouwmaterialen in Nederland zie men Hoofdstuk 2, par. 6.2.3.



**Tabel 16.** Grondstoffenverbruik (als losgestort materiaal) per type metselbaksteen en in totaal voor de Nederlandse fabrikage in 1971

	Handvormsteen		Machinale vormbaksteen		Geperforeerde strengperssteen		Totaal landelijk verbruik	
	Per 1000 WF (m <sup>3</sup> )	Totaal (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Per 1000 WF (m <sup>3</sup> )	Totaal (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Per 1000 WF (m <sup>3</sup> )	Totaal (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Droog-gewicht (10 <sup>3</sup> ton)
Klei	1,5	351	1,5	2.139	1,5	525	3.015	4.830
Vormzand	0,2	47	0,08	114	gering	gering	161	225
Water	0,25	59	1,9	2.700	gering	gering	2.759	2.759

### 3.2. Grondstoffen

#### *Verbruik*

De belangrijkste grondstof voor de baksteenfabrikage is klei. Daarnaast worden onder andere vorm- en mengzand en water gebruikt, alsmede — ten behoeve van gele bakstenen — kalk. In Tabel 16 is het grondstofverbruik per type baksteen gegeven.

De relatief grote hoeveelheid water, die voor het machinale vormbakproces nodig is, wordt voornamelijk gebruikt voor het schoonspoelen van de vormbakken. De hoeveelheden klei zijn vrijwel onafhankelijk van het baksteentype. Voor de geperforeerde strengperssystemen is ten gevolge van de dichtere pakking van de klei een gelijke hoeveelheid nodig als voor de beide andere typen.

#### *Schaarste*

Schaarste aan klei — de voornaamste grondstof — kan alleen optreden wanneer in verband met de gevolgen voor het landschap de aanwezige klei niet mag worden afgegraven. Deze schaarste kan een regionaal karakter hebben, zodat de klei niet in de omgeving van de fabriek kan worden gewonnen. Dit geeft aanleiding tot grotere transportafstanden. Landelijke schaarste wordt niet gevreesd. Bovendien zal de buitendijkse klei steeds door de rivier worden aangevuld. Een besparing op de hoeveelheid klei kan overigens worden bereikt door er stoffen aan toe te voegen zoals zaagsel en zelfs bepaalde soorten chemisch afval [23].

Als grondstof voor de baksteenfabrikage komt ook mijnsteen in aanmerking. Deze bevat brandstof in de vorm van steenkool, hetgeen een besparing aan hoogwaardige brandstoffen oplevert.

### 3.3. Fabrikage en toepassing

Het fabrikageproces van metselbakstenen omvat een aantal fasen, welke hierna globaal worden behandeld (meer gegevens kan men vinden in [24]).

#### *Het winnen van de klei*

Het winnen gebeurt hoofdzakelijk met draglines,

waarna de klei met kipauto's naar de klei-opslag wordt getransporteerd. Na circa 1 jaar wordt de gevormde kleibult afgegraven en het materiaal naar de fabriek vervoerd met kipauto's, railtransport of transportbanden.

#### *Het voorbereiden*

De wijze waarop de klei wordt voorbereid, hangt sterk af van het vormgevingsproces. Voor handvorm-, machinale vormbak- en strengpersstenen is achtereenvolgens een steeds betere kleivorbewerking vereist.

#### *Het vormgeven*

Het handvormen geschiedt door met de hand klei in een vorm te werpen. Bij het machinale vormbakproces worden de vormen mechanisch gevuld. Bij het strengpersbedrijf wordt er door extruderen een kleistreng gevormd, waarvan moten worden afgesneden. Het extrusieproces biedt de mogelijkheid om de kleistreng in de lengterichting te perforeren.

#### *Het drogen van de natte vormelingen*

Het drogen kan op natuurlijke wijze geschieden in de buitenlucht. Momenteel wordt echter vrijwel altijd kunstmatig in tunnel- of kamerdrooginrichtingen gedroogd. De benodigde warmte is voor een deel afkomstig van de koellucht van de oven.

#### *Het bakken*

Het bakken van de klei vindt plaats bij temperaturen van 900 tot 1100°C. De tijd gedurende welke de temperatuur moet worden gehandhaafd, varieert van 10 tot 90 uren, afhankelijk van hoogste temperatuur, oventype, stapelwijze, grondstof en kwaliteit van het eindprodukt. Er worden verschillende oventypen gebruikt, te onderscheiden naar het al of niet verplaatsbaar zijn van het stookproces en van de te bakken produkten (Tabel 17).

#### *Sorteren en transport*

Na het bakken worden de stenen gesorteerd in ver-



**Tabel 17.** Indeling steenovens

Oventype	Stookproces	Ovenlading
periodieke oven (veldoven)	vaste plaats	vaste plaats
tunneloven	vaste plaats	bewegend
ringoven/vlamoven	bewegend	vaste plaats

schillende kwaliteiten en kleuren. Dit is veelal handwerk. Vervolgens worden de stenen vervoerd naar het tasveld, van waaruit verder transport naar de bouwplaatsen plaatsvindt.

#### *Toepassing van metselbakstenen*

Het Nederlandse metselbaksteenverbruik lag in 1971 voor circa 50% in de woningbouw en voor de rest in de overige bouwsectoren (zoals utiliteitsbouw) [25]. In de woningbouw was circa 63% bestemd voor gevels en 23% voor gevels van bergingen en trappenhuisen. Het gebruik van metselbakstenen voor binnenwanden is in de laatste 30 jaar sterk teruggelopen. In 1971 omvatte deze toepassing nog 14% van het verbruik. Vooral kalkzandsteen en gietbeton hebben deze toepassing overgenomen.

### 3.4. Energieverbruik

Bij de baksteenfabrikage is vooral energie nodig voor het drogen en bakken van de klei. In 1971 werden de meeste ovens met aardgas en enkele met olie of kolen gestookt. De laatste jaren wordt er vrijwel uitsluitend aardgas gebruikt. Voorts is elektriciteit nodig voor o.a. kleivoorbewerkingsmachines, strengpersen, vormbakmachines, ventilatoren, etc.

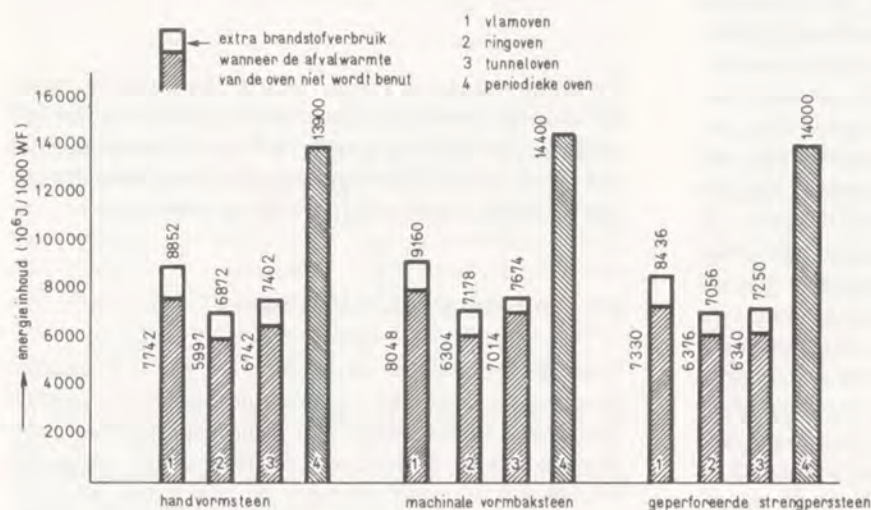
Om een beeld te krijgen van de totale energiebehoefte voor de drie genoemde typen stenen, gebakken in de diverse soorten ovens, zijn de energieverbruiken in de respectievelijke stadia van het fabrikageproces ge-

sommeerd. De verkregen energie-inhouden omvatten dus ook winning van de grondstoffen en transport van de bakstenen naar de bouwplaats. Omdat 95% van de geproduceerde bakstenen kunstmatig wordt gedroogd, zijn alleen de daarop betrekking hebbende getallen beschouwd. Figuur 3 toont het resultaat.

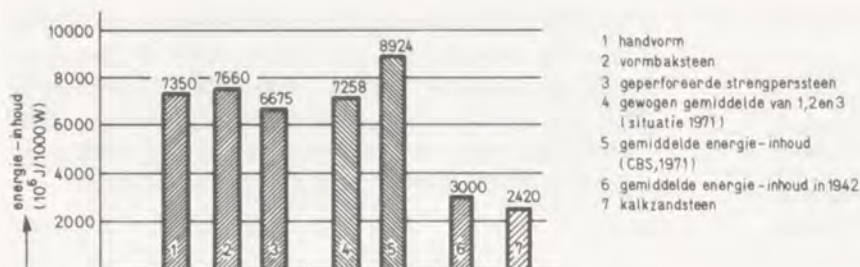
Uit Figuur 3 blijkt dat de energie-inhoud van een metselbaksteen voornamelijk wordt bepaald door het ovenproces, veel meer dan door het type. Tabel 18 geeft productiecijfers per type baksteen en per bakproces voor 1971. Op basis van deze getallen is voor de situatie van 1971 (die momenteel niet essentieel anders is) de gewogen energiewaarde per type baksteen bepaald. Zie Figuur 4. Bij de berekening is ervan uitgegaan dat voor alle produktiemethoden met uitzondering van de periodieke oven de afvalwarmte van de ovens is benut. In de praktijk is dit niet geheel waar. Deze afwijking tussen de aanname en de praktijk is echter te verwaarlozen.

**Tabel 18.** Nederlandse productie van metselbakstenen in 1971 per type baksteen en per ovenprocédé

	Productie			
	Handvorm- en machinale vormbaksteen		Geperforeerde strengpers- steen	
	MWF	%	MWF	%
Vlamoven	1.100	66,3	geen	0
Ringoven	410	24,7	40	11,4
Tunneloven	120	7,2	300	85,7
Periodieke oven	30	1,8	10	2,9
Totaal	1.660	100	350	100

**Figuur 3.** Energie-inhoud van enkele typen bakstenen afhankelijk van het bakprocédé (1971).





Figuur 4. Energie-inhoud van enkele typen bakstenen en van kalkzandsteen.

Uit Figuur 4 blijkt dat er voor een geperforeerde strengperssteen minder energie nodig is dan voor een handvorm- en een machinale vormbaksteen. Dit komt omdat ca. 85% van de strengpersstenen volgens het energetisch relatief voordelige tunnelovenproces wordt vervaardigd. Tweederde van de handvorm- en machinale vormbakstenen wordt daarentegen volgens het onvoordeligere vlamovenproces gefabriceerd. In Figuur 4 is tevens de berekende gewogen gemiddelde energiewaarde van de metselbakstenen vergeleken met het werkelijke landelijke gemiddelde. Dit laatste ligt ca. 23% hoger. Dit komt omdat de berekeningen betrekking hebben op grote, moderne bedrijven, waar veel aandacht wordt geschonken aan energetisch voordelige systemen. De andere bedrijven hebben dus relatief een te hoog energieverbruik, dat aanzienlijk zou kunnen worden vermindert. In de figuur is ook het specifieke energieverbruik van circa 30 jaar geleden opgegeven. Er was toen sprake van natuurlijke droging. Er waren relatief meer traditionele ringovens en er was minder gemechaniseerd [26]. Tenslotte is ter vergelijking de energie-inhoud van een mogelijk substituuut, namelijk kalkzandsteen, gegeven [27].

### 3.5. Milieubelasting

Het fabricageproces van baksteen gaat gepaard met verscheidene vormen van vervuiling. Op de eerste plaats wordt tengevolge van het afgraven van klei het landschap aangetast. Wel kunnen de ontstane watergebieden voor recreatieve doeleinden worden gebruikt. Het bakken van de klei geeft aanleiding tot emissie van zwaveldioxyde ( $\text{SO}_2$ ), afhankelijk van het zwavelgehalte van de klei en van de brandstof. De Nederlandse klei bevat gemiddeld circa 0,07 gew. % zwavel. Bij aardgas-gestookte ovens blijkt de  $\text{SO}_2$ -emissie circa 0,6 gram per WF te bedragen. Er komen tevens fluorverbindingen vrij, die schade kunnen veroorzaken aan bomen en gewassen. Een baksteen blijkt per kilo circa 300 mg fluorverbindingen minder te bevatten dan de klei waaruit deze gemaakt is. Deze fluorverbindingen verlaten de fabriek via de schoorsteen en via het stof, dat op het gebakken produkt achterblijft. Een deel zal ook achterblijven in de afvoerkanalen en wordt bij schoonmaak verwijderd. De emissie van kooldioxyde ( $\text{CO}_2$ ) is eveneens afhan-

kelijk van de brandstof en van de klei. Verder wordt er om gele stenen te vervaardigen kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) toegevoegd, hetgeen aanleiding geeft tot extra  $\text{CO}_2$ -emissie. Tengevolge van de kleisamenstelling zal er gemiddeld 85 g  $\text{CO}_2$  per WF ontwijken. Door het gebruik van brandstof (aardgas) wordt daar circa 400 g  $\text{CO}_2$  per baksteen aan toegevoegd. Dus totaal circa 485 g  $\text{CO}_2$  per baksteen.

Tenslotte zal er tijdens de fabricage uitval (puin) ontstaan. Dit puin kan dienen als verhardingsmateriaal voor wegen en terreinen. Na gemalen te zijn kan het worden gebruikt als vulmateriaal in beton. Tijdens het transport naar de bouwplaats en tijdens de verwerking van de bakstenen zullen er materiaalverliezen optreden. In Engeland bedragen deze verliezen 5–10% [28]. Voor Nederland waren hierover geen gegevens voorhanden. In Tabel 19 zijn de besproken emissies samengevat.

Tabel 19. Milieubelasting bij de baksteenfabricage

	kg/ton baksteen	kg/1000 WF
Uitval (puin)	5	8
Stof [22]	0,5	0,8
$\text{CO}_2$	300	485
$\text{SO}_2$	0,35	0,6
Fluor(verbindingen) [29]	0,3	0,5

Tot de emissies zou tevens radioactieve straling moeten worden gerekend. Deze straling is vooral het gevolg van het  $\text{K}_2\text{O}$  (de isotoop  $\text{K}^{40}$ )-gehalte van bakklei (1,4–1,7 gew. %). Over de intensiteit van deze stralingen en de gevolgen is echter weinig bekend.

### 3.6. Hergebruik van metselwerk

Evenals in het geval van beton (zie par. 2.8) zouden gemetselde standaard-elementen kunnen worden toegepast, welke meer dan eenmaal bruikbaar zijn. Wanneer deze bouwwijze niet is gevolgd, moet het metselwerk worden gesloopt en eventueel gebroken en gemalen. Het kan dan dienst doen als wegverharding, vulmateriaal of toeslag in beton.



## Appendix 1. Vergelijking van de energiebehoefte voor een betonnen en een bakstenen gevelement

Om de materialen baksteen en beton te vergelijken is een toepassing gekozen die van elk van deze materialen zou kunnen worden vervaardigd, nl. op de bouwplaats gefabriceerde elementen met afmetingen  $100 \times 100 \times 10 \text{ cm}^3$ . De eventuele isolatie en afwerking worden niet beschouwd; wel wordt bij het gemetselde element de mortel in rekening gebracht. Voor beton en mortel zijn gebruikelijke samenstellingen <sup>11)</sup> gekozen met portlandcement A als bindmiddel. In Tabel 20 is een overzicht van de drie mogelijkheden gegeven. Voor de benodigde gegevens wordt verwezen naar de voorgaande paragrafen.

**Tabel 20.** Energie-inhoud van een element van  $100 \times 100 \times 10 \text{ cm}^3$  van grind- of licht-beton en van metselwerk

	Hoeveelheid	Energie-inhoud (10 <sup>6</sup> J)
<i>Beton</i>		
Mortel vanaf grondstoffen via centrale t/m transport naar gebruiker:		
- grindbeton	0,1 m <sup>3</sup>	257
- lichtbeton	0,1 m <sup>3</sup>	470
Wapeningsstaal	7 kg	160
Stalen bekisting (gebruik $100 \times$ , gewicht 170 kg)	1,7 kg	38
Totaal:		
- grindbeton		455
- lichtbeton		668
<i>Metselwerk</i>		
Vervaardiging vormbaksteen	75 stuks	570
Mortel	25 dm <sup>3</sup>	62
Totaal		632

De energie-inhoud van een element van grind-beton blijkt geringer te zijn dan van een element van lichtbeton of metselwerk. Dit is voornamelijk het gevolg van het energetisch voordelige toeslagmateriaal grind. Vervanging van grind door geëxpandeerde leisteen (bij lichtbeton) veroorzaakt bijna een verdubbeling van de energie-inhoud van de betonmortel. De benodigde hoeveelheid staal (wapening + bekis-

<sup>11)</sup> Grindbeton: 340 kg cement, 170 kg water, 600 kg zand en 1.175 kg grind per m<sup>3</sup> beton.  
Lichtbeton: 340 kg cement, 175 kg water, 620 kg zand en 650 kg lichte toeslag per m<sup>3</sup> beton.  
Mortel: 348 kg cement, 170 kg water, 1.890 zand per m<sup>3</sup> mortel (kalk verwaarloosd).

ting) vertegenwoordigt bij grind- en lichtbeton respectievelijk 44% en 30% van de totale energie-inhoud. De energie-inhoud van het gemetselde element wordt voor 90% gevormd door de metselbakstenen en is vrijwel gelijk aan de energie-inhoud van het lichtbetonnen element.

## 4. Hout

door ir. N.A. den Hartog, ir. E.J. Heidema en ir. J.A. Lasschuit

### 4.1. Inleiding

Hout is één van de oudste door mensen toegepaste materialen. Het komt over een groot deel van de aarde voor en kan relatief gemakkelijk worden bewerkt. Daarbij zijn er vele in eigenschappen van elkaar afwijkende houtsoorten bekend, wat een zekere keuze mogelijk maakt al naar gelang de doelstelling van de toepassing. Voorts bezit hout in verhouding tot zijn gewicht een grote sterkte. De breuklengte van hout, d.i. de lengte waarbij een materiaal door zijn eigen gewicht breekt, wordt slechts door enkele andere organische materialen benaderd of overtroffen. Doordat hout bestaat uit een complex van hoofdzakelijk parallel liggende holle vezels, merendeels opgebouwd uit lineaire organische polymeren, is het materiaal volumineus en heeft het een grote specifieke weerstand tegen knikbelasting. Deze structuur is de reden voor vele toepassingen van hout, zoals die als constructie- en isolatiemateriaal (zowel m.b.t. warmte als elektriciteit en geluid), papier en synthetische vezels. Een eigenschap van geheel andere aard is dat bepaalde houtsoorten door hun kleur, glans en tekening aan esthetische wensen tegemoet komen en een gevoel van behaaglijkheid met zich meebrengen. Dit maakt het een gezocht materiaal voor meubels en andere toepassingen aan en in de woning. Als natuurproduct is elk stuk hout strikt genomen uniek <sup>12)</sup>.

De voornaamste vraagstukken voor de wereldhuishouding t.a.v. hout zijn de volgende.

- Het handhaven van een evenwicht tussen de houtaanwas en het houtverbruik.
- Het kennen en beheersen van de voornaamste factoren die de houtconsumptie in de diverse sectoren van de maatschappij beïnvloeden.

Bossen hebben een aantal functies voor het menselijk welzijn waarvan de betekenis nog nauwelijks — en zeker niet algemeen — wordt ingezien. Bij een toenemende schaarste van bepaalde andere grondstoffen kunnen bosproducten een steeds belangrijker rol spelen in de wereld van morgen.

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek meent dat het toekomstig belang van hout een aparte studie over dit onderwerp rechtvaardigt. De voorliggende

<sup>12)</sup> In grote delen van de wereld wordt hout nog slechts voornamelijk als brandstof benut.



studie beperkt zich daarom tot hout als constructiemateriaal, waarbij het accent logischerwijze valt op de toepassing als bouw materiaal.

## 4.2. Trendmatige ontwikkelingen<sup>13)</sup>

### *Veranderingen in het aanvoerpatroon*

Nederland is een betrekkelijk bosarm land (een areaal van circa 2800 km<sup>2</sup> en een jaarproductie van ongeveer  $1,2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) en het is daardoor voornamelijk op import aangewezen. Daar komt bij dat de houtopbrengst uit eigen bossen grotendeels zijn weg vindt naar een aantal specifieke afzetgebieden (papierindustrie en enkele andere industrieën die licht rondhout verwerken, waterbouw, land- en tuinbouw, recreatie-objekten, enz.). Een deel van het lichte rondhout wordt geëxporteerd. De bouwnijverheid, de timmer- en de meubelindustrie, om een paar belangrijke andere afzetgebieden te noemen, zijn vrijwel geheel aangewezen op import hout.

Het geïmporteerde hout kan worden gesplitst in twee grote groepen. Dit zijn zachthout, waaronder wordt verstaan Europees en Amerikaans naaldhout in bouw hout kwaliteiten, en hardhout, dat zijn de loofhoutsoorten en de hoogste kwaliteiten van het Amerikaanse naaldhout. De houtsoorten vuren, dennen en grenen, die de hoofdmoot van de zachthoutimport vormen, maken als groep tevens het voornaamste deel uit van het totale houtimportpakket.

Bij de zachthoutimport is reeds sinds vele tientallen jaren een verschuiving gaande van rond zaaghout naar gezaagd hout. Daarbij kwam geleidelijk de import van halffabrikaten zoals triplex, spaanplaat, zacht- en hardboard en producten daarvan. Als vervolg daarop begint nu, zij het nog op beperkte schaal, de import van houtproducten (diverse bouwelementen en zelfs complete geprefabriceerde huizen). De motor hiervoor vormen vooral die houtproducerende landen die een hoogontwikkelde eigen houtindustrie hebben en die op deze wijze trachten een groter deel van de toegevoegde waarde in eigen land te houden.

Bij hardhout treden eveneens verschuivingen op. In de eerste plaats komen er steeds andere houtsoorten op de markt. Onder meer door invloeden als mode worden bepaalde houtsoorten populair. Wat meubelen betreft is teak daarvan een goed voorbeeld geweest. Door de verhouding van vraag en aanbod stijgt de prijs dan zodanig dat vervangende houtsoorten een kans krijgen. Zo beleefden houtsoorten als doussié, peroba de campos en wengé voor timmerwerk een zekere populariteit, die met het stijgen van de prijzen geleidelijk weer afnam. De laatste jaren is donkerrode meranti voor timmerwerk erg in trek. Andere soorten, zoals het bekende limba (triplex) verdwenen geruisloos van het toneel. Ook in het geval van hardhout bestaat in sommige exportlanden de

neiging om de uitvoer van rondhout af te remmen ten gunste van gezaagd hout en plaatmaterialen.

De vooruitzichten kunnen als volgt worden samengevat [30 t/m 34].

- Voor heel Europa ligt het maximum van het tekort aan zaagstammen in het tijdvak 1970 - 1975. Het tekort zal overigens zonder problemen uit productiegebieden buiten Europa in de vorm van gezaagd hout worden aangevuld. De voor de Nederlandse bouw houtvoorziening belangrijke Noord-Europese productiegebieden zoals Zweden en Finland zullen, voorzover het gaat om zwaar rondhout voor zaagdoeleinden, sterk groeiende overschotten gaan vertonen.
- Voor ons land zal de aanvoer van gezaagd hout, fineer en triplex in de periode na 1980 verzekerd zijn.
- In de komende jaren zal hout (en houtpulp) voor andere dan constructie-doeleinden in aanzienlijke hoeveelheden moeten worden geïmporteerd. Het is in dit toepassingsgebied, dat er structurele tekorten dreigen, vooral als gevolg van de snel groeiende vraag naar hout voor de papierfabrikage.
- Mede als gevolg van stabilisatie van de Nederlandse bevolking tegen de komende eeuwwisseling zal het verbruik van hout voor constructie-doeleinden eerder een stabiel niveau bereiken dan voor andere toepassingen.

Nederland zou kunnen overwegen, de nationale houtproductie te gaan opvoeren, teneinde het reeds bestaande door import gedekte tekort te beperken [35, 36]. Men kan denken aan het bebossen van marginale landbouwgronden en van drooggelegde nieuwe polders of opgespoten land bij de Nederlandse kust.

### *Ontwikkelingen in de houttechnologie*

De technologische ontwikkeling op het gebied van hout en houttoepassingen heeft in Nederland in de afgelopen twintig jaren een grote achterstand t.o.v. andere constructiematerialen ingehaald. Van tientallen houtsoorten werden de mechanische en fysische eigenschappen door onderzoek vastgesteld. Constructieve toepassingen van hout en plaatmaterialen op basis van hout werden beproefd. Getuigen hiervan zijn recente normen en voorschriften met betrekking tot de kwaliteit van hout en van houtproducten, de sterkte van houtsoorten, de toelaatbare spanningen in houtconstructies, het draagvermogen van houtverbindingen, het berekenen van bepaalde houtconstructies, brandvertragende behandeling, verduurzamingsmiddelen en -technieken, lijmen, technisch drogen en de afwerking van het oppervlak. De kwaliteitscontrole op hout en timmerwerk kreeg door deze normen en voorschriften een goede basis.

### *Ontwikkelingen in de toepassing als bouw materiaal*

De gang van zaken in de bouwnijverheid heeft het hout (nog) niet in die mate in de kaart gespeeld als de houttechnologen misschien hadden gehoopt. De ont-

<sup>13)</sup> De auteur van dit gedeelte is ir. E.J. Heidema.



wikkeling heeft immers bij andere bouwstoffen ook niet stilgestaan. De traditionele houten vloerconstructie heeft voor een groot deel het veld moeten ruimen ten gunste van steenachtige vloeren. De grote vlucht die de hoogbouw gedurende een tien tot vijftien jaren kon nemen is daar niet vreemd aan, want wie aan hoogbouw denkt, denkt in ons land meteen aan betongietbouw, waarbij wanden en vloeren tot één geheel worden verenigd. Dat dit niet door alle bewoners op prijs wordt gesteld, bewijst de sterke teruggang van de hoogbouw in de afgelopen jaren. De bevolking — in het bijzonder gezinnen met jonge kinderen — toont bij vrije keuze een voorkeur voor het eengezins-huis. Daarmee is echter de houten vloerconstructie nog niet teruggekeerd.

Niet alleen de houten vloer maar ook het traditionele houten dakbeschot moest terrein prijsgeven. Dit is een gevolg van het toenemende gebruik van plaatmaterialen, die worden verwerkt tot geprefabriceerde dakbeschietingselementen, voorzien van een isolatielaag, tengels en panlatten. Behalve plaatmaterialen worden in dergelijke elementen ook wel gewone dakdelen toegepast voor vlakke constructies of constructiedelen van enig formaat. De gietbouw bracht het gebruik mee van stalen bekistingen. Voorzover de bekistingsschotten van hout bleven, werden dat met kunststof afgewerkte plaatmaterialen.

Houten kozijnen en ramen hebben een ontwikkeling doorgemaakt tot kamergrote elementen met veel glas. Hierin begint weer verandering te komen als gevolg van de drang tot bezuiniging op verwarmingsenergie. De ontwikkeling van andere typen houten gevelelementen, eveneens kamergroot maar met minder (doch dubbel) glas en met meer (goed geïsoleerde) dichte gedeelten, begint op gang te komen. Dit zou een verdere stap kunnen zijn op de weg naar de houtskeletbouw, waarmee voor het gehele bouwwerk een uitstekende thermische en acoustische isolatie kan worden bereikt. In de houtsoorten voor de fabricage van gevelelementen trad een duidelijke verschuiving op van grenen en vuren naar tropisch loofhout, de laatste tijd vooral donkerrode meranti. Het lijkt echter geenszins zeker dat het loofhout dit gebied blijvend zal kunnen veroveren. Europees naaldhout ligt immers, door de nabijheid van de produktiegebieden (Zweden, Finland, USSR en de Midden-Europese hout-exporterende landen als Oostenrijk en Tsjechoslowakije) gunstig in de markt. Tropisch loofhout, zoals meranti, moet van verre landen worden aangevoerd, van een markt waar de vraag sterker toeneemt dan het aanbod.

Een belangrijk facet is de relatief sterke stijging van de bouwkosten. Industrialisatie van de bouw lijkt het antwoord te zijn op deze uitdaging. Industriële bouw moge dan voor velen nog een schrikbeeld zijn in verband met de verwachte monotonie, prefabricage van bouwonderdelen is al een realiteit. Hier heeft hout, wegens zijn gunstige sterkte/gewicht verhouding en zijn gemakkelijke bewerkbaarheid ongetwijfeld zeer reële kansen. Prefab-onderdelen voor daken, vloeren, wanden, gevels en complete bijgebouwen, nu al over-

al in gebruik, zullen in gestandaardiseerde vorm de bouwstenen worden voor de open bouwsystemen van de toekomst.

Ontwikkelingen in andere Europese landen wijzen erop dat de houtskeletbouwmethode in opmars is. Hierbij zijn de dragende delen van hout en triplex aangevuld met andere materialen ter voldoening aan functionele eisen inzake de brandveiligheid, de thermische en acoustische isolatie, de wind- en waterdichtheid en de beperking van het onderhoud van de buitenwanden.

De bouwnijverheid gebruikt tegenwoordig per m<sup>3</sup> gebouwd volume minder hout dan voorheen maar er werd tot voor kort steeds meer gebouwd en daardoor bleef het totale gebruik op peil. Daar is nu een gevoelige deuk in gekomen. De toekomst is hier moeilijk te voorspellen. Als de houtskeletbouw in ons land meer erkenning zou krijgen, zoals onder andere in Engeland reeds het geval is, kan het houtgebruik per m<sup>3</sup> gebouwd volume weer stijgen. Nu er de laatste jaren een grote voorkeur voor éengezinshuizen is ontstaan nemen de kansen voor houtskeletbouw toe. Prijzen, publieke opinie, de instelling van architecten, bouwtoezichten, verzekeringsmaatschappijen en hypotheekbanken en beleggers spelen daarbij een belangrijke rol.

Door 20 jaren speur- en ontwikkelingswerk is in ons land de weg geopend voor economische dragende houtconstructies (grote vakwerken, gelijmde balken, bogen en koepels, enz.). De gebouwen voor de Olympische Spelen in München zijn daarvan prachtige voorbeelden, die veel navolging vonden. Maar ook hier is voorspellen moeilijk.

### *Sociale veranderingen*

Reeds werd gewezen op de sterk gestegen kosten van het bouwen. Datzelfde geldt uiteraard voor de onderhoudskosten (zie ook par. 1.2.). Tezamen met een duidelijke schaarste aan vaklieden als timmerlieden en schilders, brengt dit de handige bewoner van een huis tot eigen activiteit. Dit weer gekoppeld aan een toenemende vrije tijd bij een groot deel van de bevolking, aan een duidelijke voorkeur voor natuurlijke materialen en aan de gemakkelijke verkrijgbaarheid en bewerkbaarheid van hout, triplex, spaanplaat en board, heeft het gebruik van deze materialen in de doe-het-zelf sector een enorme impuls gegeven. Duizenden huizen (vooral eengezinswoningen) zijn door de bewoner voorzien van een houten wandbetimmering, een verlaagd plafond of van inbouwmeubelen. Het op de markt komen van allerlei mechanische gereedschappen waarmee ook de amateur kan omgaan is hieraan niet vreemd.

Andere groeigebieden voor hout liggen op het gebied van de recreatie en de sport. Een tweede huis, hetzij permanent bewoonbaar, hetzij in bescheidener vorm, is een nog veel gekoesterde wens. Een ander voorbeeld is de waterrecreatie, die veel hout vraagt voor de bouw van jachthavens, met aanlegsteigers, botenhuisen, kantines enz. Hout en de lucht van teer, cre-



soot en carbolineum horen nu eenmaal bij de watersport. Hier wordt ook veel hout uit Nederlandse bossen verwerkt. Boten worden in afnemende mate van hout gemaakt, althans het casco.

#### 4.3. Toepassingen <sup>14)</sup>

Hout kan als grondstof worden gebruikt voor een groot aantal processen en toepassingen. Het veld reikt van het gebruik in (nagenoeg) de vorm zoals het in het bos is gegroeid, tot producten verkregen door middel van uitgebreidere bewerkingen van de grondstof (zagen, snijden, verspanen, vervezelen, chemisch oplossen) gevolgd door een assemblage- of reconstructieproces.

##### *Verbetering van hout als constructiemateriaal*

Het zonder meer toepassen van hout als bouw materiaal kan problemen oproepen. Op een aantal technische mogelijkheden zal hier kort worden ingegaan.

- De afmetingen van houten constructiedelen zijn afhankelijk van de lengte en diameter van de boom waaruit het houtstuk werd vervaardigd. De moderne lijmtechniek, met gebruik van overwegend synthetische lijmen, heeft het mogelijk gemaakt houten constructiedelen van grote dikte te vervaardigen door lagen op elkaar te lijmen.
- De beperking in lengte-afmeting werd opgeheven door de ontwikkeling van de vingerlassen, waarbij in de uiteinden van de samen te voegen houtstukken in elkaar passende vingervormige uitsteeksels werden gefreesd die met kunstharslijm aan elkaar worden gelijmd. Houtstukken van iedere gewenste lengte zijn hierdoor mogelijk geworden. Gecombineerd met het bovengenoemde laagsgewijs op elkaar lijmen is het mogelijk vrijdragende houten spanten te bouwen met een overspanning van 120 m uit praktisch massief hout.
- Verwante lijmtechnieken hebben het mogelijk gemaakt door het gekruist op elkaar lijmen van hout schaaldaken van aanzienlijke afmetingen te bouwen. Daarnaast verdienen triplexribpanelen te worden genoemd. Dit zijn dooselementen, bestaande uit ribben van massief hout, één- of tweezijdig afgedekt met daarop gelijmd triplexplaten.
- Voor vakwerkconstructies in hout vormden vroeger de knooppunten de constructief zwakke plekken. Moderne verbindingsmiddelen in de vorm van stalen deuvels en kramplaten alsmede stalen of houten (triplex) schetsplaten hebben hierin verandering gebracht. Ook de aloude draadnagel is echter nog lang niet uitgeschakeld en heeft in de vorm van nieten een moderne aanvulling gekregen. Pneumatische verwerking maakt de toepassing van deze eenvoudige verbindingsmiddelen aantrekkelijk. Moderne berekeningsmethoden en de sterktesortering (visueel en mechanisch) hebben

daarnaast een zuiniger en efficiënter gebruik van hout mogelijk gemaakt.

- Een andere bij toepassing gevoelde beperking is dat het in de natuur gegroeide hout slechts in min of meer cilindrische vorm beschikbaar is. De klassieke oplossing, het verzagen van het ronde hout tot planken en het opbouwen van plaatachtig materiaal uit de planken, heeft aanvulling gekregen van speciale plaatmaterialen zoals tri(multi-)plex, hard- en zachtboard en spaanderplaat. Het typerende van deze materialen is dat de grondstof eerst wordt verkleind (fineerlagen, vezels, spaanders) en vervolgens al of niet met behulp van lijm tot platen wordt samengevoegd.
- Een bezwaar voor hout en van hout afgeleide materialen is dat het (als organisch materiaal) kan worden aangetast door bepaalde schimmels, insectenlarven en (in zout water) door enkele maritieme organismen. Deze aantasting is zeer afhankelijk van het klimaat; in de tropen is zij zeer intensief, in koude of droge streken veel minder. Tegen deze aantasting zijn een aantal maatregelen mogelijk in de constructieve/fysische sfeer, naast maatregelen op chemische basis. De constructieve maatregelen zijn erop gericht het hout droog te houden (vochtgehalte lager dan 20%), aangezien dan schimmels en een grote groep van houtaantastende insectenlarven geen kans krijgen. Een andere fysische methode is het van de zuurstof afsluiten van het hout door het onder water te brengen, waardoor eveneens het overgrote deel van de aantastende organismen wordt uitgeschakeld (heipalen beneden het grondwaterpeil). Daar waar bovengenoemde maatregelen niet toepasbaar zijn en aantasting moet worden gevreesd, kan men van nature duurzame houtsoorten kiezen. Doordat duurzame houtsoorten slechts beperkt voorkomen, liggen de prijzen hiervan in de regel hoog. Het is doorgaans voordeliger, van nature niet-duurzame houtsoorten te gebruiken, die kunstmatig worden verduurzaamd. Dit geschiedt door bepaalde stoffen in het hout te brengen met behulp van vacuüm of druk, drenken, dompelen, bespuiten, etc. Het hout wordt dan als voedsel voor de aantastende organismen ongeschikt of zelfs giftig. De wijze van inbrenging en de gebruikte middelen hebben een hoge graad van perfectie en doeltreffendheid bereikt. Vele van de gebruikte middelen zijn begrijpelijkerwijze wegens de giftigheid milieuvervuilend. Er wordt echter gezocht naar nieuwe middelen die genoemd bezwaar in mindere mate vertonen.
- Een ander bezwaar van hout is de brandbaarheid. Dit betekent overigens niet dat hout gemakkelijk brandt. Hoewel dit paradoxaal lijkt, blijken stevige houten constructies een matige brand beter te overleven dan in het geval van beton of staal. Een brand ontstaat ook in de regel niet in de constructie van een gebouw, maar in de inhoud (meubels, gordijnen, vloerbedekking, opgeslagen materiaal). Daarnaast kan hout, mits van voldoende ruime dra-

<sup>14)</sup> Deze bijdrage is hoofdzakelijk geschreven door ir. N.A. den Hartog.



gende doorsnede, tijdens een brand nog langdurig zijn dragende functie blijven vervullen. Bij hout dat tijdens een brand aan een hoge temperatuur wordt blootgesteld, vormt zich aan de buitenzijde een koollaag die het inwendige van het hout isoleert tegen de hitte en afsluit van de voor de verbranding nodige zuurstof. De vorming van deze koollaag schrijdt bij voortgaande verhitting langzaam naar binnen voort. Daar binnen is het hout dan nog onverzwakt. Het bovenstaande geldt ook voor gelijmde spantconstructies.

Waar nodig kan hout ook kunstmatig brandvertragend worden gemaakt. De gebruikte middelen kunnen bijv. de bovenomschreven koollaagvorming bevorderen, of een isolerende schuimlaag op het hout vormen. Brandveiligheidsvoorschriften dienen bij voorkeur op een functionele basis te berusten. Dit betekent dat men eisen stelt waaraan een constructie uit brandveiligheidsoverwegingen moet voldoen en dus niet bij voorbaat bepaalde materialen van gebruik uitsluit.

#### *Het weinig bewerkte hout*

Men denke hier in de eerste plaats aan soorten palen en mijnhout. In Nederland zijn de heipalen het belangrijkste; telefoonpalen en masten zijn hier sterk in betekenis afgenomen, evenals het boerengeriefhout. Kleinere palen, te vergelijken met de mijnhoutafmetingen, worden nog wel in aanmerkelijke hoeveelheden gebruikt in de waterbouw en als heiningpalen voor afrasteringen en andere agrarische bestemmingen. Van deze palen wordt een aanmerkelijk deel kunstmatig verduurzaamd door onder vacuüm of druk impregneren met of drenken in bepaalde middelen. Volgens onderzoeken van het Landbouw Economisch Instituut [37, 38] werd er in 1967 door 61 bedrijven 39.500 m<sup>3</sup> inlands en 29.100 m<sup>3</sup> geïmporteerd hout, in totaal dus 68.600 m<sup>3</sup> geïmpregneerd. Het gebruikte hout bestond voor 66% uit grove den, het restant uit andere naaldbhoutsoorten. In landen waar telefoon, telegraaf en elektriciteitsvoorziening nog van bovengrondse leidingen gebruik maken, spelen de palen voor dit doel nog een belangrijke rol, alhoewel vervanging door palen van beton en staal in toenemende mate plaatsvindt. Over de gehele wereld bezien bestaat een jaarlijkse behoefte van ca. 30 miljoen stuks palen [30].

Het verbruik aan heipalen in Nederland was in 1966 ongeveer 158.000 stuks (langer dan 5 m), waarvan 25.000 uit Nederland en 133.000 geïmporteerd (vooral de langere palen). Van deze palen ging ruim 70% in de woningbouw [37]. De houten heipalen ondervinden sterke concurrentie van betonpalen, in het bijzonder bij grotere lengten en belastingen, vooral voor de hoogbouw en de utiliteitsbouw. Voor laagbouw en voor bepaalde waterbouwkundige werken is de houten heipaal nog geenszins uitgeschakeld. As houtsoort wordt in Nederland in hoofdzaak vuren (import) en grenen (voor een groot deel binnenlands) gebruikt.

Het gebruik van mijnhout is sinds de sluiting van de

mijnen in Nederland tot een einde gekomen. De Nederlandse bossen produceren echter nog wel voor de buitenlandse markt, hoewel deze productie in geen verhouding meer staat tot wat vroeger gebruikelijk was. Dit mijnhout bestond vrijwel uitsluitend uit grenen. Het vroegere mijnhout wordt nu grotendeels geleverd aan de spaanplaten-, papier- en vezelplatenindustrie. Vervanging van houten door stalen en hydraulische stempels en een sterk opgevoerde mechanisering verlaagde bijvoorbeeld in Duitsland het mijnhoutverbruik per 1000 ton kolen van 33 m<sup>3</sup> in 1913, via 25 m<sup>3</sup> in 1965 tot 12 m<sup>3</sup> in 1970, terwijl een verdere daling tot 7 à 8 m<sup>3</sup> in 1980 wordt verwacht. Het totale verbruik in de Bondsrepubliek bedroeg in 1971 nog 1,3 miljoen m<sup>3</sup>, zijnde 2% van het gehele houtverbruik. In geheel Europa (zonder USSR) bedroeg het gebruik in 1970 ongeveer 10 miljoen m<sup>3</sup>, wat ongeveer 3% van het totale houtgebruik uitmaakte.

Een volgende categorie onder de weinig bewerkte houtproducten vormen de spoorwegdwarsliggers. In Nederland worden in hoofdzaak geïmporteerde dwarsliggers gebruikt, op dit ogenblik in de eerste plaats liggers van de zeeden uit Les Landes (Frankrijk) met daarnaast beuken- en eikenliggers voor wisselhout. In de banen liggen in hoofdzaak grenen liggers, naast beuken en eiken. Beide houtsoorten worden na de nodige bewerkingen met creosoot onder vacuüm of druk verduurzaamd om een voldoende lange levensduur te krijgen [37]. In totaal liggen er in Nederland ongeveer 13 miljoen stuks in de banen.

De jaarlijkse vervanging omvat ongeveer 400.000 stuks [30, 37, 38]. De gebruikte houtsoorten variëren van land tot land, afhankelijk van voorkomen en daarmee samenhangende prijs: in Duitsland beuk, in Frankrijk eik en beuk, in België eik, in Oostenrijk lariks met daarnaast beuk en eik, in de Scandinavische landen grenen. Nagenoeg alle liggers worden geïmpregneerd, omdat het spinhout (buitenste lagen van het hout), ook van de duurzame houtsoorten zoals eik en lariks, niet duurzaam is. Met deze behandeling bereiken grenen liggers een levensduur van 30 jaar en beuken van 40 jaar in plaats van 8 resp. 3 jaar.

In sommige landen ondervindt de houten dwarsligger concurrentie van stalen dwarsliggers en/of die van voorgespannen beton. De opkomst van de stalen ligger, die vooral in Duitsland werd toegepast, geschiedde daar deels als gevolg van politieke overwegingen (stimulering van de staalindustrie), deels omdat ten tijde van de invoering van de stalen liggers (1870) de impregnering van houten liggers nog onvoldoende was ingevoerd, zodat de levensduur van liggers uit beuken of grenen beperkt was. Na de laatste wereldoorlog neemt het gebruik van stalen liggers af.

De ligger van voorgespannen beton is na de Tweede Wereldoorlog opgekomen. Redenen waren dat de spoorwegdirecties minder afhankelijk wensten te worden van de leveranciers van houten liggers, terwijl daarnaast de hoop werd gekoesterd dat de betonnen



liggers beter zouden kunnen voldoen aan de eisen van een in frequentie en gewicht toenemend verkeer.

In totaal liggen er in de spoorbanen van de gehele wereld ongeveer 3 miljard liggers, waarvan 85% van hout en 15% van staal of beton. Dit komt ongeveer overeen met 500 miljoen m<sup>3</sup> rondhout; de jaarlijkse vervanging zou ca. 8 miljoen m<sup>3</sup> vergen [30]. Dwarsliggers worden in de regel vervaardigd uit hout van lagere kwaliteitsklassen. Vooral voor beukenhout is deze afzet van betekenis, maar ook wel voor andere loofhoutsoorten, omdat deze kwaliteiten moeilijk voor andere doeleinden worden verkocht, behalve voor brandhout en vezelplatenhout tegen aanmerkelijk lagere prijzen. De spoorwegen nemen op dit punt in de betrokken landen min of meer een monopoliepositie in. De laatste jaren echter beginnen de spaanplaat-, vezel-, papier- en parketindustrieën deze markt binnen te dringen ter voorziening in hun grondstofbehoefte.

### Zaaghout

De grootste afnemer van zaaghout is de bouwnijverheid. Volgens de FAO [30 t/m 34] gaat over de gehele wereld genomen 60% van het werkhout (= niet-brandhout) in de bouw, tegen in Europa 30%. Van het zaaghout zelf gaat in Europa 50% in de bouw en 10% in de meubelindustrie. Van al het hout dat in 1969 in een land als Duitsland in de bouw werd gebruikt werd het overgrote deel gevormd door zaaghout. Er bestaat echter een algemene tendens dat de plaatmaterialen zoals spaanplaat, tri(multi-)plex, hard- en zachtboard, het zaaghout gedeeltelijk gaan vervangen.

De FAO schatte voor Europa de verhouding zaaghout/plaatmateriaal in 1960 op 94:6, en in 1975 op 84:16. In de periode 1950-1969 steeg het zaaghoutverbruik met een factor 1,35, doch het verbruik van plaatmaterialen vertienvoudigde bijna [31]. Het verbruik van beide houtmaterialen is nauw verbonden met de ontwikkeling in de gehele woningbouw (vooral de eengezinshuizen).

Enkele factoren die het houtgebruik in de periode na de Tweede Wereldoorlog negatief hebben beïnvloed zijn de volgende (zie ook par. 4.2.). In de eerste plaats de verdringing door andere bouwmaterialen, zoals beton, staal en glas. Verder is het hout verdrongen doordat de ambtelijke bouwvoorschriften hout voor bepaalde toepassingen hebben verboden, zoals in Duitsland voor trappen en vloeren in gebouwen van meer dan twee verdiepingen en in ons land door het zogenaamde Schuilplaatsen-besluit.

Zoals al vermeld in par. 4.2. zijn houten vloerbalken alleen nog maar van toepassing in woningen met één of twee verdiepingen. Houten vloerbedekking zoals parket neemt daarentegen toe. Een afnemend bouwvolume zal parkettoepassing nadelig beïnvloeden, hoewel het opknappen van oude huizen een tegenwicht kan vormen. Concurrentie met andere vloerbedekkingen is zwaar, vooral van die op textielbasis. De lange

houdbaarheid, de mogelijkheid van renovatie door afschuren, de hygiënische voordelen, zijn sterke punten van parket, naast het representatieve karakter. Het feit dat het een natuurprodukt is werkt bij de huidige modetrend gunstig. De kosten op jaarbasis liggen laag. Sinds de mogelijkheid bestaat, het parket met middelen op kunstharsbasis af te dekken is het onderhoud sterk vereenvoudigd.

Het hout voor het binnentimmerwerk, zoals deuren, vensters en kozijnen, vertegenwoordigt bijna de helft van het houtgebruik in de woning. Dit materiaal on-

**Tabel 21.** Schatting van het houtverbruik voor de bouw van 109.900 huizen waarvoor in 1973 vergunning werd verleend<sup>1)</sup>

	Houtverbruik (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
<i>Fundering</i>	
Aantal heipalen 326.600 stuks (omtrek 0,70 tot 0,74 m; lengte 12 tot 13 m)	177
Bekistingshout	10
<i>Binnenbetimmering</i>	
(5% van de geproduceerde huizen heeft betimmering. Dit betekent 60.000 m <sup>2</sup> met een dikte van 0,02 m)	1
<i>Dak</i>	
Balkhout	103
Dakbeschot (8.613.000 m <sup>2</sup> met dikte 0,02 m)	172
<i>Dakgoot</i>	
(29.900 huizen uit 1973 bezitten een houten dakgoot, gootlengte 14 m, breedte 0,2 m, dikte 0,02 m)	2
<i>Vloer</i>	
Balkhout	45
Planken (1.490.000 m <sup>2</sup> ; dikte 0,02 m)	30
<i>Plafond</i>	
(10.814.000 m <sup>2</sup> ; dikte 0,012 m)	130
<i>Deuren</i>	
Binnendeurenkozijnen (aantal woningen met houten kozijnen 56.700; verbruik 18 m <sup>3</sup> hout per 100 huizen [39])	10
Raamwerkdeuren	16
Vlakke deuren	18
Buitendeuren	20
<i>Plinten</i>	22
<i>Berging</i>	
Balken	23
Dakbeschot (950.000 m <sup>2</sup> ; dikte 0,02 m)	19
<b>Totaal</b>	<b>798</b>

<sup>1)</sup> Gegevens: Min. Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening afd. Sociaal-Economisch Onderzoek.



dervindt toenemende concurrentie vooral van kunststoffen en ook metalen. In Duitsland hebben recente verbeteringen in de constructie van houten ramen het beter mogelijk gemaakt, de concurrentie van staal, aluminium en kunststoffen het hoofd te bieden. In Nederland zijn op dit gebied in de afgelopen decennia fouten gemaakt zowel t.a.v. de architectonische vormgeving en detaillering als door een onzorgvuldige fabricage en behandeling op de bouwplaats. Dit heeft de concurrentiepositie verzwakt. In de Bondsrepubliek werden over het gehele gebied genomen in 1971 ruim 6 miljoen ramen gebouwd, met de volgende onderlinge verdeling: 70% hout, 14% aluminium, 7% staal, 4% plastic en 4% combinaties van hout met één van de andere materialen. Hetzelfde als voor de ramen geldt in principe ook voor deuren.

#### 4.4. Houtverbruik voor woningen

Een specificatie van het geschatte houtverbruik voor de bouw van 109.900 woningen waarvoor in 1973 een vergunning werd gegeven is opgenomen in Tabel 21. Deze cijfers kunnen worden gebruikt om een indruk te krijgen van de hoeveelheid hout die voor de toekomstige bouw van eengezinshuizen nodig zal zijn. Voor een prognose van de Nederlandse huizen- en eengezinshuizenbouw wordt verwezen naar Hoofdstuk 6.

Eén van de grootste posten in Tabel 21 is het houtverbruik aan heipalen. Deze zullen — zoals al geconstateerd — meer worden vervangen door betonnen palen. Vooral het type met verbrede punt vindt ingang. Men kan hiermee het aantal palen beperken tot 2 per tussenwoning. Uit Tabel 21 volgt, dat per 109.900 woningen  $0,798 \times 10^6 \text{ m}^3$  hout nodig is (inclusief houten heipalen). Dit betekent dat gemiddeld inclusief en exclusief heipalen respectievelijk circa 7,3 en ongeveer  $5,6 \text{ m}^3$  hout per eengezinshuis nodig is. Overigens is bij de productie van de besproken partij huizen slechts een deel onderheid.

Het houtverbruik in 1973 in de vernieuwbouw (renovatie) van huizen en aanverwante sectoren is gegeven in Tabel 22.

**Tabel 22.** Verbruik van gedroogd hout in 1973 bij de renovatie van huizen, extra toelevering aan de woonsector en voor de productie van gelamineerde houtconstructies [40]

	Verbruik ( $10^3 \text{ m}^3$ )
Renovatie	25
Extra toelevering huizenbouw	
Binnendeuren, raamwerk	26
Schroten	12
Gelamineerde houtconstructies	40

Er kan worden aangenomen dat het jaarlijkse aantal gerenoveerde huizen tot 1976 min of meer constant is gebleven. Een rapport van het Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid [41] vermeldt een aantal opgeknapte woningen in 1973 van ca. 62.000. Ongeveer de helft hiervan viel in een subsidieregeling. Men verwacht dat de vernieuwbouw in de nabije toekomst in omvang zal gaan toenemen. Het verbruik aan gedroogd hout voor vernieuwbouw was in 1973 ca.  $25.000 \text{ m}^3$ . Naar schatting bedroeg de consumptie van niet-gedroogd hout in deze sector circa  $30.000 \text{ m}^3$ . Het totaal is dan  $55.000 \text{ m}^3$ . Dit cijfer is echter een minimum [40].

#### 4.5. Energie- en milieu-aspecten

##### *Energie voor houtwinning en -verwerking*

Barnes en Rankin geven de volgende cijfers op: bosbouwwerkzaamheden  $87 \times 10^6 \text{ J/m}^3$  hout, transport  $420 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ , verwerking (drogen en zagen)  $586 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ . Zij komen aldus tot een totale energiehoud van  $1,09 \times 10^9 \text{ J/m}^3$  [39]. De energiewaarde die door Kreijger wordt gegeven [42] is laag vergeleken bij buitenlandse cijfers [39, 43]. Gegevens over de energiehoud betrokken op de verdere verwerking van hout zijn relatief schaars [44].

Voor wat betreft het benutten van hout als energiedrager kan het volgende worden opgemerkt. Een goed onderhouden, volwassen bosopstand legt 0,2 tot 0,5% vast van de op het oppervlak vallende zonnestraling. Dit zou men als uitgangspunt kunnen nemen voor de maximale, aan het bos te onttrekken hoeveelheid energie in de vorm van brandstof. Het onderwerp is overigens gecompliceerd; men moet met veel mogelijke consequenties rekening houden [45]. Hout als brandstof zal slechts een beperkt deel van de wereld-energiebehoefte kunnen dekken. Daarnaast brengen het transport van grote hoeveelheden hout en de omvang van verbrandingstoestellen nieuwe complicaties met zich. Het potentieel van hout als energiebron is echter groot, zoals blijkt uit een publicatie van Bol [46]. Deze geeft voor hout een calorische waarde van  $14 \times 10^9 \text{ J/m}^3$  of  $20 \times 10^9 \text{ J/ton}$  (aardolie ca.  $43 \times 10^9 \text{ J/ton}$ ). Per ton droge stof is de verbrandingswaarde voor alle houtsoorten praktisch gelijk.

##### *Milieubeïnvloeding*<sup>15)</sup>

Bossen en ook boomgordels fungeren als windbrekers. Het kronendak neemt niet alleen zonlicht op, maar kaatst ook straling terug. Deze effecten maken dat een bos bijdraagt tot de stabilisatie van de temperatuur in zijn omgeving en daarmee van het plaatselijke klimaat. Een maagdelijk woud is ecologisch stabiel te noemen. Als men een bos onoordeelkundig in

<sup>15)</sup> Dit gedeelte is geschreven door ir. J.A. Lasschuit.



produktie neemt, kan het bestaan van het areaal worden bedreigd door natuurlijke erosieprocessen, veroorzaakt door wind en water. Hierbij moet men niet alleen denken aan de plaats waar onverhoopt de teellaag verdwijnt, maar ook aan effecten op de plaats waar het door wind en water getransporteerde materiaal weer tot afzetting komt. Daarom is het van belang dit verschijnsel bij de wortel aan te grijpen en te voorkomen dat het kan ontstaan.

Winderosie kan optreden bij iedere terreinhelling en ook bij vlakke terreinen want de helling beïnvloedt winderosie niet. Watererosie kan alleen optreden op hellende terreinen en het gevaar daarvoor wordt des te groter naarmate de helling van de bodem sterker is. Een sneeuwlawine kan nooit zijn begin hebben in een bos, omdat er voor het ontstaan van zulk een lawine een kale helling nodig is. Wanneer een lawine op een helling op gang gekomen is, kan soms en lager gelegen bos deze lawine opvangen mits de afmetingen van dat bos groot genoeg zijn en de stammen voldoende hoog. Dit kan dan echter slechts éénmaal gebeuren omdat de bovenste gordel van het bos door de lawine ernstig wordt beschadigd of zelfs vernietigd. In een bos is de windsnelheid zeer gering tot nihil en aldus beneden de gevarengrens voor winderosie. Ten overvloed wordt de bodem er vochtiger gehouden, waardoor deze samenkleeft terwijl de takken en ander strooisel (mits niet verwijderd voor gebruikdoeleinden) nog een brekende kracht op de (reeds zeer geringe) windsnelheid hebben. Hierdoor kan geen winderosie ontstaan. Coulissenkap en kleinere kapvlakten zijn gunstig ten opzichte van algehele kaalkap in verband met de vermindering van het gevaar van winderosie, maar dat kan soms strijdig zijn met mechanisatie, waarvoor grote vlaktes beter zijn. Wel wordt de situatie ongunstig op kaalkapvlakten. Veelal wordt in de strooisellaag ingegrepen omdat die de herbeplanting bemoeilijkt. Kaalkapvlakten moeten zo snel mogelijk worden herbeboest.

Het is ongewenst en zelfs catastrofaal om het gehele toegankelijke wereldhoutbestand als kapbaar te zien. Wouden welke de fysisch-geografische situatie in een gebied stabiliseren worden aangeduid als absoluut schermbos. Zulk absoluut schermbos — waarvan het totale oppervlak in de wereld wordt geschat op meer dan  $0,8 \times 10^6 \text{ km}^2$  — mag beslist niet in het groot worden gekapt. Hierin is nog wel een zeer deskundige en aangepaste vorm van exploitatie mogelijk. Grote stukken van exploiteerbaar bos mogen niet of niet te intensief worden gekapt (hoewel dit toch vaak gebeurt), teneinde het ecologisch evenwicht te kunnen behouden. Ook moeten de functies van het woud in het grotere milieu zo weinig mogelijk worden aangetast. Kappen van bomen verarmt het milieu; dit loopt het meest in het oog wanneer dat kaalkap op grote arealen betreft en het minst wanneer dat uitkap is, zodat de bodem niet leeg komt. Bij het opwerken van gevelde bomen kunnen vrij aanzienlijke hoeveelheden afval in het bos achterblijven evenals bij sommige onderhoudsmaatregelen. Deze keren echter na kortere

of langere tijd in de voedselketen of kringloop van de natuur terug.

Ook in de verdere verwerkingsketen van hout ontstaat afval (zaagsel, afvalstukken, houtkrullen en dergelijke). Het is in dit kort bestek niet wel mogelijk op vele milieufactetten van houtproduktie en -verwerking dieper in te gaan. Dit hangt deels samen met het feit dat het bos en zijn produkten in meerdere opzichten nogal ver afstaan van onze andere grondstoffen en produktieprocessen. Ook onttrekt het bos als een levend organisme met een spreiding over enorme arealen op de gehele aarde zich aan vele kwantificeringsmogelijkheden. Het wereldbosareaal beslaat ca.  $38 \times 10^6 \text{ km}^2$  (ca. 12% van het landoppervlak van de aarde).

## 5. Literatuur

- [ 1 ]. J. den Draak; De huisvestingssituatie in Nederland. Instituut voor Stedebouwkundig Onderzoek TH Delft en Stichting Interuniversitair Sociaal-Wetenschappelijk Onderzoek, Amsterdam, 1974.
- [ 2 ]. F.K. Ligtenberg; Kennisoverdracht in de sfeer van de bouw. TNO-Project (juni 1975), 237-8.
- [ 3 ]. J.W. Groeneyk, J.R. van Ruiten, A.M. de Kan, W. Slob en A. Stuyt; „De geplande betrokkenen” (Een poging om suggesties aan te dragen om de Nederlandse samenleving te stroomlijnen — zonder het huidige patroon, waarin onze staatsinrichting functioneert, geweld aan te doen). Privéstudie Lienden, december 1973.
- [ 4 ]. A. Blowers en Ch. Hamnett; The future urban society. The Open University, Social Sciences; a second level course in urban development, units 30-33: The future city. Rustington, Sussex (1973), 39.
- [ 5 ]. Architecten J.M.A. de Groot en J.E. Rijnsdorp, geciteerd in De Tijd (dd. 5-3-1976), 9.
- [ 6 ]. Planologische toekomstbenadering. Stad en Landschap, Rotterdam (1973), 43-7.
- [ 7 ]. A. Heimans en D. de Jonge; Compendium hoog- en laagbouw. Stedebouwkundige Studies deel 2, Arnhem (1963), 118.
- [ 8 ]. J.W. Groeneyk; Persoonlijke mededeling dd. 14-3-1976.
- [ 9 ]. H.M. Jolles; Het toekomstig wonen in Nederland — sociologisch beschouwd. Rapport N.V. Bouwfonds Nederlandse Gemeenten; Wonen, vandaag en morgen. Hoevelaken (1968), 47.
- [ 10 ]. CCMS-Industrial International data base pilot study: The cement industry; oktober 1975.
- [ 11 ]. P.C. Kreijger; Environment, pollution, energy and materials. Matériaux et constructions, 6 (1973), no. 36.
- [ 12 ]. Rijks Geologische Dienst; Grindvoorkomens op de Noordzee. Rapport 10114 (28-2-1974).
- [ 13 ]. Aspecten van de zand- en grindvoorziening. Pre-adviezen, congresdag 1975. Vereniging Het Nederlandse Wegcongres.



- [14]. C.H. Engel; De winning van zand en grind in Nederland. Cement, 1975 no. 12.
- [15]. Structoliet BV; Documentatie Agral. Bladen Al, 1975.
- [16]. H. Hoffman; Einfluss der organischen Substanz auf das Blähvermögen von Tongesteinen. Ziegelindustrie Heft, 6 (1971).
- [17]. F.L. Smidth; Documentatie, FLS/LECA plants for lightweight aggregates. FLS-Newsfront (1973).
- [18]. H.V. Dennert; Das ZS — Verfahren zur Herstellung geblähter Leichtzuschlagstoffe. Ziegelindustrie Heft, 6 (1971).
- [19]. Rapport VBN Cement; 6 (1975), 273.
- [20]. H.A.W. Cornelissen en G.S.J. Peters; Energie-, vervuiling- en schaarste-aspecten bij de fabricage en gebruik van metselbakstenen in Nederland. Klei en Keramiek, februari 1975.
- [21]. Vereniging De Nederlandse Baksteenindustrie, Kort Bestek 1974.
- [22]. Centraal Bureau voor de Statistiek, Productiestatistieken van de kleiverwerkende industrie, 1971.
- [23]. L.M.M. Nevels, Chempress 26-4-1975.
- [24]. Vereniging De Nederlandse Baksteenindustrie, Baksteengids VI: Moderne baksteenfabricage in woord en beeld.
- [25]. D. Eisma, Bouwmarkt mei en augustus 1974.
- [26]. Mededelingen Centraal Instituut voor Materiaalonderzoek, no. B-42-15-1942.
- [27]. H.A.L. van Dijk en E. van Galen, Verslag 4e jaars onderzoek TH Delft, Afdeling Technische Natuurkunde.  
De relaties tussen energie-inhoud van bouwmaterialen, bouwkosten, warmteverliezen en stookkosten; een woningwetwoning als voorbeeld (1974), 28.
- [28]. E.R. Skoyles en H.J. Hussey, Wastage of materials on building sites, Building Research Establishment Current Papers (1974).
- [29]. Stichting Technisch Centrum van de Grofkeramische Industrie en Centraal Technisch Instituut TNO, Rapport: De fluoruitwerp van de Nederlandse baksteenindustrie (1974).
- [30]. — J.W. Bakker; Gezaagd hout voldoende tot na 2000. Het Financieele Dagblad (8, 9 en 12 september 1972), 1.  
— United Nations, FAO/ECE; European Timber Trends and Prospects; A new appraisal 1950 - 1975. New York, 1964.  
— United Nations, FAO/ECE; Plywood and other wood-based panels. Rome, 1966.  
— United Nations, FAO/ECE; Trends in the utilization of wood and its products. Geneva, 1973.  
— B. Amscht; Entwicklung der Europäischen Forstwirtschaft bis zum Jahr 2000. Allgemeine Forstzeitung, 87 (1976), 13-44.
- [31]. United Nations, FAO/ECE;  
— Yearbook of Forest Products, Rome, 1973.  
— World Forest Inventory, Rome, 1958, 1963.  
— World Forest Products Statistics 1946 - 1955, Rome, 1958.  
— Wood, World trends and prospects, basic study no. 16, 1976, fig. 3.  
— The production, handling and transport of wood chips, Rome, 1973.
- [32]. H. Steinlin; Holzaufkommen und Holzverbrauch, gegenwärtig und zukünftig in Europa. Holz als Roh- und Werkstoff, 33 (1975), 461-6.
- [33]. H. Schultz en W. Platzak; Entwicklung und Zukunft der Holzverwendung. Holz als Roh- und Werkstoff, 33 (1975), 381-92.
- [34]. J.W. Bakker, A.J.B. Wachters en J.D. Schutte; Vooruitzichten voor de consumptie van hout en houtprodukten in Europa (september 1975), alsmede mondelinge inlichtingen. Nederlandse Houtbond.
- [35]. H.A. van der Meiden;  
— De Nederlandse houtproductie in het kader van een grondstoffenpolitiek.  
— Te weinig bos in Nederland.  
Economisch Statistische Berichten, 59 (1974), 812-5.
- [36]. Bosschap, Commissie Thurlings; Rapport Meerjarenplanning Bosbouw, januari 1974.
- [37]. C.J. Veldhuizen;  
— Het verbruik van verduurzaamd rondhout in Nederland (1967).  
— Mede-auteur W. Timmer, Het verbruik van hout, in het bijzonder populierenhout, in de emballage industrie (1972).  
— Het verbruik van inlands zaaghout in Nederland (1965).  
Landbouweconomisch Instituut, Den Haag.
- [38]. W. Timmer; De handel in Nederlands rondhout in 1973. Landbouw Economisch Instituut, Den Haag, 1976.
- [39]. D. Barnes en L. Rankin; The energy economics of building construction. Building International, 8 (1975), no. 1, 31-42.
- [40]. J.F. Rijsdijk; Schatting van de hoeveelheid kunstmatig gedroogd hout die in Nederland nodig is voor de woningbouw en de fabricage van gelamineerde dragende houtconstructies. Houtinstituut TNO, november 1974.
- [41]. Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid; De ontwikkeling van de bouwbehoefte en de werkgelegenheid in de bouw, peiljaren 1980-1990-2000. Staatsuitgeverij, 20 januari 1976, 133.
- [42]. P.C. Kreijger, Building materials versus energy. Rapport M/75/3, TH Eindhoven, 1975.
- [43]. G. Brown en P. Stellan, The material account. Built Environment, (1974), 415-7.
- [44]. Gordian Associates; The data base, the potential for energy conservation in nine selected industries (Part. 8, Selected paper products, 1st edition, 101-10). US Government Printing office, Washington D.C., 1975.



- [45]. G.C. Szego en C.C. Kemp; Energy forest and fuel plantations. Chemtech, May 1973, 275-84.
- [46]. W. Bol; Hout als energiebron op lange termijn. Chemisch Weekblad (7 juni 1974), 24-5.



## Hoofdstuk 6. Een tweetal produktsoorten

De navolgende produktstudies bieden de gelegenheid, overwegingen omtrent ontwerpeisen, levensduur, mogelijkheden voor rationeler materiaalgebruik, hergebruik en materiaalvervanging zichtbaar te maken.

De onderwerpen zijn gekozen om hun betekenis voor onze samenleving. De produktie van onderdelen voor het Nederlandse telefoonsysteem en de bouw van eengezinshuizen zijn echter niet verantwoordelijk voor het grootste verbruik van de materialen die in de voorgaande hoofdstukken ter sprake kwamen. Om zulk

een representativiteit te bereiken zouden veel meer produktsoorten moeten worden gezien. Het gaat er in dit hoofdstuk om, iets te tonen omtrent de oorzaak van materialengebruik: het voorzien in behoeften van de samenleving en van haar leden.

De twee produktstudies kunnen wellicht als een verkenning voor de opzet van andere produktstudies dienen. De keuze van de beide onderwerpen uit duizenden belangrijke mogelijkheden is uiteraard betrekkelijk arbitrair.

### 1. Materiaalverbruik voor het Nederlandse telefoonnet

door ir. C. Kramer en ir. E.E.P. Poelman

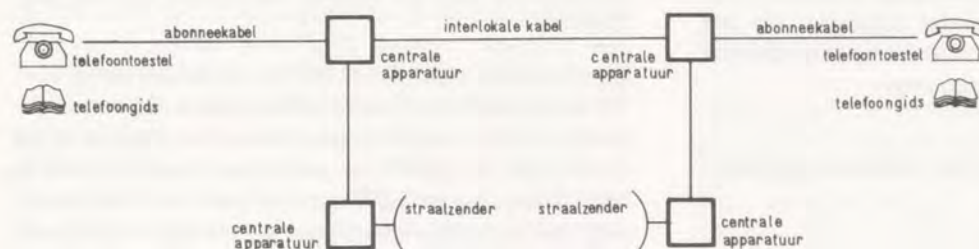
#### 1.1. Inleiding

##### *Indeling van het net*

Er wordt uitgegaan van het nu bestaande telefoonnet. Voor het bestuderen van het materiaalverbruik kan dit als volgt worden ingedeeld (zie ook Fig. 1).

- Het toestel. Hieronder wordt verstaan het bekende telefoontoestel, hetzij met draaischijf, hetzij met een eenvoudig druktoetsenpaneel. De aansluitkabel van het toestel aan de aansluitdoos is hierbij inbegrepen.
- De abonneekabel. Dit is de kabel die de aansluitdozen van de abonnees verbindt met de centrale apparatuur.

- De interlokale en internationale kabels. In het algemeen zijn dit die kabels die uitsluitend zijn verbonden met centrale apparatuur.
- De centrale apparatuur. Hieronder wordt verstaan alle schakel- en versterkerapparatuur etc., nodig om een verbinding tussen de abonnees tot stand te brengen en over deze verbinding de gewenste signalen op een passende en geschikte wijze over te dragen.
- Het straalzendernet, inclusief grondstations voor satellietcommunicatie.
- De telefoongids. Deze is in zijn functie van ingang tot het net een belangrijk onderdeel van het telefoonsysteem.



Figuur 1. Onderverdeling van het telefoonnet in zijn belangrijkste onderdelen.



**Tabel 1.** Telefoonaansluitingen en -toestellen ( $10^3$  stuks) gedurende 1963-1974, 1975 (schatting) en 1980-2000 (prognose) [1, 2]

	1963	1965	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1980	1990	2000
Aansluitingen	1.307	1.504	1.804	2.001	2.202	2.423	2.623	2.814	3.064	3.340	4.200	5.900	7.200
Toestellen	2.023	2.352	2.917	3.120	3.422	3.720	4.004	4.317	4.679	5.100	6.500	9.100	11.000

### *Omvang en groei van het Nederlandse systeem*

Het aantal telefoonaansluitingen en -toestellen in Nederland in de loop van de voorafgaande jaren en de verwachtingen voor de toekomst blijken uit publicaties van respectievelijk het Centraal Bureau voor de Statistiek en Het Ministerie voor Verkeer en Waterstaat [1, 2]. Deze gegevens zijn samengevat in Tabel 1.

Hierbij is aangenomen dat het aantal toestellen per aansluiting, dat in het verleden zeer constant omstreeks 1,55 is geweest, ook in de toekomst omstreeks deze waarde zal liggen.

Ruwweg worden dus elk jaar  $200 \times 10^3$  nieuwe aansluitingen (exclusief verhuizingen) tot stand gebracht met een bestand van  $300 \times 10^3$  nieuwe toestellen. Verwacht wordt dat deze mate van groei tot ongeveer 1985 zal aanhouden. Daarna zal een zekere verzadiging optreden waardoor de groei zeer geleidelijk zal teruglopen tot  $150 \times 10^3$  nieuwe aansluitingen per jaar in het jaar 2000. Tegenover deze teruglopende groei zal waarschijnlijk echter een uitbreiding staan van andere gebruiksmogelijkheden van het telefoonstelsel. Reeds nu is er sprake van een snelle groei van het gebruik van bestaande telefoonlijnen voor het overdragen van computergegevens (data transmissie) en beelden (facsimile).

Daarnaast kan in de toekomst ook zeker nog sprake zijn van een aanzienlijke uitbreiding van het gebruik van op telex gelijkende apparatuur, ook via telefoonlijnen, en van de opkomst van de beeldtelefonie. Het is een kwestie van definitie of deze en andere toekomstige middelen nog wel tot het telefoonsysteem moeten worden gerekend. Het is daarbij denkbaar dat de apparatuur eigendom zal zijn van de gebruiker in plaats van van de PTT en alleen moet voldoen aan bepaalde technische randvoorwaarden.

In ieder geval zal het geven van een nadere prognose op het gebied van dergelijke nieuwe communicatiemiddelen het kader van deze studie duidelijk overschrijden. Derhalve wordt verder afgezien van het schatten van het materiaalverbruik in nieuwe, met het telefoonsysteem verbonden, systemen.

### **1.2. Materiaaltoepassing in het telefoonsysteem**

#### *Het toestel*

Het basismateriaal van het telefoontoestel is z.g. slagvast polystyreen, een copolymeer van styreen, butadieen en acrylonitril. Dit materiaal wordt toegepast in de kast van het toestel en de hoorn. Per toestel

wordt ongeveer 600 gram gebruikt. Andere belangrijke materialen zijn koper (voor de bedrading, contacten, behuizingen van telefoon en microfoon) waarvan ongeveer 80 g per toestel wordt gebruikt en messing (voor de bel) ad 75 g. Daarnaast worden nog toegepast staal (transformatorkern, bevestigingsmateriaal), polyetheen (snoerisolatie) en diverse materialen met zeer klein verbruik (rubber, soldeer, cadmium).

Het aantal nieuwe toestellen dat per jaar wordt aangeemaakt is momenteel  $300 \times 10^3$  voor nieuwe plaatsingen. Gebaseerd op een economische levensduur van 10 jaar moet voorts 10% van het bestand van 1965 worden vervangen. Dat zijn ca.  $250 \times 10^3$  toestellen. Het materiaalverbruik is dus voornamelijk:

$550 \times 0,6 = 330$  ton polystyreen en

$550 \times 0,15 = 85$  ton koper en messing.

In 2000 zal de nieuwe productie zijn opgelopen tot  $200 \times 10^3$  nieuwe aansluitingen en  $910 \times 10^3$  vervanging (10% van het bestand van 1990), ruwweg dus een verdubbeling ten opzichte van het huidige verbruik.

#### *De abonneekabel*

In de abonneekabel is per abonnee een dubbeldraad voorzien van  $2 \times 0,5$  mm dikte. Iedere dubbeldraad is geïsoleerd door polyetheen. Een aantal van 50 tot 600 dubbeldraden is verwerkt tot een kabel, aan de buitenzijde voorzien van een laag polyetheen, een laag lood, weer een laag polyetheen, een stalen wapening en een beschermende buitenlaag.

De gemiddelde afstand van de abonnee tot de centrale, of in nieuwere installaties tot de lijnconcentrator, is 1,84 km. Dat zou betekenen dat per nieuwe abonnee 6,6 kg koper in het abonneenet wordt verbruikt. Het werkelijke verbruik is echter een factor 1,3 groter omdat bij het leggen van de kabels een reserve van 30% voor toekomstige groei wordt aangehouden. In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de totale lengte aan dubbeladers van alle kabels behorende tot het telefoonnet.

Uit deze tabel blijkt dat in 1974 in het lokale net  $779 \times 10^3$  km dubbeldraad werd geïnstalleerd. Bij een doorsnede van 0,5 mm is het gewicht van dubbeldraad 3,6 kg per km. Dit geeft dus een totaal koperverbruik in het lokale net van 2.800 ton per jaar. In de komende jaren zal dit verbruik ongeveer evenredig met het aantal nieuw te installeren toestellen groeien. In de huidige kabels is het gewicht aan lood gemiddeld ongeveer even groot als dat aan koper. In de nieuwe kabels is echter het loodverbruik aanzienlijk minder. Gedeeltematig is het zelfs vervangen door aluminium. Gezien de



**Tabel 2.** Lengte ( $10^3$  km) van de kabels van het Nederlandse telefoonnet [3]

	1965	1970	1973	1974
Lokale secundaire kabelabonnee-centrale/concentrator	4.508	6.455	6.704	6.889
Lokale primaire kabelconcentrator/centrale	1.455	3.266	4.890	5.414
Lokale verbindingkabel tussen wijkcentrales	381	777	963	1.033
Interlokale secundaire kabel tussen eindcentrales en knooppunten	14.586	17.811	19.062	19.537
Interlokale primaire kabel tussen knooppunt- en district-centrale	3.746	3.396	3.102	3.100
Interdistrict- en internationale kabels	11.027	12.567	13.758	13.909

zeer lange levensduur van de kabels (circa 60 jaar) is het verbruik door vervanging van bestaande netten klein in vergelijking met het verbruik voor nieuw te installeren apparaten.

#### *Het interlokale kabelnet*

Men moet aannemen dat het interlokale kabelnet in de periode van 1975 tot 1985/90 slechts weinig zal worden uitgebreid. De toename van het verkeer zal worden opgevangen door meervoudig gebruik van de bestaande kabels (draaggolfsystemen in de hogere netvlakken; puls-codemodulatie in lagere) enerzijds, en opvulling van de reeds bestaande ruime mogelijkheden in het straalzendernet anderzijds. Enige activiteit zal nog nodig zijn in verband met vervanging van verouderde kabels en met ondercapaciteit in enkele verspreide onderdelen van het net. Uit Tabel 2 blijkt dat in 1974 in het interlokale net  $624 \times 10^3$  km dubbeldraad werd geïnstalleerd. De dikte hiervan is groter dan voor het lokale net. Zij varieert van 0,6 tot 0,8 mm. Het resulterende verbruik aan koper is 5.200 ton. Het loodverbruik is weer ongeveer even groot.

#### *De centrale apparatuur*

In de centrale apparatuur wordt de veelheid van materialen toegepast die kenmerkend is voor elektronische apparatuur. Van de beschouwde materialen blijkt koper weer één van de belangrijkste. In de gedrukte schakelingen wordt per 1000 abonnees ongeveer 38 kg koper gebruikt, met daarnaast nog een 40 tot 100 m dubbeldraad. Zelfs als in aanmerking wordt genomen dat de economische levensduur van de centrales half zo lang is als die van de kabels, is het duidelijk dat toch het koperverbruik in de centrales relatief klein is. Hetzelfde geldt voor soldeer, waarvan per 1000 abonnees ongeveer 80 kg wordt gebruikt. Staal wordt weliswaar veel gebruikt voor de rekken en kasten, maar het verbruik is toch verwaarloosbaar in vergelijking met de auto-industrie en de scheepsbouw. Hetzelfde kan worden gezegd voor de gebouwen voor de telefooncentrales vergeleken met de in deze studie eveneens beschouwde eengezinswoningen.

#### *Het straalzendernet*

Afgezien van de elektronische apparatuur en de ge-

bouwen die hiervoor al zijn vermeld, wordt hier nog enig materiaal gebruikt in de reflectoren van de antennes. In het bestaande net zijn 150 parabolen, met een gewicht van omstreeks 100 kg, voor de helft in aluminium uitgevoerd en voor de helft in staal. Het totaalgewicht (7,5 ton Al en 7,5 ton Fe) is dus relatief verwaarloosbaar. Bovendien wordt tot 1985 nauwelijks enige uitbreiding verwacht. Dit laatste geldt ook voor de grondapparatuur voor satellietverbindingen.

#### *De telefoongids*

Per abonnee wordt jaarlijks door de PTT een telefoon-gids beschikbaar gesteld, waarvan het gewicht tussen de 2 en 3 kg ligt. Daarnaast worden door bedrijven en bezitters van meer dan één toestel gidsen bijbesteld. Het papierverbruik dat dientengevolge ontstaat bedraagt 9.000 ton per jaar. Vergeleken met een jaarproductie in 1973 van  $680 \times 10^3$  ton kranten-, druk-, en schrijfpapier is dit niet onaanzienlijk. Daarnaast wordt nog buiten de PTT om de „Gouden Gids“, ingedeeld naar beroepen, uitgegeven, die ook nog eens 1.000 tot 2.000 ton per editie verbruikt.

Bij een stijgend aantal abonnees stijgt het papierverbruik aan telefoongidsen zowel doordat de oplage groter wordt als doordat de dikte van iedere gids evenredig is met het aantal abonnees in het betreffende verzorgingsgebied. Op deze basis zou de papierconsumptie voor telefoongidsen in 2000 kunnen zijn gestegen tot boven de  $50 \times 10^3$  ton per jaar. Het is echter niet waarschijnlijk dat het zover zal komen, omdat kan worden overgestapt op het uitgeven van gidsen voor kleinere verzorgingsgebieden, terwijl in een later stadium ook vervanging door elektronische middelen een rol kan gaan spelen.

#### *Resulterende schatting*

Op grond van voorgaande gegevens en beschouwingen kan het belangrijkste materiaalverbruik in het Nederlandse telefoonnet worden geschat (Tabel 3). Deze getallen kunnen worden gerelateerd aan het totaalverbruik van deze materialen in Nederland. Het verbruik van koper door de metaalverwerkende industrieën en de gieterijen was in 1974  $51 \times 10^3$  ton<sup>1)</sup>. In dit getal is het verbruik van de draad- en kabelindustrie

<sup>1)</sup> Gegevens telefonisch verstrekt door het CBS.



**Tabel 3.** Prognose materiaalconsumptie Nederlands telefoonnet ( $10^3$  ton)

	1975	(% Ned. verbruik)	1985
Koper	8	ca. 15	6
Lood	8	ca. 14	2
Polyetheen	1	<1	1
Polystyreen	0,35	<1	0,5
Papier	9	ca. 1	18

begrepen, maar niet de in- en uitvoer van koperhoudende produkten. Ook komt hiernaast nog een onbekende hoeveelheid koper in verbindingen, zoals kopersulfaat voor de land- en tuinbouw en zouten voor de galvanische industrie. Het verbruik van lood in 1973 was  $56 \times 10^3$  ton (Hoofdstuk 4, Tabellen 17 en 20). Voor papier was het Nederlandse verbruik in 1973 (exclusief pakpapier en karton)  $679 \times 10^3$  ton [1]. In verhouding tot het totaalverbruik zijn koper en lood de belangrijkste materialen. Van het Nederlandse koperverbruik gaat ca. 15% in het telefoonsysteem. Voor lood is dit percentage ca. 14; het zal echter in de toekomst sterk afnemen.

### 1.3. Mogelijkheden voor vervangende materialen

Hoewel hiervoor is aangetoond dat het materiaalverbruik van het telefoonsysteem relatief niet zeer groot is, kan het toch interessant zijn om naar vervangende materialen om te zien. De voordelen hiervan kunnen zijn een verlaging van de kosten of een verbetering van de prestaties van het systeem.

- Bij de papierverbruikende en snel in omvang en op laag groeiende telefoongids is in eerste instantie bezuiniging terwille van de kosten aangewezen. Een mogelijkheid hiertoe zou zijn om per gids een kleiner aantal netten op te nemen. Tegenover het voordeel van de materiaalbesparing staan hier als nadelen verhoogde drukkosten door kleinere oplagen en een grotere vereiste capaciteit van het informatienummer 008.  
Op langere termijn (1990 tot 2000) is het denkbaar dat ieder telefoontoestel zal zijn uitgerust met een volledig alpha-numeriek toetsenbord en een mogelijkheid om tekst te vertonen, hetzij gedrukt, hetzij via een lichtpaneel. In dat geval zal het in principe mogelijk zijn om via het toestel abonnee-informatie op te vragen en zal de telefoongids dus overbodig kunnen worden.
- Het koper- en loodverbruik in de kabels kan in eerste instantie worden beperkt door in de kabels minder van deze materialen te gebruiken. Zo zou de koperdikte in de abonneekabels (momenteel minimaal 0,5 mm) kunnen worden teruggebracht tot 0,4 mm, een dikte die in Frankrijk al wordt toegepast. Een dergelijke bezuiniging zal echter altijd ten koste gaan van de kwaliteit en bedrijfszekerheid van de kabels.
- Bij een stijgende koperprijs is vervanging door alu-

minium in eerste instantie weinig interessant, door enkele ongunstige eigenschappen van het materiaal. Een groot bezwaar is dat het maken van verbindingen aan aluminiumkabel veel moeilijker en dus duurder zal zijn dan aan koper. Men zal daarom eerder op andere transmissiesystemen (zoals pulscodemodulatie) overgaan, die een intensiever gebruik van bestaande kabels mogelijk maken.

Op langere termijn (1985-1995) is het mogelijk dat de elektrische transmissie via koperkabels zal worden vervangen door optische transmissie via glaskabels, niet alleen in de interlokale netten maar mogelijk ook in de abonneenetten. Behalve dat de glaskabel wellicht goedkoper zal zijn dan de conventionele kabel is ook de beschikbare bandbreedte in glaskabels vele malen groter. Een bezwaar tegen de toepassing van glaskabels in abonneenetten is nog dat de toestellen niet meer via de kabel kunnen worden gevoed, zodat een aansluiting op het lichtnet noodzakelijk wordt. De aanvaardbaarheid van een dergelijke ontwikkeling wordt nog bestudeerd. In ieder geval zal het totaalverbruik van glas ook bij totale vervanging van het hele kabelnet relatief klein zijn. Het polystyreen van het telefoontoestel kan zonder grote bezwaren worden vervangen door andere kunststoffen, door fenolharsen, of zelfs door aluminium of staal. Een dergelijke stap wordt echter op dit moment niet overwogen.

### 1.4. Levensduur en mogelijkheden voor hergebruik

De levensduur van de verschillende onderdelen van het telefoonsysteem is duidelijk uiteenlopend.

- De kortste levensduur, nl. een jaar, treffen we aan bij de telefoongids, in dit geval uitsluitend bepaald door de vereiste actualiteit.
- Voor het telefoontoestel wordt gemiddeld een levensduur van tien jaar aangehouden. Een veel langere levensduur heeft hier weinig zin. Het toestel wordt direct door het publiek gebruikt en loopt dus meer risico op beschadiging door ongelukken en onoordeelkundig gebruik dan de centrale apparatuur. Daarnaast wordt door het publiek verwacht dat de vormgeving van het toestel niet al te zeer afwijkt van het algemene modebeeld op het gebied van woning- en kantoorinrichting.
- Bij de centrale apparatuur wordt uitgegaan van een levensduur van dertig jaar. Deze waarde is een compromis tussen de afschrijvings- en vervangingskosten enerzijds en de technische veroudering anderzijds. Bij oudere centrales gaat een verminderde bedrijfszekerheid optreden met overeenkomstig stijgende onderhoudskosten. Ook zijn zij slechts met moeite en soms geheel niet meer aan te passen aan de hogere kwaliteitseisen die nieuwere toepassingen van het telefoonsysteem stellen.

De bruikbare levensduur van de kabelsystemen in de grond ligt in de orde van zestig jaar. Soms probeert men kabel langer te gebruiken, daar het leggen van



kabels — vooral in sterk bebouwde gebieden — een kostbare en ook storende aangelegenheid is. Over het algemeen wordt de telefoonapparatuur na het afdanken niet meer opnieuw gebruikt. De meeste materialen komen wel via de schroothandel opnieuw in circulatie. Een uitzondering hierop zijn soms de abonnekabels, die men ook bij vervanging in de grond laat zitten, omdat bij de huidige prijzen voor oud materiaal de opgraafkosten te hoog kunnen zijn.

Het door de PTT inzamelen van verlopen telefoongidsen is wel overwogen, maar onder de huidige omstandigheden niet rendabel. Aangenomen mag worden dat een zeer groot deel van de gebruikte gidsen toch wel in de oud-papierhandel terechtkomt.

### 1.5. Energieverbruik

Gezien de grote diversiteit van materialen en producten in het telefoonsysteem en de complexiteit van het productieproces is het vrijwel onmogelijk een schatting te maken van het energieverbruik bij het aanmaken en afdanken.

Het verbruik van een abonnee tijdens een gesprek is ongeveer één Watt. Bij een gemiddelde gespreksduur van 3 minuten en een aantal van 4 miljard gesprekken per jaar is het jaarlijkse verbruik van de toestellen tezamen dus 200 MWh (of ca.  $2,2 \times 10^{12}$  J aan primaire energie). Dit is gemiddeld 56 kW continu vermogen. Het vaste verbruik van de centrales is aanzienlijk groter maar desalniettemin nog steeds volkomen verwaarloosbaar<sup>2)</sup>.

Voor sommige voorgestelde nieuwe telecommunicatiemiddelen is het energieverbruik wel aanzienlijk hoger. Zo wordt bijvoorbeeld verwacht dat een beeldtelefoon continu 25 Watt en tijdens een gesprek 100 Watt zal gebruiken. Het energiegebruik kan dus relatief sterk toenemen in de toekomst, maar in het totaal gezien is het dan nog steeds gering.

### 1.6. Maatschappelijke betekenis van de telefoon

In tegenstelling tot de hierna bestudeerde eengezinshuizen voldoet de telefoon niet aan een primaire levensbehoefte, direct veroorzaakt door biologische noodzakelijkheden voor de mens. De functie van de telefoon is het verschaffen van onderlinge communicatie tussen mensen, zonder dat het daarvoor noodzakelijk is dat dezen zich in elkaars directe nabijheid bevinden. Binnen het grote gebied van alle telecommunicatiemiddelen onderscheidt de telefoon zich doordat het een persoonlijk communicatiemiddel is, in tegenstelling tot de massacommunicatiemiddelen zoals de drukpers en de omroep, waarbij een klein aantal personen zich richt tot zeer velen.

Als persoonlijk communicatiemiddel is de telefoon dan nog gekenschetst doordat het gebruik ervan momentane twee-richtingscommunicatie toestaat, zulks in tegenstelling tot bijvoorbeeld de brief en de telex,

althans bij de manier waarop deze laatste gewoonlijk wordt gebruikt. Daarom is het telefoongesprek een duidelijk alternatief voor het directe persoonlijke gesprek. Daar het gaat om gesprekken op een afstand is het dus ook een alternatief voor persoonlijk vervoer. Dit wil niet zonder meer zeggen dat uitbreiding van het telefoonverkeer een afname van het reizen tot gevolg zal hebben. Immers, de mogelijkheid om via de telefoon nieuwe contacten te leggen zal ter bevestiging en uitwerking van deze contacten weer een behoefte aan reizen scheppen. Het omgekeerde is waarschijnlijk wel waar. Beperkingen van de mogelijkheden om te reizen, bijvoorbeeld door hoge kosten voor het energiegebruik of de milieuverontreiniging, zullen leiden tot een toenemend gebruik van de telefoon.

In Nederland werden in 1972 over het openbare net 3 miljard telefoongesprekken gevoerd. Bij een bevolking van 10 jaar en ouder van 11 miljoen personen komt dat neer op 270 gesprekken per jaar per hoofd ofwel 0,75 gesprekken per dag per hoofd. Wanneer hierbij nog de gesprekken in aanmerking worden genomen die via huistelefooncentrales worden gevoerd zal het gemiddelde niet ver van 1 gesprek per hoofd af liggen. De spreiding rond dit gemiddelde is uiteraard aanzienlijk. In aanmerking nemend dat bij ieder telefoongesprek minstens twee personen betrokken zijn heeft gemiddeld iedere Nederlander twee maal per dag telefonisch contact. Alleen dit getal illustreert al dat de telefoon uit de huidige maatschappij niet meer weg te denken is.

In de privésfeer wordt de telefoon allereerst gebruikt om de contacten met familieleden, vrienden en kennissen aan te houden. De telefoon heeft in dit opzicht de brief voor een groot deel verdrongen. Op deze functie speelt b.v. de PTT-reclame „Laat eens wat van je horen” in. Een ander gebruik in de privésfeer is het contact met leveranciers van goederen en diensten. Een belangrijk voorbeeld hiervan is het contact met de huisarts, waarbij de telefoon vooral voor gehandicapten en bejaarden letterlijk van levensbelang kan zijn. Veel wordt de telefoon ook gebruikt bij het besturen van verenigingen en kerken, activiteiten die veelal in de privésfeer en in de vrije tijd vallen.

Het blijkt dat de toch niet geringe kosten van de telefoon (f 300,— per jaar aan vaste kosten en voorts gemiddeld een vergelijkbaar bedrag aan variabele kosten) voor meer dan de helft van de Nederlandse huishoudingen geen belemmering zijn bij de aanschaf. Het belang van de telefoon in het zakelijke verkeer is zo mogelijk nog groter. De complexiteit van de hedendaagse maatschappij kan alleen beheersbaar blijven dankzij een zeer goede communicatie. Dit geldt al in de productie van goederen, maar nog in veel sterkere mate in de dienstensector en bij bestuurlijke activiteiten. Het is dan ook te verwachten dat de verschuivingen van de productie van goederen naar die van diensten en de toenemende centralisatie van bestuurlijke activiteiten, zowel bij de grote ondernemingen als door de overheid, aanleiding zullen zijn tot een sterke vraag naar communicatiemiddelen. Dit zal zowel de

<sup>2)</sup> Het nationaal energieverbruik bedroeg in 1974: ca.  $2,5 \times 10^{18}$  J.



telefoon betreffen als nieuwe diensten die van het telefoonsysteem gebruik maken.

Congestieverschijnselen zullen leiden tot een ruimtelijke spreiding van bedrijven en overheidsdiensten, zowel binnen een stedelijk gebied (onbereikbaarheid van stadscentra) als op landelijk niveau. Ook hierdoor zal een vergrote vraag ontstaan naar communicatiemiddelen. De economische betekenis van het telefoonsysteem is derhalve, hoewel moeilijk te kwantificeren, zeer groot en zal naar verwachting in de toekomst nog verder toenemen.

## 2. Toepassing van materialen in eengezinshuizen

door ing. J.J. Belt, ing. A.A.J. Damen, ir. H. van Bremen en dr. ir. F.K. Ligtenberg

### *Inleiding*<sup>3)</sup>

In het kader van bouwen, wonen, onderhoud, saneren, c.q. afbreken worden energie en grondstoffen verbruikt. Er bestaan in de bouw veel mogelijkheden op het terrein van materiaalkeuze. Het is daarom in beginsel mogelijk het verbruik van bepaalde materialen te beperken en daardoor gunstige invloed uit te oefenen op energie- en grondstoffenconsumptie en milieuvervuiling te helpen terugdringen. Daarnaast kan door het kiezen van een in dit opzicht doelmatige woningconstructie het energieverbruik tijdens de gebruiksperiode worden beperkt. Tenslotte moet men rekening houden met de problemen die de sloop van gebouwen kan oproepen, vooral als het gaat om betonconstructies zoals die in (nu nog moderne) flatgebouwen zijn toegepast.

Bij de thans gebruikelijke gang van zaken wordt vrijwel ieder bouwwerk individueel ontworpen. Woningen worden vaak wel in serie (tot bijv. enkele honderden) ontworpen. Het invoeren van een aantal extra randvoorwaarden uit de sfeer van milieu, energie en grondstoffenschaarste tijdens de ontwerpfase kan daarbij een aanzienlijk grotere rol gaan spelen. Veel beter zou dit echter kunnen, als in de bouw meer naar een soort produktontwikkeling werd gestreefd, waarbij een bouwdeel of een gebouwtype in een veel groter aantal exemplaren dan thans gebruikelijk kan worden gereproduceerd. Dit biedt de mogelijkheid om meer tijd en aandacht aan het ontwerp te besteden en daarbij deskundige mensen en meer verschillende disciplines te betrekken. Het is denkbaar dat op deze wijze bijvoorbeeld gevelelementen worden ontwikkeld, waarbij naast de normale functionele eisen, zoals regendichtheid, ook aandacht wordt besteed aan de hier genoemde problemen.

Door voor het ontwerpen van een dergelijk element aspecten als verwarming, ventilatie, energieverbruik tijdens vervaardiging en montage, thermische isolatie en uit overwegingen van schaarste en energiegebruik

gunstige materiaalkeuze alle in de beschouwingen te betrekken, kan een in vele opzichten optimale oplossing worden verkregen. Voorwaarde voor een dergelijke produktontwikkeling is echter, dat deze plaatsvindt onafhankelijk van een incidenteel bouwwerk of een beperkte serie woningen met de daarbij behorende beperkingen in tijd en mankracht. De doeleinden waarnaar moet worden gestreefd, moeten verder uiteraard zo duidelijk mogelijk worden vastgelegd.

### *Prognose woningbouw in Nederland*

In 1974 zijn 146.174 woningen gereedgekomen, waarvan 116.420 eengezinshuizen (76,5%). De woningproductie in 1975 was aanmerkelijk lager. Algemeen wordt verwacht dat de woningbehoefte ten gevolge van de verminderde bevolkingsaanwas tot 1980-1985 zal gaan terugvallen tot circa 80.000 eenheden per jaar [4]. Hierbij is geen rekening gehouden met de vraag die voortkomt uit een eventueel positief migratiesaldo. In 1972 was dit cijfer 18.880 [5]. Gezien de tot stand gekomen autonomie van Suriname en de afnemende vraag naar buitenlandse werknemers zal dit aandeel echter vrij gering worden. Voorlopige handhaving van een hoog niveau van beschikbaar komen van goede woningen (bijv. 120.000 per jaar) zal daarom alleen mogelijk zijn door:

- de bouw van kleine, goedkope woningen voor jeugdige ongehuwden en onvolledige gezinnen;
- vervanging c.q. renovatie van slechte oude woningen;
- aanpassing van wat oudere huizen aan moderne eisen van woongenot.

Met betrekking tot de eerste mogelijkheid kan worden gesteld dat weliswaar de behoefte van jeugdige ongehuwden aan eigen woonruimte toeneemt, maar dat gezien de sombere economische prognoses vermoedelijk slechts in geringe mate aan deze behoefte zal kunnen worden voldaan. Omtrent de tweede mogelijkheid moet men bedenken dat steeds meer het inzicht veld wint, dat men bij afbraak niet alleen woningen afbreekt, maar ook de bestaande sociaal-maatschappelijke structuur liquideert. Verder betekent afbraak vanuit historisch oogpunt niet zelden een culturele verarming. Een toenemende oppositie tegen de afbraak van woningen is hiervan mede het gevolg. In dit licht bezien levert de volgende uitspraak van minister Gruyters weinig perspectieven meer voor de woningbouw na 1990: „Over vijftien jaar? Ik denk dat alles dan is volgebouwd. In de toekomst zullen ze, als er iets nieuws moet komen, eerst moeten afbreken” [6]. Over het derde punt zijn weinig gegevens bekend. Al met al is een prognose omtrent de omvang van de woningbouw tot 1990 van gemiddeld 100.000 woningen per jaar bepaald geen onwaarschijnlijke. Dit omvat dan tenminste circa 76.000 eengezinshuizen per jaar. Na 1990 zal waarschijnlijk een scherpere daling optreden. Een recent rapport van het Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid (E.I.B.) [7] bevestigt deze visie in grote trekken. De cijfers in Tabel 4 geven een nuancering t.o.v. de resultaten van het E.I.B.

<sup>3)</sup> Ontleend aan een bijdrage van dr. Ligtenberg.



**Tabel 4.** Prognoses woningbouw in Nederland; laagste en hoogste geraamde produktie ( $\times 10^3$ )<sup>1)</sup>

	1975-1980	1980-1985	1985-1990	1990-1995	1995-2000
Jaarlijkse woningproductie; laagste					
en hoogste raming	110-125	94-102	83-88	73-80	63-64

<sup>1)</sup> Gegevens: D. Eisma; Ministerie Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, afdeling Sociaal-Economisch Onderzoek.

## 2.1. De constructiefase <sup>4)</sup>

In deze paragraaf wordt een aanzet gegeven tot het verkrijgen van inzicht in de consumptie van energie en grondstoffen voor de produktie van eengezinshuizen. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op het energieverbruik tijdens de gebruikperiode.

### 2.1.1. Energie

De totale energie, die wordt verbruikt om de woning gebruiksklaar op te leveren, is nodig voor de navolgende fasen.

<sup>4)</sup> De auteurs van deze bijdrage zijn ing. J.J. Belt en ing. A.A.J. Damen.

- Het winnen van grondstoffen (zoals klei en zand).
- Het vervaardigen van bouwmaterialen (zoals bakstenen en cement).
- De produktie van bouwonderdelen (bijvoorbeeld een kozijn).
- Het transport van bouwmaterialen en onderdelen tijdens de te onderscheiden fasen.
- Het assembleren van materialen en bouwonderdelen op de bouwplaats.

### Energie-inhoud van bouwmaterialen

De energie-inhoud van bouwmaterialen varieert sterk per materiaal. In Tabel 5 wordt de energiewaarde van de meest gebruikte bouwmaterialen gegeven. Aangezien in de bestaande literatuur grote onderlinge ver-

**Tabel 5.** Energie-inhoud bouwmaterialen en bouwelementen volgens diverse opgaven

	Volgens [8]	Volgens [9]	Volgens [10] (MJ/ton) (MJ/m <sup>3</sup> )	Volgens [11]	Hoofdstuk 4; Hoofdstuk 5
Zand, grind	8.372 MJ <sup>1)</sup> /m <sup>3</sup>		100 160		100-130 MJ/ton
Lichtgewicht aggregaties			4.000 2.500		3,5-4,4 GJ/ton
Kalk	5.755 MJ/ton		6.300 8.200		
Portland cement	5.700 MJ/ton	7.340 MJ/ton	6.600 8.200	6.000 MJ/ton	6,4 GJ/ton
Hoogoven cement			2.500 3.200		3,0 GJ/ton
Gips			3.600 2.900	1.800 MJ/ton	
Water			4 4		4,4 MJ/m <sup>3</sup>
Plastische beton	2.090 MJ/m <sup>3</sup>	1.372 MJ/m <sup>3</sup>	800 1.900	538 MJ/ton	
Verstevigde beton		1.000 MJ/m <sup>3</sup>	2.500 6.000		
Prefab-elementen	5.020 MJ/m <sup>3</sup>		2.000 4.700		
Lichtgewicht beton	4.186 MJ/m <sup>3</sup>		2.300 4.150		
Verstevigde lichtgewicht beton			3.800 7.200		
Metselbaksteen		10,4 GJ <sup>1)</sup> /1000 st	4.300 7.700	3.520 MJ/ton	6,7-7,6 GJ/1000 st (1000 st = 1,05 m <sup>3</sup> )
Kalkzandsteen	2.093 MJ/1000 st		1.500 2.700		
Baksteenmetselwerk	7.920 MJ/m <sup>3</sup>		6.000 11.000		
Kalkzandsteenmetselwerk	2.093 MJ/m <sup>3</sup>		2.700 4.900		
Steenwol			14.000 2.200		
Asbestcement			5.100 9.000		
Glas	51.600 MJ/m <sup>3</sup>	25.920 MJ/ton	21.000 56.000	15.000 MJ/ton	
Staal		47.520 MJ/ton	30.000 236.000	22.800 MJ/ton (ijzer)	
Wapeningsstaal	31.395 MJ/m <sup>3</sup>		23.000 180.000		23,8 GJ/ton
Voorspan-staal			28.000 220.000		28,3 GJ/ton
Aluminium			120.000 325.000		230 GJ/ton
Koper		72.000 MJ/ton	30.000 270.000		
Zink			50.500 360.000		47 GJ/ton
Hout (lumber)	2.500 MJ/m <sup>3</sup>	245 MJ/m <sup>3</sup>	170 100	1.090 MJ/m <sup>3</sup>	
Kunststoffen	62.790 MJ/ton	11.520 MJ/ton	40.000 40.000	115.630 MJ/ton (pvc)	
Bitumen			20.000 20.000		
Verf		80.780 MJ/ton			
Lood		51.200 MJ/ton			46-51 GJ/ton

<sup>1)</sup> 1 MJ = 10<sup>6</sup>J

1 GJ = 10<sup>9</sup>J.



schillen optreden (zie ook Hoofdstuk 3, par. 3, Appendix 1), zijn vier bronnen opgenomen. Welke het meest nauwkeurig is, kan moeilijk worden nagegaan, aangezien de auteurs in de meeste gevallen hun uitgangspunten niet expliciet vermelden. In het volgende wordt voor zover mogelijk uitgegaan van de opgaven van Kreijger [10] en Cornelissen (Hoofdstuk 5), aangezien hun cijfers op de Nederlandse situatie betrekking hebben en goed gedocumenteerd zijn. Een uitzondering is gemaakt voor de energiewaarde van hout. Hiervoor is een ander gegeven aangehouden [11], aangezien in dit geval het in [10] opgegeven cijfer vermoedelijk te laag is (zie Hoofdstuk 5, par. 4.5).

#### Energie voor het transport

Brown en Stellon [9] rekenen voor een transportaf-

**Tabel 6.** Energieverbruik opbouw premie-eengezins-huis<sup>1)</sup>

	Verbruik per woning aan primaire energie (GJ)
Elektriciteit	1,7
Gas	14,0 <sup>2)</sup>
Benzine <sup>3)</sup>	17,0
Totaal (afgerond)	33

<sup>1)</sup> Gegevens: Bouwbedrijf Groenendijk N.V., Gouda (n-calculatie 1975).

<sup>2)</sup> Gietbouwwooning.

<sup>3)</sup> Pendel personeel: 320 l benzine per woning.

**Tabel 7.** Energiewaarde van een stapelbouw-, gietbouw-, zware montagebouw- en een houtbouwwooning<sup>1)</sup>

Materialen	Energie-inhoud per eenheid		Stapelbouwwooning		Gietbouwwooning		Zware montage- bouwwooning		Houtbouwwooning	
	(MJ/m <sup>3</sup> )	(MJ/ton)	hoeveel- heid (m <sup>3</sup> )	energie- inhoud (ton) (MJ)	hoeveel- heid (m <sup>3</sup> )	energie- inhoud (ton) (MJ)	hoeveel- heid (m <sup>3</sup> )	energie- inhoud (ton) (MJ)	hoeveel- heid (m <sup>3</sup> )	energie- inhoud (ton) (MJ)
Beton 1:3:5	1.900	800	3,5	6.650	2,08	3.952			3,5	2.800
Beton 1:2:8	2.300	960	7,28	16.744	9,28	21.344			12	11.520
Beton gewapend	6.000	2.500			20	120.000	4,225	10.562,5		
Kalkzandsteen metselwerk	4.900	2.700	32	156.800	1,0	4.900				
Kalksteen metselwerk	11.000	6.000	5,8	63.800	5,8	63.800	5,2	31.200	4,100	11.070
Prefab. beton- elementen	4.700	2.000	15,2	71.440	9,12	42.864	103,69	207.380		
Pleisterwerk	2.400		3,5	8.424	0,1	240				
Staal		30.000					0,175	5.250	0,034	1.020
Hout	1.090	1.600	5	0,200 8.744	1,61	0,2 2.075	0,9	1.440	20,374	32.600
Gips	2.900	3.600			6,5	18.850	1,1	3.960	4,147	14.930
Lood		51.200		0,018 922		0,018 922	0,015	768	0,018	922
Glas	56.000	21.000	0,1	5.600	0,1	5.600	0,1	5.600	0,237	4.972
Gasbeton	4.150		2,03	8.424						
Spaanplaat (dak)	2.000		15,3	30.600	15,3	30.600				
Aluminium		120.000					0,063	7.560	0,002	240
Betonpannen		2.500	2	5.000	2	5.000	2	5.000		
Zink		50.500					0,033	1.667		
Kunststoffen	40.000	40.000	0,05	2.000	0,05	2.000	0,1	4.000	0,090	3.600
Bit.materialen		20.000					0,022	440	0,260	5.200
Gipskartonplaten	2.900		4,06	11.774	2,03	5.887				
			Materialen/ bouwdelen	397 GJ	Materialen/ bouwdelen	328 GJ	Materialen/ bouwdelen	285 GJ	Materialen/ bouwdelen	89 GJ
			Energie voor transport	15 GJ	Energie voor transport	15 GJ	Energie voor transport	15 GJ	Energie voor transport	8 GJ
			Energie bouwplaats	18 GJ	Energie bouwplaats	32 GJ	Energie bouwplaats	18 GJ	Energie bouwplaats	18 GJ
			TOTAAL	430 GJ	TOTAAL	375 GJ	TOTAAL	318 GJ	TOTAAL	115 GJ

<sup>1)</sup> Fundering op staal (zonder heipalen).



stand in Engeland van 185 km 27 GJ, betrokken op het totale bouw pakket van hun gestandaardiseerde eengezinswoning. Hier is voor een gemiddelde ver voersafstand van 100 km gerekend met 126 MJ/ton te transporteren materiaal.

#### Energieverbruik op de bouwplaats

Volgens [9] wordt dit verbruik (onder Engelse omstan digheden) geschat op 10% van de energie-inhoud van het gehele bouw pakket: 33,7 GJ. De resultaten van een Nederlands onderzoek zijn opgenomen in Tabel 6. Het betrof een project van 100 premiewoningen in Zuid-Holland. Uit Tabel 6 komt naar voren dat als men plaatselijke werkrachten had kunnen inschakelen de ze energierekening tot minder dan de helft was terug gebracht. Op basis van de gegevens in Tabel 6 zou men voor het energieverbruik voor de opbouw van een woning 20 tot 30 GJ kunnen rekenen.

#### Energie-inhoud van enkele typen eengezinshuizen

Een Nederlands onderzoek [8] geeft als resultaat ca. 357 GJ per woningwoning (type 4a). Dit is exclu sief energieverbruik voor transport en constructie op de bouwplaats. Ter vergelijking kan worden genoemd een Engels onderzoek [9], waarin voor een traditio neel uitgevoerde vierkamerwoning wordt gevonden ca. 337 GJ, exclusief energieverbruik voor transport en assemblage op de bouwplaats.

Een onderzoek van het Bouwcentrum laat zien dat het materiaalverbruik voor een aanzienlijk deel wordt be paald door de keuze van het bouwsysteem. In Tabel 7 zijn de energiewaarden van woningen volgens vier bouwsystemen met elkaar vergeleken. Zoals blijkt, is de energie-inhoud van een houtbouwwoning belang rijk lager. De houtbouwwoning wordt in Nederland echter nauwelijks toegepast. Een van de belangrijkste redenen is de onbekendheid van de hout(skelet-) bouwtechniek in ons land bij architect en aannemer, waardoor met onnodige marges wordt gerekend. De hoge houtprijs heeft natuurlijk ook invloed. In Zweden waar veel hout tegen aanzienlijk lagere prijs beschik baar is, wordt het merendeel van de woningen in hout gebouwd. Daarnaast bestaat in Nederland een voor oordeel ten opzichte van de houtbouwwoning. Men meent dat een houtbouwwoning kwalitatief minder waardig is. Dit is onjuist, zoals is aangetoond [12].

De overige bouwsystemen zijn in Nederland wel gangbaar. In Tabel 8 worden een aantal criteria ge noemd, die een rol spelen bij de keuze van het bouw systeem. In Tabel 9 is een onderverdeling naar bouw systeem gegeven van de woningbouw in de jaren 1972, 1973 en 1974.

**Tabel 8.** Invloed van de belangrijkste criteria bij de keuze van een bouwsysteem, te onderscheiden naar Stapel-, Giet-, of zware Montagebouw [13]

Criterium	S	G	M
Bouwtempo	0	+	++
Arbeidsbesparing	+	++	++
Geringe investering	++	+	0
Kleine minimale seriegrootte	++	+	0
Geschiktheid voor laagbouw	++	+	0
Geschiktheid voor gecompliceerde ontwerpen	+	0	0

Betekenis van de gebruikte symbolen:

0 weinig invloed;

+ van invloed; |

++ belangrijk.

Men kan een teruggang constateren van de zware montagebouw ten voordele van de gietbouw. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de afgenomen betekenis van het bouwtempo en de arbeidsbespa ring, de dalende seriegrootte en de omschakeling van hoog- naar laagbouw, welke de gietbouw in vergelij king met de zware montagebouw met meer succes heeft doorstaan. Naar verwachting zal de montage bouw de komende jaren nog verder terugvallen, de gietbouw zal toenemen. Deze fluctuaties hebben wei nig invloed op de gemiddelde energie-inhoud van de eengezinswoning. De uit energie-oogpunt ongunstige teruggang van de montagebouw wordt gecomp en seerd door het grotere aandeel van de gietbouw. Zoals in de prognose werd gesteld, kan wellicht tot 1990 een gemiddelde jaarproductie van 76.000 een ge zinswoningen worden verwacht. Rekening houdend met een gemiddelde energiewaarde van  $400 \times 10^9$  J per huis, betekent dit dat tot 1990 het energieverbruik voor de genoemde categorie woningen gemiddeld ca.  $30 \times 10^{15}$  J per jaar zal bedragen.

**Tabel 9.** Onderverdeling van de nieuwbouw van woningen naar bouwsysteem in 1972, 1973 en 1974 [14]

	1972 aantal (%)	1973 aantal (%)	1974 aantal (%)
Zware montagebouw	14.020 (9,2)	12.102 (7,7)	9.478 ( 6,5)
Gietbouw	15.818 (10,4)	20.706 (13,3)	24.098 (16,5)
Stapelbouw	122.434 (80,4)	122.604 (79,0)	112.598 (77,0)
	152.272 (100%)	155.412 (100%)	146.174 (100%)

191



### 2.1.2. Energiebesparing in de woningbouw

Hoewel een energieverbruik van  $30 \times 10^{15} \text{ J}$  geen factor van betekenis is op de nationale energieconsumptie (in 1974 circa  $2,5 \times 10^{18} \text{ J}$ ), is het niettemin zinvol, na te gaan of op de energie-inhoud van woningen kan worden bespaard. Hiertoe bestaan een aantal mogelijkheden.

- Terugbrengen van de energiewaarde van bouwmaterialen door een energiebewuster productieproces. Deskundigen in de betrokken bedrijfstakken moeten nagaan in hoeverre hier besparingen mogelijk zijn. Aangezien bij vele bouwmaterialen de energiekosten slechts een gering deel vormen van de totale produktiekosten, ontbreekt hiertoe op dit moment de stimulans. Een oplossing zou moeten worden gevonden in politieke maatregelen.
- Toepassen van materialen met een lage energiewaarde. Door een verstandige keuze tussen verschillende materialen die elkaar voor een bepaalde toepassing kunnen vervangen (bijvoorbeeld baksteen substitueren door kalkzandsteen of aluminium door staal) kan energie worden bespaard. In een aantal gevallen — zoals de genoemde voorbeelden — werkt ook de prijs in dezelfde richting. Er bestaat echter slechts een zeer vaag verband tussen prijs en energie-inhoud van de diverse materialen, zodat er niet op kan worden vertrouwd, dat het prijsmechanisme steeds tot de juiste keuze zal leiden. Hout mag relatief duur zijn; een houtskelet-huis hoeft niet duurder te zijn dan een vergelijkbaar stenen huis.

Uit praktische overwegingen zal men voor de bouwstoffen liefst die materialen kiezen welke plaatselijk te winnen zijn. Economisch onderzoek in deze betreft meestal de constructiefase. Eigenlijk zou de gehele bestaanscyclus van het huis in beschouwing moeten worden genomen om na te gaan welke bouwmaterialen het meest economisch zijn. Het vervangen van

materialen door andere met een kleinere energie-inhoud is een gecompliceerd proces. Als voorbeeld die een vergelijking tussen een aluminium en een houten buitenkozijn. In Tabel 10 zijn de energiebehoeften voor deze kozijnen gespecificeerd.

Stelt men dat het houten kozijn alleen concurrerend is, indien het prijsverschil wordt genivelleerd, dan kan met de volgende formule de noodzakelijke stijging van de energieprijzen worden berekend:

$$P = \frac{(M2 - M1) + (E1 - E2)}{E1 - E2} \times 100\%$$

waarin P = de stijging van de energieprijzen in %

M1 = de prijs van bouwdeel 1 in guldens

M2 = de prijs van bouwdeel 2 in guldens

E1 = de energie-inhoud van bouwdeel 1 in guldens

E2 = de energie-inhoud van bouwdeel 2 in guldens.

Bij een energieprijzen van f 0,45/100 MJ (overeenkomend met f 0,16/m<sup>3</sup> gas) heeft het houten kozijn een energie-inhoud ter waarde van f 1,72, het aluminium kozijn een energie-inhoud ter waarde van f 8,66. Substitueren van de gegevens in de formule geeft:

$$P = \frac{(190 - 165) + (8,66 - 1,72)}{8,66 - 1,72} \times 100\% = 460\%$$

De aangenomen energieprijzen zou met een factor 4,6 moeten stijgen om de prijzen van het houten en het aluminium kozijn op eenzelfde niveau te brengen. De energiewaarde van het onderhoud, dat noodzakelijk is om het houten kozijn een gelijke duurzaamheid te geven als het aluminium kozijn, verhoogt deze factor nog. Deze benadering wordt echter van marginaal belang als we de invloed van het kozijn op de energiekosten voor verwarming in ogenschouw nemen. Ten gevolge van de grotere warmtEDOORgangSCOëfficiënt van aluminium treedt door een aluminium kozijn meer warmteverlies op dan door een houten kozijn. Men stelt in [15] voor het warmteverlies door het kozijn een verhouding van 3,5 : 1. Wat dit in concreto aan energiever verschillen betekent, kan alleen worden berekend als het bouwkundig ontwerp bekend is. Kostenverschillen, gemoeid met het al of niet toepassen van dubbele beglazing spelen daarbij ook mee. Bovenstaand voorbeeld maakt duidelijk dat het toepassen van bouwmaterialen met een lagere energiewaarde moet worden gezien in het gehele functioneren van de woning. Op dit gebied is slechts weinig studie verricht.

### 2.1.3. Het verhogen van de duurzaamheid van woningen

Een langere levensduur van de woning kan op verschillende manieren worden bereikt. Een eerste manier is het bouwen met meer duurzame materialen. Dit heeft uiteraard consequenties op het gebied van

**Tabel 10.** Energiebehoefte voor een houten en een aluminium kozijn

Kozijnafmetingen (cm): hoogte 120 breedte 180	
Prijs, af fabriek bij een kwantum van 60 stuks: aluminium kozijn f 165,— (incl. f 35,— voor houten stelkozijn); vuren houten kozijn f 190,—	
Energie-inhoud aluminium kozijn:	
Aluminium	6,7 kg x 230 MJ/kg = 1.541 MJ <sup>1)</sup>
Hout	12 kg x 0,8 MJ/kg = 9,6 MJ
Glas	17 kg x 21 MJ/kg = 357 MJ
Verf	0,3 kg x 54 MJ/kg = 16,2 MJ
Totaal	1.923,8 MJ
Energie-inhoud houten kozijn:	
Hout	29 kg x 0,8 MJ/kg = 23,2 MJ
Glas	12 kg x 21 MJ/kg = 252 MJ
Verf	2 kg x 54 MJ/kg = 108 MJ
Totaal	383,2 MJ

<sup>1)</sup> 1 MJ = 10<sup>6</sup> J.



Tabel 11. Samenstelling bouwelementen [17]

	Grondstoffen voor de bouw <sup>1)</sup>																	
	Natuursteen	Grind	Zand (ook voor glas)	Klei	Kalksteen	Gips	Asbest	Bitumen	Naaldhout	Hardhout	Kurk	IJzer/staal	Aluminium	Koper	Lood	Zink	Kunstharsen	Diverse kleurstoffen
Draagconstructies	x	x	x	x	x				x	x		x	x					
Niet-dragende afscheidingen	x		x	x	x	x	x					x	x				x	
Deuren en ramen									x	x		x	x					
Dakbedekkingen		x		x			x	x	x					x	x	x		
Hang- en sluitwerk												x	x	x			x	
Afwerklagen	x		x		x	x	x				x		x				x	x
Rioleringen				x								x						
Installaties gas, water, verwarming, elektriciteit							x					x	x	x			x	

<sup>1)</sup> Voorts water zonder schadelijke verontreinigingen.

de kosten. Zo kost vurenhout circa f 500/m<sup>3</sup> en hardhout circa f 750/m<sup>3</sup> (meranti) à f 900/m<sup>3</sup> (merbau). Bouwen met duurzame materialen betekent een aanzienlijke verhoging van de initiële kosten. Bij een neergaande economische conjunctuur en bijgevolg een slecht investeringsklimaat is de aanvangsinvestering eerder een criterium dan het rendement op lange termijn. Dit is vaak een belemmering om te bouwen met duurzame materialen.

Een tweede manier is extra aandacht besteden aan het bouwkundige onderhoud. Dit levert niet alleen een besparing op aan energie en grondstoffen, maar verlaagt ook de bouwkosten op jaarbasis. Men geeft voor een eengezinswoning met stichtingskosten van 100 a bij een levensduur van achtereenvolgens 30, 50 en 100 jaar als onderhoudskosten op respectievelijk 33,5 a, 74,6 a en 186,8 a [16]. De bouwkosten op jaarbasis zijn dan respectievelijk 4,5%, 3,5% en 2,9% van de stichtingskosten. De stijging van de bouwkosten, de inflatie en renteverliezen zijn niet ingecalculeerd; deze factoren zouden de verschillen echter alleen doen toenemen.

Bij het bouwen met meer duurzame materialen en het verrichten van planmatig onderhoud moet men zich wel realiseren dat de eisen ten aanzien van het gewenste woonklimaat aan veranderingen onderhevig zijn. Alleen indien de woning voldoende flexibel van opzet is, zodat nieuwe eisen betrekkelijk eenvoudig kunnen worden gerealiseerd, is een langere levensduur effectief. De architect zal bij zijn ontwerp hiermee rekening moeten houden.

Een derde manier om de levensduur van de woning te verhogen is het renoveren van oude woningen in plaats van deze te vervangen door nieuwbouw. De laatste tijd heeft de renovatie een hoge prioriteit gekregen, voornamelijk om sociaal-culturele redenen.

## 2.1.4. Schaarste aan grondstoffen

De meeste in de bouw gebruikte grondstoffen zijn niet schaars. Ook de prijzen, die gewoonlijk beneden f 1/kg blijven, wijzen daar wel op. Voor vrijwel iedere toepassing is vervanging van een eventueel schaars wordend materiaal door een ander mogelijk. Tabel 11 geeft een indruk omtrent de materialen waaruit diverse bouwelementen zijn samengesteld. Tabel 12 bevat een overzicht van het jaarverbruik (1972) van een aantal bouwmaterialen en een indicatie van hun prijs.

Tabel 12. Gedeeltelijk overzicht van het jaarverbruik aan bouwmaterialen (1972) en prijsindicatie [10]

	Gebruik in Nederland (10 <sup>6</sup> ton)	Globale prijs (gld/ton)
Zand, grind	21,9	10
Lichtgewicht toeslag	0,15	80
Kalk	2,95	180
Portlandcement	3,05	90
Hoogovencement	—	80
Gips	—	85
Beton	16,3	30
Geprefabriceerde betonelementen	1,7	—
Baksteen	4,68	100
Kalkzandsteen	4,0	35
Glas	0,09	2.000
Steenwol	—	90
Asbestcement	—	400
Staal	5,5	800
Wapeningsstaal	0,5	900
Voorspanstaal	0,04	1.200
Aluminium	0,06	2.500
Lood	0,05	2.200
Koper	0,04	7.500
Zink	0,04	3.200
Hout	2	800
Kunststoffen	0,3	5.000
Bitumineuze materialen	—	600



De keuze van een bepaald materiaal in de bouw wordt voornamelijk bepaald door de kosten en esthetische aspecten. Onder de schaarse materialen die in de bouw worden gebruikt, behoren onder andere koper, lood en zink. Koper wordt voornamelijk gebruikt voor waterleidingartikelen (waterleidingbuis en kranen). Er zijn — vaak veel goedkopere — vervangende materialen van kunststof verkrijgbaar. Lood wordt voor afvoerbuis en bij afwerking van aansluitingen van daken en dergelijke gebruikt. Ook hiervoor zijn goede vervangende materialen (kunststof en bitumineuze producten). Zink wordt ook gebruikt voor beschermende lagen op staal. Dit kan desgewenst worden vervangen door een andere geschikte afwerklaag. Ook de functie van zink als dakbedekking kan gemakkelijk door andere materialen worden overgenomen (zie ook Hoofdstuk 4).

### 2.1.5. Milieu-aspecten

Bij de productie van bouwmaterialen kunnen milieu-belastende stoffen vrijkomen. Bij de baksteen-fabrikage zijn dit zwavel- en fluorverbindingen. Door een betere procesbeheersing is in een aantal gevallen de afgescheiden uitworp nog te benutten of althans op voor het milieu onschadelijke wijze af te voeren. Voorbeelden zijn gips en vliegashoud (zie Hoofdstuk 5).

Tijdens het fabriceren van onderdelen van een gebouw kan ook overlast plaatsvinden door geluids- of trillingshinder (trillen van betonbalken — ook fabrieksmatig —, inheien van palen, het gebruik van bulldozers etc.). Verschillende bouwmaterialen verbruiken dieselolie en dergelijke en produceren vuile verbrandingsgassen. Veel bouwwerken veroorzaken in de nabijheid veel stof (stuifzand, cementstof en dergelijke), dat weliswaar geen ernstige milieuproblemen veroorzaakt, maar toch enige schade aanbrengt. Bij ongevallen tijdens de bouw, bijvoorbeeld bezwijken van een cementsilo, kan dit verschijnsel zich in sterke mate voordoen. Als het bouwproces is afgelopen resteert een hoeveelheid afval (mortelresten, houtkrullen, afgeknipte eindjes wapeningsstaal, afvalhout enz.) die evenals ander afval op verstandige wijze dient te worden afgevoerd.

Door het bouwen verandert de grond van bestemming. In 1972 werd 4.392 ha aan bouwgrond besteed [5]. Hiermee gaat mogelijk natuurgebied verloren. Het is niet erg zinvol hier van milieu-aantasting te spreken omdat het bouwproces juist de bewuste wijziging van een milieu is.

### 2.2. Energieverbruik in de gebruiksfase <sup>5)</sup>

Een onderzoek heeft uitgewezen dat voor een Zweedse eengezinswoning met een levensduur van 40 jaar het energieverbruik voor materialen, transport/assemblage en verwarming zich verhoudt als 3,8:2,7:93,5 (exclusief energiebehoeften voor huisonderhoud en

sloop) [10]. Het is duidelijk dat de meeste mogelijkheden tot energiebesparing moeten worden gezocht in de gebruiksfase van een woning. Men kan hierbij denken aan betere thermische isolatie, efficiëntere stooksystemen, nuttig gebruik van afvalwarmte van ventilatielucht, benutting van zonne-energie.

Een specificatie van het brandstofverbruik per woning in 30 jaar onder huidige verhoudingen wordt gegeven in Tabel 13. De cijfers zijn gebaseerd op de volgende veronderstellingen:

- economische levensduur van de woning: 30 jaar;
- gebruiksrendement verwarmingsinstallatie: 65%;
- gebruiksrendement primaire energie elektrische installaties (na aftrek verliezen bij opwekking en transport van elektriciteit): 30%;
- eengezinsrijenhuis gebouwd in woningwet- of premiebouwsector (of van gelijke grootte en constructie in vrije sector), gebruikelijke bouw- en isolatiewijze medio 1975;
- koken op gas voor 90% en voor 10% op elektrische energie;

**Tabel 13.** Brandstofverbruik per woning (eengezinsrijenhuis) tijdens 30-jarige bewoning

	Brandstofsoort en hoeveelheid		
	aardgas (ton)	olie (ton)	steenkool (ton)
Verwarming en ventilatie	106		
Koken	6		
Warmwaterbereiding	10	1	
Subtotaal	122	1	
Koelkast	3	1	1
Wasautomaat (of wasmachine en centrifuge)	4	1	
Verlichting	4	1	
Circulatiepomp voor CV	3	1	
Radio, TV, pick-up, stofzuiger, div. kleine elektrische apparaten	2	1	
Subtotaal	16	5	1
Vrieskast (25%)	1	1	
Vaatwasmachine (10%)	0		
Afzuigventilator, wasemkapventilator of luchtverwarmingsventilator (25%)	1		
Subtotaal	2	1	
Totaal generaal	140	7	1

- warmwaterbereiding voor 40% met keukengeisers, voor 40% met andere gasgestookte apparatuur (gasboilers, combinatie met CV, grote badgeisers) en voor 20% met elektrische boilers;
- alle woningen voorzien van centrale verwarming;
- alle woningen voorzien van koelkast, wasmachine en centrifuge (of wasautomaat), elektrische verlichting, circulatiepomp (voor centrale verwar-

<sup>5)</sup> De auteur van deze bijdrage is ir. H. van Bremen.



ming), radio, TV, één of meer andere elektrische geluidsapparaten, stofzuiger, diverse kleine elektrische huishoudelijke apparaten;

- 25% van de woningen voorzien van diepvrieskast of -kist, en van elektrische afzuigventilator, al dan niet gecombineerd met wasemkapventilator;
- 10% van de woningen voorzien van vaatwasmachine;
- elektriciteitsopwekking voor 75% met aardgas, 20% met olie en 5% met steenkool (kernenergie verwaarloosd);
- bovenste verbrandingswarmte van brandstoffen:

1 kg steenkool:  $30 \times 10^6$  J;

1 kg (ruwe) olie:  $42 \times 10^6$  J;

1 kg aardgas (=  $1,27 \text{ m}^3$  bij  $0,1013 \times 10^6$  Pa bij  $0^\circ\text{C}$ ):  $45 \times 10^6$  J.

De in Tabel 13 gevonden hoeveelheid brandstoffen vertegenwoordigt  $10^3 \times (140 \times 45 + 7 \times 42 + 1 \times 30) \times 10^6 = 6,6 \times 10^{12}$  J aan primaire energie (afgerond). Vergelijking met Tabel 7 toont aan dat het energieverbruik tijdens de gebruiksfase van een eengezinswoning ca. 15 tot 20 maal hoger is dan het energieverbruik voor de bouw ervan.

Het beslag op de grondstof energie speelt in de totale cyclus van de eengezinswoning dan ook de hoofdrol. Daarom worden hier nog enkele opties t.a.v. dit energieverbruik gezien. In de eerste plaats kan worden gestreefd naar het gebruik van minder aardgas, meer olie en vooral meer steenkool. Nederland bevindt zich in de potentieel moeilijke situatie, dat aardgas nog volop aanwezig is tot (wellicht) 1980, maar daarna qua produktieniveau op een limiet stuit. Er zijn geen andere binnenlandse (fossiele) energiebronnen beschikbaar in belangrijke hoeveelheden.

Een politieke oplossing zal op korte termijn noodzakelijk zijn: stopzetten van de export; geen aardgas meer leveren aan elektriciteitscentrales en ook in andere sectoren geen aardgas meer laten verstoken waar dit door een andere energiedrager kan worden vervangen. Hieronder vallen etagewoningen, niet-woningbouw, industrie en dergelijke. De invloed van deze verandering op het verbruik van de eengezinswoning leidt waarschijnlijk tot het volgende gemiddelde consumptiepakket: aardgas 122 ton, olie 25 ton en kolen 1 ton<sup>6)</sup>.

Een andere gedachte is, het aandeel van de kernenergie in de elektriciteitsvoorziening op 25% te brengen. Het verbruikspakket wordt door deze maatregel: aardgas 122 ton, olie 19 ton en kolen 1 ton.

Ook kan men zonne-energie gebruiken voor verwarming. Een goede zonnecollector kan aan warmte per woning het equivalent van circa  $1500 \text{ m}^3$  aardgas leveren, of in 30 jaar 35 ton aardgas. Een penetratiegraad van 25% in (nieuw te bouwen) eengezinswoningen moet haalbaar worden geacht. De besparing aan aardgas (voor verwarming) wordt dan  $0,25 \times 35$

= 9 ton. Indien de voorgenoemde maatregelen mede worden doorgevoerd, dan is het brandstofverbruik: aardgas 113 ton, olie 19 ton, kolen 1 ton. Zowel kernenergie voor elektriciteitsopwekking als zonne-energie voor verwarming zijn thans (1976) in principe economisch interessant.

Tenslotte is uit studies en proeven [18, 19] gebleken dat besparingen tot 60% op ruimteverwarming mogelijk zijn en bovendien thans reeds financieel interessant kunnen zijn. Voor de overige doeleinden (warm water, koken, verlichting, koel- en vrieskasten, huishoudelijke apparaten, ventilatie) kan met een besparing van 30% worden gerekend.

Door deze besparingsmaatregelen kunnen de cijfers genoemd in Tabel 13 worden teruggebracht tot circa 88 ton aardgas, 5 ton olie en 1 ton steenkool. Weliswaar kost de fabricage van extra isolatie-middelen ook energie, maar een eenvoudige berekening leert dat dit energiegebruik vrijwel te verwaarlozen is tegenover de brandstofbesparing.

Door alle genoemde maatregelen te nemen, hetgeen dus betekent:

- geen aardgas meer voor elektriciteit;
- elektriciteitsproductie voor 25% met behulp van kernenergie;
- aanvullende zonne-energie in 25% van alle nieuwe eengezinswoningen;
- verbeteren van isolatie en verhoging rendement van installaties;

kan het brandstofverbruik worden teruggebracht van 148 ton tot 83 ton (66 ton aardgas, 16 ton olie en 1 ton steenkool). De te nemen maatregelen zijn thans reeds of in de zeer nabije toekomst economisch haalbaar.

### 2.3. Sloop en recirculatie-mogelijkheden

Gebouwen en andere bouwwerken hebben een relatief lange levensduur (50-200 jaar). De gebruikte materialen komen dus pas na verloop van lange tijd ten dele weer in het milieu terecht. De kostbaarste materialen, zoals koper, lood en zink en profielstaal, worden grotendeels weer naar de industrie teruggevoerd. Afbraakhout is niet veel meer waard; het is echter een organisch materiaal dat niet veel milieuproblemen oproept. Betonpuin, baksteenpuin en dergelijke worden voor een belangrijk deel als stortmateriaal voor wegenaanleg en ophogingen gebruikt en leveren voor het milieu weinig gevaren op. Bij nadere studie zou kunnen blijken dat meer sloopmaterialen voor hergebruik in aanmerking komen. Speciale aandacht verdient hierbij het gebruik van samengestelde of composietmaterialen, zoals bijvoorbeeld gewapend beton. Wapeningsstaal uit betonpuin is vrij moeilijk terug te winnen. Er bestaat behoefte aan een studie over het afbreken van beton. Hiervoor is in het kader van de CUR<sup>7)</sup> een commissie gevormd.

<sup>6)</sup> Uiteraard zou dit — zonder bijzondere maatregelen — een belangrijke toename inhouden van de emissie van zwaveldioxyde ( $\text{SO}_2$ ).

<sup>7)</sup> Commissie Uitvoering Research (Nederlandse Beton Vereniging).



Van de in Nederland gebruikte kunststoffen wordt 25% in de bouw toegepast. Daarvan is thans nog maar zeer weinig in het puin te vinden. Het verdient overweging, deze te zijner tijd voor een deel uit het puin te verwijderen, waarbij wellicht opnieuw gebruiken mogelijk zal blijken, al zal dat dikwijls niet voor het zelfde doel kunnen zijn (zie de bijdrage over hergebruik in Hoofdstuk 3).

Recente succesvolle resultaten van opnieuw benutten van materialen zijn de toepassing van slakken en vlieg-as (afvalprodukten van respectievelijk de staalindustrie en de elektriciteitscentrales) voor de vervaardiging van metselblokken. Een andere toepassing is het gebruik van suikerbietenafval voor de vervaardiging van boardplaten [20]. Het is denkbaar dat doelgerichte studie meer afvalprodukten van uiteenlopende bedrijfstakken oplevert die geschikt blijken te zijn voor de vervaardiging van bouwmaterialen.

### 3. Literatuur

- [ 1]. Statistische Zakboeken 1972 t/m 1974. Centraal Bureau voor de Statistiek.
- [ 2]. TP 2000; Op weg naar 2000, een toekomstprojectie van Verkeer en Waterstaat. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- [ 3]. Statistisch Zakboek voor de PTT (1975).
- [ 4]. Stichting Bouwcentrum; Hoofdlijnen van een meerjarig studieprogramma. Rotterdam, 1973.
- [ 5]. Centraal Bureau voor de Statistiek; Statistical Yearbook of The Netherlands, Staatsdrukkerij, Den Haag, 1973.
- [ 6]. Bibeb; Interview met minister Gruyters. Vrij Nederland (20-12-1975), nr. 51.
- [ 7]. Economisch Instituut voor de Bouwnijverheid; De ontwikkeling van de bouwbehoefte en de werkgelegenheid in de bouw; peiljaren 1980-1990-2000. Staatsdrukkerij, Den Haag, 1976.
- [ 8]. H.A.L. van Dijk en E. van Galen; De relaties tussen energieinhoud van bouwmaterialen, bouwkosten, warmteverliezen en stookkosten; een woningwetwoning als voorbeeld. TH-Delft, afdeling Bouwkunde, Delft, 1974.
- [ 9]. G. Brown en P. Stellon; The material account. Built Environment (augustus 1974), 415-7.
- [10]. P.C. Kreijger, Building materials versus energy. Rapport TH-Eindhoven, M/75/3, 1975.
- [11]. D. Barnes en L. Rankin; The energy economics of building construction. Building International, 8 (januari/februari 1975) 31-42.
- [12]. Stichting Bouwresearch; Houtskeletbouw. Rapport no. 20, 2e druk, Alphen aan de Rijn - Brussel, 1973.
- [13]. H. Priemus en R.S.F.J. van Elk; Niet-traditionele woningbouwmethoden in Nederland. Stichting Bouwresearch, No. 26, Alphen aan de Rijn.
- [14]. Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, Centrale Directie van de Volkshuisvesting en de Bouwnijverheid en het Staatstoezicht op de Volkshuisvesting, Jaarverslag (1974), Den Haag.
- [15]. W. Klein; Das Fenster und seine Anschlüsse. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunfeld (1974), 48.
- [16]. P. Burianek; Folge Kosten bei Gebäuden. Detail nr. 5 (september/oktober 1974), 795.
- [17]. W. Prey c.s.; Eindrapport Werkgroep Gebouwen (Vervolgstudies Levensduurverlenging). Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Den Haag, 1975.
- [18]. Stichting Toekomstbeeld der Techniek; Energiebesparing. Publikatie 19, Staatsuitgeverij, 1974, 107.
- [19]. Zestig procent besparing door goede isolatie. PT/Aktueel (10-12-1975), 3 (Afdeling Research en Ontwikkeling Bouw DSM en Concern Van Egteren).
- [20]. J.K. Page; Conservation of building materials and the future of the built environment. Resources Policy (december 1974), 82.



## Hoofdstuk 7. Samenvatting

In het navolgende wordt de inhoud van de hoofdstukken 1 t/m 6 kort samengevat. Dit gebeurt in dezelfde volgorde als waarin de bijdragen zijn opgenomen. De samenvatting is bedoeld als geheugensteun voor Hoofdstuk 8. Zij biedt tevens de gelegenheid, de verschillen en overeenkomsten in de strekking van de onderscheiden bijdragen nog eens de revue te laten passeren.

### Hoofdstuk 1. De studie-doelstellingen, achtergronden en opzet

De studie heeft een inleidend, inventariserend karakter en stelt zich ten doel, aspecten zichtbaar te maken van een lange termijn beleid t.a.v. de materialenhuishouding en aanbevelingen te doen voor wetenschappelijk onderzoek. Die materialen staan centraal welke een functie vervullen vanwege hun fysische (bijv. mechanische of elektrische) eigenschappen. Het systeem van de materialenhuishouding vormt onderdeel van een omvattender milieu-energie-materialen-systeem waarbinnen veelvuldige en gecompliceerde verbanden bestaan. Wil men hierop invloed uitoefenen, dan is een geïntegreerde benadering geboden.

De regeling van aard en omvang van materiaalstromen in het systeem berust bij menselijke structuren: producenten, verbruikers en overheid. De vraag naar goederen en diensten waarmee in een behoefte wordt voorzien, vormt daarbij de aandrijving. Het gehele samspel draagt een sterk internationaal karakter, in het bijzonder voor een land als Nederland. De economische betekenis van de materialenhuishouding komt vooral tot uiting in de verwerking van basismaterialen tot eindprodukten. De studie bestaat uit drie delen: een verzameling algemene beschouwingen, een aantal voorbeeldstudies en een slotdeel waarin de balans wordt opgemaakt.

### Hoofdstuk 2. De materialenhuishouding vanuit diverse gezichtshoeken

#### *Economische aspecten van de grondstoffenvoorziening*

De materialen op basis van industriële grondstoffen van kweekbare aard ondervinden over het algemeen een sterke concurrentie van synthetische materialen, ook na de recente prijsstijgingen van aardolie.

Ondanks recente zeer grote prijschommelingen voor grondstoffen lijkt het er op dat het marktmechanisme over langere termijn gezien voor een zeker evenwicht zal kunnen zorgen. De kansen dat deze ontwikkeling in sterke mate wordt doorkruist door monopolievorming aan de aanbodzijde zijn niet zo groot, ook al omdat bij de verbruikers mogelijkheden tot besparing aanwezig zijn. Er bestaan gemeenschappelijke belangen t.a.v. regelmatige voorziening en stabiele prijzen. Een belangrijk punt is dat door internationale samenwerking en overleg moet worden gekomen tot stabili-

sering van grondstoffenmarkten en een regelmatige voorziening tegen billijke voorwaarden voor alle partijen. Tot nog toe is de voortgang op dit gebied echter gering.

#### *Prijsvorming en prijsbeheersing van de belangrijkste non-ferro-metalen*

Hierop wordt bij wijze van voorbeeld wat dieper ingegaan. De koersen op de metaalbeurzen weerspiegelen uiteraard vraag- en aanbodverhoudingen, maar daarnaast ook speculatieve overwegingen. Men probeert o.a. door termijntransacties risico's te beperken.

In het geval van zink en lood richt de markt zich tegenwoordig sterk op door belangrijke producenten gepubliceerde prijzen. Dit biedt een praktische mogelijkheid voor stabilisering van de markt. Het algemene patroon van de markt wordt gekenmerkt door over meerdere jaren verlopende en elkaar opvolgende cycli van verbruik, metaalproductie en ertsproductie.

De tinmarkt wordt aan de aanbodzijde sterk bepaald door oligopolistische en zelfs monopolistische structuren. Daarnaast zweeft een groot deel van de vroegere strategische voorraad van de V.S. boven de markt.

Na een aantal meer of minder succesvolle marktbeheersingspogingen in het verleden is in 1956 de International Tin Council ontstaan. Deze ITC bestaat uit producerende en verbruikende landen. Zij hanteert als instrumenten een buffervoorraad en daarnaast zo nodig exportrestricties. Ondanks bepaalde — structurele en incidentele — storende invloeden hebben de activiteiten van de ITC de laatste jaren een onmiskenbaar gunstige invloed op de tinprijs gehad. Er is geen sprake van een eenzijdig opdrijven van de prijs.

#### *Geologisch-economische aspecten van grondstoffen-voorkomens*

Er bestaat veel verwarring over de juiste interpretatie van soorten reserves en hulpbronnen van minerale aard. Tot heden is het met behulp van opsporingswerk en technische verbetering steeds mogelijk gebleken, voldoende economisch winbare reserves te houden. Van groot belang is de mogelijkheid, door extrapolatie van geologisch-statistische gegevens omtrent bekende reserves te komen tot potentiële reserves. Gehalte en frequentie van voorkomen van ertsafzettingen blijken bepaalde specifieke relaties te volgen. Men kan in dit verband per element en per geologisch gebied spreken van een specifiek ertsvormend vermogen. Dit gegeven, te zamen met de gemiddelde concentratie in de aardkorst, stelt ons in staat de afgeleide (potentiële) reserves en hulpbronnen op aarde voor een grondstof te schatten. Deze blijken over het algemeen zeer veel groter te zijn dan de bekende reserves. De genoemde conceptie kan een belangrijke stimulans betekenen voor verbeterde exploratiemethoden. Ook blijkt met behulp van deze conceptie de prijsontwikkeling op lange termijn van minerale delfstoffen beter te kunnen worden beschreven, daar de onderlinge prijsverschillen nauw blijken samen te hangen met de waarden van gemiddelde concentratie en specifiek



ertsvormend vermogen. Tevens kan men zo de kans schatten dat sommige grondstoffen sneller in prijs zullen stijgen dan andere. In de mijnbouw kan men op twee manieren deze prijsstijgingen beteugelen, nl. door verbetering van winningsmethoden en door ontwikkeling van efficiënte en goedkope opsporingsmethoden. Zowel bedrijfsleven als nationale overheden en internationale organisaties hebben hierin een taak.

#### *Betekenis van het bedrijfsleven in het materialen-systeem*

In het bedrijfsleven komt de invloed van veel, deels geheel externe, factoren tot uiting. De betekenis van goede en continue prognoses voor grondstoffen- en materialenverbruik is hier dan ook groot. In de toekomst zal meer verwerking in grondstoffenproducerende landen gaan plaatsvinden, terwijl vanuit consumerende landen ontwikkelingen naar verschuivingen in het verbruik en naar hergebruik zullen ontstaan. Nederland is grondstofarm en zal zich daarom vooral moeten toelagen op de handel en de toepassing van kennis van bewerking en productie.

#### *Materiaalgebruik door de consument*

Het materialen-aspect in het materialen-energie-milieusysteem spreekt de consument minder duidelijk aan. Toch gaat het om problemen — zoals een onevenwichtige mondiale verdeling, in sommige gevallen beperkte reserves en ondoelmatig materiaalgebruik — die hem wel degelijk raken. Men moet er immers rekening mee houden dat het totale mondiale verbruik aan minerale grondstoffen op langere termijn nog enkele malen groter kan worden dan thans. Effectiever en efficiënter materiaalgebruik is dan ook van vitaal belang. In de praktijk kan de consument slechts beperkte invloed in deze richting uitoefenen. Vooral zijn mogelijkheden om selectiever aan te schaffen, de levensduur van zijn bezittingen te verlengen en bij te dragen tot herwinning van materialen zijn gering. Dit is het gevolg van zijn geringe kennis omtrent de feitelijke toepassing van materialen in producten en zijn nog geringere invloed daarop. Een betere voorlichting zou echter wel effectief kunnen zijn. Ook kan de consument als staatsburger invloed uitoefenen op wetten en voorschriften ter zake. Onder deze voorwaarden zou wellicht de meest substantiële invloed van de verbruiker kunnen liggen in het beter letten op optimale levensduur van zijn private en collectieve eigendommen.

#### *Systematische verzameling van gegevens over de Nederlandse materialenhuishouding*

De statistische gegevens over de materialenhuishouding welke thans algemeen ter beschikking staan, zijn sterk economisch gericht. Zij houden weinig verband met de fysische aspecten en relaties binnen en rondom het materialen-energie-milieusysteem. Soms is de betrouwbaarheid van de gegevens ook te beperkt, of zijn zij geheim. Vooral de grote im- en exportstromen maken de situatie voor Nederland onoverzichtelijk.

Mede ter illustratie van het bovenstaande zijn statistische gegevens opgenomen voor non-ferro- en ferrometalen, bouwmaterialen en papier/karton.

Er is behoefte aan gegevens betreffende o.a. beschikbaarheid van grondstoffen en de voortbrenging en toepassing van materialen. Dit in nauwe samenhang met gegevens omtrent de menselijke samenleving (waaronder het economisch proces). Naast kostencriteria zouden ook uitputbaarheid en schadelijkheid voor het milieu moeten worden aangegeven. Analyses zoals input-output analyse kunnen, via de kennis van de productieprocessen, verband leggen tussen de schakels van een materiaalketen, niet alleen wat betreft verbruik en voortbrenging van materialen maar evenzeer t.a.v. gebruikte energie, werkgelegenheid, investeringen en milieubelasting. Ook de regionale structuur kan hierbij worden betrokken.

Het „economisch belang” van materialen kan slechts tot op zekere hoogte worden afgewogen aan de hand van de waarde van de industriële voortbrenging, ook al zou men daarbij uitgaan van strikt rationeel-economische handelingen en een volledige en omvattende werking van het prijsmechanisme. Diverse aspecten, zoals milieubeïnvloedingen en schaarsteverhoudingen op lange termijn komen daarbij toch onvoldoende tot hun recht. Daarom kan er ook ruimte zijn voor een gericht, aanvullend beleid. De gegevens en verbanden hiervoor kunnen worden verzameld in samenspel tussen bedrijfsleven, nationale statistische bureau's en internationale organisaties.

### **Hoofdstuk 3. De relatie maatschappij-materialensysteem — Fundamentele aspecten en beïnvloedingsmogelijkheden**

#### *Eindigheid van grondstoffenvoorraden*

Het pessimisme van de afgelopen jaren is, voorzover daarbij sterk de nadruk werd gelegd op een naderende uitputting van grondstoffenvoorraden, onvoldoende op feiten gebaseerd. Dat neemt echter niet weg dat er gevaar bestaat voor tekorten welke het resultaat zijn van processen binnen het maatschappelijke systeem in de wereld. Schaarste van grondstoffen is geen nieuw begrip. Het gaat daarbij om onderlinge verhoudingen, die worden bepaald door factoren als absolute zeldzaamheid, wijze van voorkomen, verdeling over de wereld, toepassingsmogelijkheden, onderlinge vervangbaarheid en tal van andere. De toekomst zal vele, over lange perioden verloopende verdringingsprocessen te zien geven. Veranderende schaarsteverhoudingen vormen daarbij de aandrijving. Het valt te verwachten dat op de lange duur de winning van vele grondstoffen naar door natuurlijke factoren bepaalde produktieplafonds zal toegroeien. Deze kunnen echter in de meeste gevallen veel hoger liggen dan de huidige produktieomvang. Bij het voortgaande technologische ontwikkelingsproces van vervanging van zeldzame door minder zeldzame materialen speelt de betrekkelijk schaarse hulpbron energie een sleutelrol.



### *Energie-analyse in zijn maatschappelijke context*

Energie-analyse houdt zich bezig met de bepaling van de hoeveelheid energie die bij de vervaardiging van bepaalde produkten of de levering van bepaalde diensten totaal is gebruikt. De groeiende belangstelling voor dit onderzoek is direct verklaarbaar uit de gebeurtenissen die zich de laatste jaren in de energiesector hebben afgespeeld. Resultaten van energie-analyse kunnen elementen zijn bij de voorbereiding van een te ontwikkelen beleid op het gebied van energie en materialen. De energie-analyse behandelt echter slechts een facet van een complex geheel. De resultaten dienen dus op hun realiteitswaarde en draagwijdte te worden getoetst voordat zij als wetenschappelijk beleidsadvies worden gehanteerd.

Voor de chemische industrie, die energiedragers als energiebron en als grondstoffen gebruikt, bestaat thans de opgave, zowel energie in het algemeen te besparen, als specifiek zuinig te zijn op olie en gas. Energie-analyse is hierbij van essentieel belang; de praktische uitvoering ervan stuit echter nog op grote moeilijkheden. Een beperking wordt gevormd door het statische karakter van de energie-analyse, dat voortvloeit uit het feit dat slechts een beeld van de bestaande toestand kan worden gegeven. Het is moeilijk, de consequenties van toekomstige ontwikkelingen na te gaan. Dat het wereldenergieverbruik in de komende decennia nog sterk zal toenemen, is voor de wereld als geheel gezien aanvaardbaar, onder voorwaarde dat de groeisnelheid van dit verbruik gedurende die periode vooral in de geïndustrialiseerde landen sterk wordt verminderd. Voor de langere termijn is dit streven van groter belang dan het besparen door rendementsverbetering. Juist in de huidige overgangperiode zullen energie-analytische berekeningen van belang zijn voor de beleidsvoorbereiding.

### *Milieubeheer en materialenhuishouding*

Verslechtingen in het milieu treden doorgaans geleidelijk op; wanneer de toestand alarmerend wordt, is het (te) laat. Over het algemeen kan men drie typen van deze beïnvloedingen onderscheiden: verlies van biotoop, milieubederf en achteruitgang van diversiteit. Enkele relaties tussen de materialenhuishouding en belangrijke componenten van milieubeheer worden nader gezien. V.w.b. het waterbeheer kan worden geconstateerd dat het probleem van de lozing van afval op Nederlandse oppervlaktewateren acuut is en hoog op de prioriteitenlijst dient te staan. Ook de wateronttrekking t.b.v. de drinkwatervoorziening leidt tot moeilijk te herstellen ecologische verstoringen. De bodem vervult een groot aantal functies, die dikwijls niet voldoende worden geëvalueerd. Zo zullen plannen voor toekomstige mergelwinningen zorgvuldig moeten worden gezien, opdat geen wezenlijke waarden onnodig verloren gaan en zeer verarmde landschappen gaan ontstaan. Het storten van afvalstoffen is een omvangrijk probleem met veelal ongewenste gevolgen.

De mens stuurt de materialenhuishouding. Een adequaat milieubeheer moet er op zijn gericht, een opti-

maal leefbare omgeving voor de mens te behouden. Ontaarding van de kwaliteit van het milieu dienen niet op te treden. Uiteraard moet worden gewaakt tegen onnodige belemmeringen, maar nog steeds worden milieubelangen te veel opgeofferd aan andere belangen.

### *Maatschappelijke waardering van het winnen en toepassen van materialen*

Indien men wil vaststellen of bepaalde activiteiten gewenst zijn, zou men de erbij behorende kosten en baten voor de maatschappij in zijn geheel moeten kennen. Soms vallen deze samen met de kosten of prijzen, zoals die via markten tot stand komen (de „private kosten“). In andere gevallen dient echter met een uiteenlopen van private en maatschappelijke kosten en baten rekening te worden gehouden. Dit lijkt het geval te zijn bij het winnen en toepassen van grondstoffen en materialen.

Beschouwing van de voornaamste groepen van maatschappelijke kosten en baten en een aantal belangrijke factoren die hierop van invloed zijn, toont aan dat een economische analyse niet toereikend is. Er is sprake van een samenhang van economische, technisch-natuurwetenschappelijke en politieke factoren. Bij elk oordeel dat men zich over de grondstoffenproblematiek vormt, hoort daarom een bezinning op de er aan ten grondslag liggende waardeoordelen. Bovendien blijkt het begrip maatschappelijke kosten weinig praktische hanteerbaarheid te bieden in het licht van belangen van nog ongeboorte generaties.

Aangezien belangrijke maatschappelijke aspecten als het belang van toekomstige generaties, welvaartsongelijkheid en milieuaantasting niet of onvoldoende in de prijs van grondstoffen tot uiting komen, kan het prijsmechanisme niet in staat worden geacht, zonder bijsturing het grondstoffenprobleem doeltreffend en rechtvaardig op te lossen. Er worden verschillende wegen gezien welke kunnen leiden tot een lager grondstoffenverbruik. Het blijkt dat het althans ten dele verwerken van de maatschappelijke consequenties van grondstoffenverbruik in het economisch proces veelal slechts mogelijk is wanneer men uitgaat van bewuste politieke keuzen. Daarbij spelen doelstellingen ten aanzien van verdeling van (bronnen van) materiële welvaart een voorname rol. Weliswaar kunnen de economische consequenties worden berekend van intensieve herverwerking, verlenging van de economische en/of technische levensduur etc. Veelal kunnen zij echter niet worden afgewogen tegen een geldswaardering van de baten van dergelijke beleidsmaatregelen; een maatschappelijke kosten-baten analyse in monetaire termen is dan niet mogelijk.

### *De bijdrage van de ontwerper*

In het ontwerpproces van produkten ligt één der sleutels voor de aanpak van milieu-, energie- en schaarste problemen. Een belangrijk aspect is al direct de materiaalkeuze. Traditioneel spelen hierbij vooral kosten van het materiaal zelf en van de verwerking een grote rol. Dit zijn echter niet de enige factoren. Het beden-



ken en verwezenlijken van nieuwe produkten is een toenemend ingewikkeld, langdurig en riskant proces met een breed spectrum van eisen en normen. Het zal er steeds meer om gaan, gebruiksduur, gebruiksfrequentie en gebruiksnut van een produkt de beste kansen te geven, maar dat dan afgewogen tegen energie-, milieu- en grondstof-overwegingen. Daartoe zal meer en breder materiaal-kundig inzicht nodig zijn. Het zou nuttig zijn, materiaal-informatiesystemen op te bouwen die een rubricering van eigenschappen als ingang hebben. Er zijn vier strategieën voor materiaalbesparing te onderscheiden: vervanging, hergebruik, spaarzaam ontwerpen en levensduurverlenging. Vervanging zal in toenemende mate kunnen bijdragen tot besparingen en vermindering van schaarste. Prognoses hierover zijn echter thans nog nauwelijks te geven; er zijn vele technische en andere onzekerheden. Het is voor de ontwerper alleen mogelijk, materiaalbesparingen te verwezenlijken, voorzover dit economisch verantwoord is. Technische en economische collega's moeten hun medewerking verlenen; consumenten-beïnvloeding en overheidsvoorschriften zullen daarnaast een grote rol moeten spelen.

Een complete systematiek voor integratie van grondstoffen-, energie- en milieu-overwegingen in het ontwerpproces zou moeten worden ontwikkeld. Daarop vooruitlopend wordt een aantal vuistregels voor de ontwerper gegeven. Voorts wordt een aanzet gegeven voor het systematisch ontwerpen voor materiaalbesparing.

De levensduur kan men verbeteren door opvoering van de kwaliteit van het fabricageproces, door verbetering van het produkt zelf, door betere voorlichting aan de gebruiker en door goed ontwerpen voor gemakkelijk onderhoud. Men dient gegevens te verzamelen over de betrouwbaarheid van produkten en systemen om te bepalen hoe de levensduur kan worden verhoogd. Het einde van een produkt komt meestal door vermoeiing, slijtage of corrosie. Terugwinning kan worden bevorderd door het gebruik van eenvoudige materialen, of eenvoudig te scheiden combinaties. Tenslotte zal de ontwerper rekening kunnen gaan houden met specifieke (potentiële) materiaal-schaarsten; en met energie-investeringen in diverse fasen van produktie en gebruik.

#### *Hergebruik*

Aan het eind van de materiaalketens ontstaat afval, welke zo goed mogelijk moet worden verwerkt en bij voorkeur opnieuw voor nuttig gebruik geschikt moet worden gemaakt. Hier ligt ook een nauwe relatie met het milieubeheer. Men moet onderscheid maken tussen de gevallen waarin het hergebruiken van afvalstoffen op een bedrijfseconomisch verantwoorde wijze mogelijk is en de overige gevallen. De economische situatie ligt verschillend naargelang er sprake is van industrieel of consumptief afval. De verwijderingskosten spelen hierbij een grote rol. Moeilijker is het, factoren als milieuhygiëne, energie- en grondstoffenpositie, ruimtegebruik, en overwegingen van psychologische/sociale en politieke/strategische aard in de be-

schouwing te betrekken. Vooral op dit punt zal veel afhangen van de rol die de overheid gaat spelen. Al van oudsher zocht men naar mogelijkheden tot hergebruik van afval. In de huidige complexe industriële maatschappij ontstaat evenwel veel meer en gemengder afval dan vroeger, hetgeen op zich hergebruik bemoeilijkt. De beste mogelijkheden blijven altijd liggen aan de produktiekant. In ieder geval is zo vroeg mogelijk scheiden, c.q. zo min mogelijk vermengen geboden. Naast scheidingstechnieken heeft men ook technieken nodig om afvalmaterialen tot weer bruikbare grondstoffen om te vormen. Bij dit laatste moet kwalitatieve achteruitgang van de secundaire grondstof zo min mogelijk optreden en moeten de voordelen van de grotere schaal zo veel mogelijk worden benut. Tenslotte moet men bedenken dat alleen terugwinningspercentages van 50% of meer iets kunnen betekenen voor het beheer van beperkte grondstofvoorraden. Onderscheid moet worden gemaakt tussen anorganische en organische afvalmaterialen. Bij de eerste groep liggen de terugwinningsmogelijkheden (en de kansen op daarbij optredende milieubelasting) veelal gunstiger. Bij ferro- en non-ferrometalen vindt in belangrijke mate terugwinning plaats. De staalfabrikage geschiedt zelfs voor gemiddeld 45% op basis van schroot. Het is vooral de ontwikkeling van grote versnippermachines geweest die mogelijkheden opende, ook voor terugwinning van non-ferrometalen. Door de vaak hoge waarde van deze laatste zijn echter ook andere mogelijkheden lonend of het overwegen waard. In sommige gevallen spelen milieu-overwegingen daarbij een hoofdrol. Bij de fabricage van glas wordt ca. 20% afvalglas gebruikt. Overwegingen van grondstofschaarste spelen hier geen rol, wel milieu- en afvalbeheersproblemen.

Organische afvalmaterialen zijn in principe onderdeel van aardse koolstofkringlopen. In het geval van papier en karton zijn er belangrijke terugwinningsmogelijkheden, die overigens in Nederland al deels worden benut. Toch is hier wel sprake van een belangrijk grondstofprobleem. Technische moeilijkheden voor de terugwinning worden veroorzaakt door chemisch behandelde papiersoorten en door het feit dat de kwaliteit van de papiervezels door het herwinnen gaandeweg terugloopt. Terugwinning van kunststoffen levert over het geheel genomen weinig perspectief, afgezien van bedrijfsafval. Rubberafval (vooral autobanden) bieden wat betere mogelijkheden. Het gemengde afval, voornamelijk afkomstig uit de huishoudens, bevat bruikbare componenten. De gebruiksmogelijkheden zouden sterk toenemen bij gescheiden inzameling. Dit is echter moeilijk te verwezenlijken op permanente basis. Diverse scheidingsprocedures zijn in ontwikkeling. Wellicht biedt scheiding langs droge weg met een windzifmethode mogelijkheden voor Nederland. Introductie op praktische schaal zal sterk afhangen van markteconomische verhoudingen. Compostering van huisvuil is een van oudsher gebruikte, waardevolle techniek. Er doen zich echter afzetproblemen voor, terwijl bovendien het composteerbare gedeelte van het huisvuil afneemt. Verbranding van ge-



mengd afval is een goed bruikbare techniek, die in beperkte mate energie kan opleveren. Een apart probleem vormen grove (sloop)-afval en moeilijk verwerkbaar (milieuvervuilende of gevaarlijke) afvalstoffen. Hergebruiksmogelijkheden zijn hier beperkt (grof afval in wegebouw of grondwerken; chemisch afval soms als grondstof voor andere processen).

#### Hoofdstuk 4. Metalen — Enkele voorbeeldstudies

Algemene kenmerken voor de belangrijke non-ferro metalen (in het bijzonder koper en aluminium) zijn dat het aanbod van ertsen is geconcentreerd in een beperkt aantal landen, dat de produktie kapitaal- en veelal energie-intensief is en dat de vraag conjunctuurgevoelig is. Deze factoren kunnen aanleiding geven tot sterke prijschommelingen (aluminium uitgezonderd). De EEG is sterk afhankelijk van de import van ertsen. Behalve in het geval van aluminium, vertoont het verbruik van non-ferrometalen slechts een matige groei. Dit is het resultaat van diverse, in tegengestelde richtingen werkende factoren.

##### *Tin*

Meer dan de helft van de tinertswinning geschiedt in de Chinees-Maleisisch-Indonesische tingordel. Op het Noordamerikaanse vasteland zijn de bekende economisch winbare voorraden nog toereikend voor ca. 30 jaar; voegt men de potentiële voorraden er bij, dan wordt dit 60-80 jaar.

De produktie van zowel tinerts als tinmetaal vindt thans voor ca. 70% plaats in een beperkt aantal ontwikkelingslanden. Het verbruik ligt echter voor ca. 70% in de westerse industrielanden en Japan. De voornaamste toepassingsgebieden zijn blik, soldeer en brons/messing. De groei in het verbruik ligt laag: het verwachte verbruik in 2000 is minder dan het dubbele van dat in 1970.

Het niveau van hergebruik van tin ligt betrekkelijk laag: ca. 25%. Het kan sterk verbeteren zodra het ont-tinnen van gebruikt blik economisch haalbaar wordt. Het metaal is in een aantal kleinere toepassingen vervangbaar, hetgeen thans ook gebeurt. Daarnaast ontstaan er enkele nieuwe toepassingsgebieden (vooral organotinverbindingen). Selectiever toepassen van tin in de toekomst verdient aanbeveling. De energie-inhoud van tin is laag. Specifieke gegevens hierover zijn echter niet beschikbaar. Er zijn m.b.t. het metaal weinig ongunstige milieu-invloeden bekend.

##### *Lood*

De winning van looderts is niet geconcentreerd in specifieke delen van de wereld. De voornaamste reserves komen voor in de vorm van gemengde (zink-lood-)ertsen. Schaarste aan lood wordt niet direct verwacht; er zijn evenwel weinig gegevens over. De verdeling van de metaalproduktie over de wereld loopt ongeveer parallel met die van de winning. West-Europa importeert echter veel erts.

Over de — bescheiden — mogelijke verdere groei van het verbruik bestaat veel onzekerheid. De voornaamste toepassingen zijn accu's en kabelmateriaal. Vooral in soldeer en — voorlopig — accu's is lood onvervangbaar. Nieuwe toepassingsgebieden liggen in de bescherming tegen ioniserende straling en tegen geluidsoverlast. Het niveau van herwinning ligt boven de 40%. Verdere verhoging is niet eenvoudig.

De energie-inhoud van lood is ca.  $50 \times 10^9$  J/ton. Wat de milieu-invloeden betreft, moet steeds rekening worden gehouden met de giftigheid van lood. Voornaamste probleem is daarbij de — in relatief belang afnemende — toepassing als tetra-(m)ethyllood in de benzine.

##### *Zink*

Het beeld van de ertswinning en de metaalproduktie lijkt op dat van lood. Ook hier moet West-Europa veel erts invoeren. Bij de huidige verbruiksgroei zijn de economisch winbare reserves nog toereikend voor ca. 30 jaar. Neemt men ook de potentiële voorraden in beschouwing, dan komt men op meer dan 100 jaar.

De groei van het zinkverbruik zal bescheiden zijn: 3 à 3,5% per jaar. Belangrijkste toepassingsgebieden zijn: verzinken, spuitgietswerk en messing. Het verzinken is een voorname mogelijkheid tot verlenging van de levensduur van uit staal vervaardigde produkten. In de omvangrijkste toepassingen is het metaal niet of zeer beperkt vervangbaar. Het peil van recirculatie van oud zink-schroot bedraagt 20-25%. Verhoging hiervan lijkt problematisch.

De energie-inhoud van elektrolytisch vervaardigd zink bedraagt ca.  $50 \times 10^9$  J per ton. Dit is even hoog als in het geval van lood, maar het soortelijk gewicht van zink is ca. 2/3 van dat van lood. Toepassing van een thermisch proces kan tot 30% energiebesparing opleveren, maar de kwaliteit van het resulterende metaal is lager. De produktie van het erts en het metaal gaat gepaard met vormen van bodem-, water- en luchtverontreiniging die speciale aandacht behoeven. Ook het verzinken brengt water- en luchtverontreiniging mee, waarvoor aanvullende maatregelen nodig (en ook voorzien) zijn.

##### *Aluminium*

De wereldbauxietreserves zijn geconcentreerd in enkele ontwikkelingslanden in Afrika en Zuid-Amerika, en in Australië en Brazilië. De produktie van het metaal, waarvoor een hoog ontwikkelde technologie en veel elektrische energie nodig is, geschiedt vooral in de geïndustrialiseerde landen. Een deel van deze produktie zal naar het Midden-Oosten verschuiven. Bij de huidige jaarlijkse groei van de vraag (8,5%) zullen de bekende bauxietreserves in ca. 30 jaar zijn uitgeput. Er zijn echter zeer grote reserves aan andere verwerkbaar grondstoffen voor aluminium, zodat geen schaarste dreigt.

Het aluminiumverbruik neemt snel toe in omvang en belang, vooral in de bouw, de transportsector, de elektrotechnische en de metaalindustrie. Het metaal kan als vervanger van een aantal andere metalen (en



eventueel hout, kunststoffen etc.) gaan fungeren. De energie voor de produktie speelt in dit verband een belangrijke rol. In sommige toepassingen (vervoersector) levert aluminium door zijn lichte gewicht energiebesparingen op in de gebruiksfase. Grote duurzaamheid en gemakkelijke onderhoudbaarheid zijn eveneens zeer aantrekkelijke eigenschappen. Naar verwachting zal het Nederlands aluminiumverbruik rond de eeuwwisseling minstens drie maal zo hoog liggen als thans.

Doordat aluminium qua grootscheepse toepassing een betrekkelijk nieuw materiaal is, ligt het terugwinningsniveau nog laag (ca. 20% in Nederland); dit kan in de toekomst stijgen tot meer dan 50%. De energie-inhoud van primair aluminium is ca.  $230 \times 10^9 \text{ J}$  per ton. Mogelijk kan hierop tot 30% worden bespaard door toepassing van andere processen. Recirculeren kost slechts 3 à 5% van de genoemde hoeveelheid energie. De produktie van erts en metaal levert vormen van bodem- en luchtverontreiniging op, waartegen maatregelen nodig zijn. De gevaarlijkste stoffen die kunnen vrijkomen zijn de fluorides.

## Hoofdstuk 5. Enkele voorbeeldstudies van bouwmaterialen

Bouwen is een dienstverlening aan de maatschappij. Langs de weg van vertaling van wensen en behoeften in plannen, gebouwen en onderdelen daarvan heeft dit zijn invloed op de gebruikte materialen. Een belangrijke ontwikkeling is de groeiende toepassing van kunststoffen voor het (pre-)fabriceren van componenten. Coördinatie en verbetering van normen is aan de orde, evenals het meer toepassen van niet-destructief onderzoek. Kunststoffen en aluminium vervangen andere materialen; de eigenschappen van beton worden verder verbeterd. Men tracht de energie- en waterconsumptie bij de produktie van bouwmaterialen te verminderen. Er wordt gestreefd naar het gebruik van materialen die leiden tot langere levensduur en gemakkelijke onderhoudbaarheid. Composietmaterialen gaan een grotere rol spelen, evenals — voor bepaalde toepassingen — hout.

### Beton

Beton wordt samengesteld uit cement, toeslagmaterialen, water en — eventueel — wapeningsstaal. De twee belangrijke cementsoorten zijn portland- en hoogovencement. Voor de laatste is ca. 65% minder mergel nodig; een grondstof die schaars kan worden als gevolg van milieuproblemen bij de winning. Bovendien is voor fabricage en transport van dit type cement ca. 50% minder energie nodig, terwijl ook de erbij optredende milieubelasting aanzienlijk minder is. De energie-inhoud van in Nederland vervaardigde cement varieert van  $2,5$  tot  $7,5 \times 10^9 \text{ J/ton}$ . De milieubelasting bij de fabricage omvat stof en luchtverontreiniging.

De toeslagmaterialen zand en grind zullen in de toekomst meer op de Noordzeebodem moeten worden gewonnen i.v.m. toenemende milieu- en ruimte-pro-

blemen bij de winning te land. De energie-inhoud ervan bedraagt  $100$  tot  $150 \times 10^6 \text{ J/ton}$ . Geëxpandeerde leesteen als licht toeslagmateriaal is niet schaars. De energie-inhoud is ca.  $4 \times 10^9 \text{ J/ton}$ ; de milieubelasting bij de vervaardiging omvat stof en zwaveldioxyde. Het benodigde water vergt relatief weinig energie.

Voor het maken van betonspecie uit de genoemde grondstoffen is nog ca.  $60 \times 10^6 \text{ J/ton}$  aan energie nodig, terwijl hierbij stof vrijkomt. Bij gebruik van wapeningsstaal moet voorts worden gerekend met de energie-inhoud daarvan:  $23 \times 10^9 \text{ J/ton}$  (voorspanstaal:  $28,5 \times 10^9 \text{ J/ton}$ ). Tevens leidt de fabricage van dit staal tot een aantal vormen van bodem-, water- en luchtvervuiling. Hergebruik van beton biedt beperkte mogelijkheden, die kunnen worden vergroot door op standaard-bouwelementen over te gaan en door nog te ontwikkelen methoden om beton en wapeningsstaal te scheiden.

Met behulp van gedetailleerde kentallen kan men van diverse bouwelementen de bijbehorende energie-inhoud en milieubelasting bepalen. Globale of samenvattende gegevens hebben hier minder zin, omdat een betonnen bouwelement uit een selectie van de genoemde grondstoffen (in variabele dosering) kan worden opgebouwd.

### Metselbaksteen

Er worden drie typen gezien: handvorm-, machinale vormbak- en geperforeerde strengpersstenen. De voornaamste grondstof is klei. Regionaal kunnen bij de winning van klei wel problemen optreden; landelijke schaarste wordt niet gevreesd. Alternatieve grondstoffen zijn mijnsteen en — voor gele baksteen — kalk. Als concurrent van de baksteen fungeert vooral gietbeton en daarnaast ook kalkzandsteen.

De energie-inhoud van bakstenen hangt vooral af van het gebruikte type bak-oven en daarnaast ook wel van het type steen. Zij loopt uiteen van  $6$  tot  $15 \times 10^9 \text{ J}$  per  $1.000$  stuks (ca.  $3,5$  tot  $9,5 \times 10^9 \text{ J/ton}$ ). Door toepassing van het tunneloven- of het ringovenproces, door natuurlijke droging te hanteren en door bij bestaande processen meer aandacht aan efficiënt energieverbruik te besteden, kunnen belangrijke energiebesparingen worden bereikt. De energie-inhoud van kalkzandsteen bedraagt slechts ca.  $2,5 \times 10^9 \text{ J/1.000 stuks}$ .

Het fabriceren van baksteen geeft aanleiding tot bodem- en luchtverontreiniging: uitval, stof, kooldioxyde, zwaveldioxyde en fluorverbindingen. Hergebruik van metselwerk zou — net als in het geval van beton — meer mogelijkheden bieden ingeval van gebruik van standaard-elementen.

Bij wijze van voorbeeld is de energie-inhoud van een (grind-, c.q. licht-)betonnen en een metselwerk-gevel-element berekend. Er zijn gebruikelijke samenstellingen gekozen. Het grindbetonnen element heeft een ca. 30% lagere energie-inhoud dan de beide andere.

### Hout

Hout is kweekbaar, komt zeer verspreid op aarde voor en heeft door zijn bijzondere structuur ook bijzondere



toepassingsmogelijkheden. Bij verstandig beheer van de wereldhoutbestanden kan het materiaal in de toekomst bepaalde schaarsere materialen vervangen. In deze bijdrage wordt vooral de toepassing als bouw-materiaal gezien. Voor gezaagd hout behoeft — in tegenstelling met papierhout — geen structureel tekort in de eerstkomende decennia te worden gevreesd. Nederland is echter wel in sterke mate op import aangewezen. In de afgelopen periode heeft hout in de bouw veel terrein verloren. Thans lijkt — mede door technische verbeteringen — het tij te keren (houtskeletbouw, doe-het-zelfsector). De voornaamste concurrenten zijn staal, aluminium en kunststoffen. Over de energie-inhoud van hout is nog te weinig bekend<sup>1</sup>; genoemd wordt ca.  $1 \times 10^9$  J/m<sup>3</sup>. Binnen bepaalde grenzen zou hout ook bij de energievoorziening een rol kunnen spelen. Bij hout behoren vele milieu-aspecten, in de eerste plaats m.b.t. bosbeheer, maar ook verder in de verweringsketen.

## Hoofdstuk 6. Een tweetal produktsoorten

De twee voorbeeldstudies maken enkele overwegingen omtrent ontwerpeisen, levensduur, rationeel materiaalgebruik, hergebruik en vervanging zichtbaar in de praktijk, waarbij het gaat om het voldoen aan behoeften.

### *Materiaalverbruik voor het Nederlandse telefoonnet*

Het belangrijkste materiaalverbruik vindt plaats in de vorm van koper, lood en — voor de telefoongidsen — papier. Relatief t.o.v. het nationale verbruik zijn de hoeveelheden bescheiden. Er kan nog op worden bespaard, bijv. door de koperdikte in abonneekabels terug te brengen of de transmissie via koperkabels te vervangen door optische transmissie via glaskabels. Ook kan men per gids minder netten opnemen of een zodanig informatiesysteem introduceren dat de telefoongids overbodig wordt.

De levensduur van de systeemonderdelen loopt nogal uiteen: van 1 jaar voor de gids via ca. 30 jaar voor de centrale apparatuur tot 60 en meer jaren voor de kabels. Deze verschillen leveren bepaalde belemmeringen op voor het kwalitatief op peil houden van het systeem. De afgedankte materialen worden over het algemeen via de schroothandel gerecirculeerd; ook het papier van de oude gidsen komt ten dele wel bij de oud-papierhandel terecht.

Het energieverbruik van het telefoonsysteem kan weliswaar — door nieuwe ontwikkelingen als de beeldtelefoon — sterk toenemen, maar blijft nationaal gezien dan toch zeer gering. Ook de belasting van het milieu is zeer klein. Het telefoonsysteem is dus een mogelijkheid voor gerichte groei binnen een maatschappij die — door het bereiken van grenzen — van een algemene, ongedifferentieerde groei moet afzien.

### *Toepassing van materialen in eengezinshuizen*

Voortgezette produktontwikkeling op het gebied van standaard-bouwelementen biedt mogelijkheden tot het beter inbrengen van schaarse-, energie- en milieu-overwegingen in de bouw. De woningbouw zal zich in de toekomst minder op een hoge produktie en meer op differentiatie, renovatie en aanpassing gaan richten.

De energie-inhoud van een woning varieert met het toegepaste bouwsysteem van 100 tot  $450 \times 10^9$  J. De houtbouwwooning ligt in dit opzicht aanzienlijk gunstiger dan de andere onderzochte typen. Houtbouw wordt in Nederland echter nog nauwelijks toegepast. De invoering van bouwmaterialen met een lagere energie-inhoud is een complexe opgave, welke moet worden gezien in samenhang met het gehele functioneren van de woning. Een andere manier om energie — en grondstoffen — te besparen is het verhogen van de duurzaamheid van huizen. Ook dit heeft veel implicaties. Het leeuwedeel van de mogelijke energiebesparingen moet overigens worden gezocht in de gebruiksfase van de woning.

Over het algemeen zijn de in de bouw gebruikte materialen niet schaars. Voorzover dit wel het geval is, kunnen vervangingen gemakkelijk worden gevonden. De milieu-implicaties bij de woningbouw zijn beperkt; het gaat hier bovendien om de vooropgezette bedoeling, het milieu te veranderen. Gebouwen en woningen hebben een lange levensduur (50-200 jaar). De kostbaarste materialen (vooral metalen) worden gerecirculeerd. Puin biedt beperkte hergebruiksmogelijkheden. Verdere studie en onderzoek kunnen nieuwe mogelijkheden opleveren, bijv. t.a.v. hergebruik van kunststoffen, wapeningsstaal en hout.

<sup>1</sup>) Een recente aanzet hiertoe wordt echter wel gevormd door: D.E. Earl; Forest Energy and Economic Development 1975, Clarendon Press, Oxford.



## Hoofdstuk 8. Schaarste, economische politiek en economisch bestel

door prof. dr. P. Kuin

### 1. Gevolgtrekkingen en probleemgebieden

Er is een oud verhaal van een heer die op zijn landgoed een tuinman zag staan met een paar jonge eikjes onder zijn arm.

„Hoe langt duurt het voor ze zo groot zijn als die daar?“, vroeg hij.

„Dat zal wel zo'n honderd jaar zijn, mijnheer“.

„Nou kerel, maak dan een beetje voort, dan hebben wij toch geen tijd te verliezen!“

Deze anecdote kwam mij in de gedachte toen ik in De Ingenieur een citaat uit een Amerikaans rapport las, waaruit bleek dat de totale tijd, nodig voor de gang van wetenschappelijke ontdekking tot een gevestigde positie op de markt doorgaans varieert van minimaal 50-60 jaar tot maximaal 100-150 jaar [1]. De variatie is afhankelijk van de aard van het produkt of de procesvervanging. Oorlogen, economische bloeiperioden, overheidsingrijpen e.d. hebben volgens de schrijvers van het rapport opvallend weinig effect op deze substitutietijden. Hieruit worden de volgende conclusies getrokken.

1. Onderzoek en ontwikkeling is geen antwoord op onmiddellijke technische problemen; die moeten worden opgelost door anders en beter gebruiken van de bestaande kennis en kunde.
2. Problemen die binnen 10 of 20 jaar urgent kunnen worden, zullen doorgaans moeten worden opgelost door ontwikkeling op basis van wetenschappelijke kennis die er nu al is.
3. Voortdurende investering in onderzoek is essentieel voor het opbouwen van de kennis waarmee de technisch-maatschappelijke problemen van over 20 en meer jaren moeten worden opgelost.
4. Pogingen om technisch-maatschappelijke problemen op te lossen met strakke, inflexibele maatregelen van wettelijke en bestuurlijke aard, hebben een slechte kans van slagen. Uitzondering vormt wellicht het tegengaan van rechtstreekse vergiftiging door vormen van vervuiling. Meer mogelijkheden liggen er binnen een lange-termijnrelatie op basis van wederzijds begrip tussen de industrie en de maatschappij, met de overheid als intermediair.

Dit laatste lijkt mij een typisch Amerikaanse opvatting. Wij Europeanen zijn niet zo bang voor het toekennen van een zelfstandige, actieve rol aan de overheid, maar wij moeten daarbij wel de vermanende vraag van Alfred Marshall voor ogen houden: „Do you mean government that is all-knowing and all-wise, or do you mean government as it is?“ [2].

Er wordt in verschillende kringen van ons volk nog wel eens met een zekere wijding over „de Overheid“ gesproken. Het woord leent er zich ook voor. „De regering“ of „het departement“ klinkt al veel nuchterder. Schrijver dezes, die tot zijn veertigste jaar in overheidsdienst heeft gewerkt, weet maar al te goed dat de term de overheid in feite vaak staat voor één of meer hoofdambtenaren, die van allerlei concrete zaken waarvoor zij zijn gesteld eerst het één en ander te weten moeten zien te komen van deskundigen uit het bedrijfsleven of andere maatschappelijke organen. Dat neemt niet weg dat de ambtenaar zijn eigen benadering en verantwoordelijkheid heeft, afgeleid uit wat de regering van de dag als het algemeen belang beschouwt. Ook heeft hij de plicht om bestaande voorschriften uit te voeren en — eventueel — de mogelijkheid om nieuwe uit te lokken.

Maar de overheidsdienaar is wel een menselijke figuur met de gewone beperkingen die wij allen kennen; wonderen mogen van hem niet worden verwacht, evenmin als algoedheid en alwijsheid.

Deze inleidende beschouwing leek nodig om te verhinderen dat wij bij elke moeilijkheid om op bepaald gebied tot een afdoende oplossing te komen, de overheid als deus ex machina zouden oproepen. Dat er voor haar toch wel een belangrijke taak is weggelegd, zal in het volgende nog blijken.

De voorgaande hoofdstukken hebben zich in belangrijke mate bezig gehouden met inventariseren en vooruitzien. Wat de fysieke beschikbaarheid van een aantal materialen betreft, levert de inventarisatie enkele voor de leek tot op zekere hoogte geruststellende conclusies op.

1. Sommige belangrijke grondstoffen zijn kweekbaar en kunnen dus bij wijs beleid ad infinitum worden gereproduceerd.
2. Andere, voornamelijk minerale grondstoffen, zijn nog in bijna onbeperkte hoeveelheden aanwezig.
3. Weer andere kunnen met aanwending van extra kosten uit tot nu toe niet rendabele bronnen worden voortgebracht.
4. Er is nog een belangrijk potentieel in tot nu toe niet aangeboorde bronnen van grondstoffen en energie gelegen in de aardkorst, de oceanen, de dampkring en het zonnestelsel.
5. De mogelijkheden tot materiaal- en energiebesparing, gelegen in thans reeds bekende technieken, met name de informatietechnologie, zijn vermoedelijk nog lang niet uitgeput.
6. Er is vrij zeker ook nog een belangrijk potentieel gelegen in het vernuft van de komende generaties.



Wij moeten niet trachten, al hun problemen eens en voorgoed op te lossen. Daarvoor ontbreekt ons niet alleen de kennis maar ook de fantasie.

Er is wel eens op gewezen dat toekomstvoorspellingen in de jaren dertig, die ouderen onder ons zich nog zeer goed herinneren, geen plaats inruimen voor het straalvliegtuig, de ruimtevaart, gebruik van satellieten en zelfs niet voor de elektronische informatieverwerking. Dit alles is pas in de laatste veertig jaar boven de horizon gekomen, hoewel de wetenschappelijke aanzetten ervoor natuurlijk al eerder waren gegeven. Waarom zou deze stroom van inventiviteit nu plotseling tot een eind zijn gekomen?

Tegenover dit alles staan echter ook wel degelijk verontrustende bevindingen. In het licht van de rijpingsperiode van minimaal 50-60, maximaal 100-150 jaar, die de Amerikaanse studiegroep constateerde, is het wel ontstellend, in Hoofdstuk 4 van ons rapport te lezen dat bij de huidige trend in het wereld-verbruikspatroon de aanwezige, thans economisch exploiteerbare ertsvoorraden van tin, lood, zink en — zelfs — aluminium toereikend zijn voor ongeveer 25-30 jaar. Het is zelfs maar een schrale troost wanneer daaraan wordt toegevoegd dat het in de beschouwing betrekken van de momenteel nog niet economisch exploiteerbare voorraden en de vermoedelijke (maar nog niet aange-toonde) reserves de geschatte levensduur van de wereldkwantiteiten van bijv. tin en zink tot respectievelijk ca. 70 en ca. 110 jaar vergroot. Zo iets schrikt ons aan de ene kant op, zodat wij haastig met onze eikjes naar het plantgat lopen, maar aan de andere kant vervult de gedachte aan de lange rijpingsperiode ons met een zekere moedeloosheid.

Er zijn meer verontrustende dingen, zoals het besef dat bijna alles wat wij kunnen doen om potentiële bronnen actueel te maken (armere ertsen gebruiken, afval sorteren en hercirculeren e.d.) energie kost. Over de mogelijkheden voor de toekomstige energievoorziening en de daarvoor beschikbare bronnen lopen de meningen zeer ver uiteen, maar zeker lijkt dat een verder groeiende behoefte aan energie onvermijdelijk is.

Een andere, tot nu toe niet diepgaand bestudeerde omstandigheid is dat met stijgende inkomens de arbeidskosten omhooggaan. Dit betekent dat voor tal van werkzaamheden die uit een oogpunt van materiaalhuishouding gewenst zouden zijn, zoals sorteren van afval of met de hand vervaardigen en bewerken van producten, noodgedwongen op mechanische methoden wordt overgegaan. Deze vergden tot nu toe per saldo altijd meer materialen en — vooral — meer energie. Een paradoxale situatie: de mens prijst zijn arbeid tegenover de natuur uit de markt, krijgt gedwongen of vrijwillig veel meer vrije tijd, maar schept daarmee nieuwe schaarste die op den duur de natuur-gaven weer duurder kan maken dan de equivalente arbeid.

Wat de voorziening betreft, zijn er naast de fysieke vindbaarheid, het toenemende energieverbruik en de stijgende arbeidskosten nog andere onzekere aspecten. Met name de industrielanden vragen zich af of zij nog wel verzekerd kunnen zijn van de aanvoer van grond- en hulpstoffen uit ontwikkelingslanden, waar naast politieke instabiliteit in toenemende mate weerstand ontstaat tegen de rol van „blote” grondstoffenleverancier. Er is een sterke neiging om de bewerking van deze grondstoffen naar de vindplaatsen toe te brengen, vaak tegen bedrijfseconomische overwegingen in, maar dan gesteund door heffingen, toeslagen en restricties van overheidswege. Ook het poneren van de soevereine rechten op de bodemschatten door de staten onder wier grondgebied zij zich bevinden, kan een beletsel opleveren voor het vrije verkeer.

Van principieel andere aard, maar ook weer met korte- en lange termijnaspecten, is het vraagstuk van de milieuvervuiling. Dit wordt niet veroorzaakt door een tekort maar door een teveel, namelijk aan schadelijke of hinderlijke stoffen („dirt is matter in the wrong places”).

Alles te zamen reden genoeg om ons over het voorzi-ningsaspect zorgen te maken. Omgezet in concrete activiteit leiden deze zorgen tot:

1. besparing;
2. hergebruik;
3. substitutie.

Al deze activiteiten bezitten een korte- en een lange-termijnaspect. Op korte termijn kan met bestaande kennis en snel te ontwikkelen methoden verlichting in eventuele nijpende situaties worden gebracht. Op lange termijn kan onderzoek worden gedaan naar thans nog niet bekende mogelijkheden.

Wij zullen in het hierna volgende nagaan wat er in dit opzicht in Nederland kan worden gedaan, uitgaande van onze internationale positie die een autarkisch, onafhankelijk beleid onmogelijk maakt, en van onze gemengde economische orde. Deze laatste wordt gekenmerkt door een evenwicht tussen particuliere en overheidsbedrijven in eigendom en gebruik van het produktieapparaat en evenzeer door een evenwicht tussen een veelheid van ondernemersbeslissingen aan de ene kant en een mate van overheidsbesturing aan de andere. Deze evenwichten kunnen wel verschuiven, zoals in de laatste jaren duidelijk is gebleken, maar het moeten evenwichten blijven, anders staan wij voor een periode van grondig verstoorde verhoudingen, waarin constructieve maatregelen die op wederzijds vertrouwen berusten, niet goed mogelijk zijn. Laat ons aan deze constructieve maatregelen thans aandacht besteden. Daarbij zal het niet zozeer gaan om individuele maatregelen of bepaalde bedrijfstakken, als wel om de institutionele voorzieningen die wij in Nederland zouden kunnen treffen om groeiende spanningen op het gebied van de materialenvoorziening tijdig te onderkennen en zo nodig te vermindere-n.



## 2. Overwegingen voor een beleid

### *Grondstoffenbalans*

Eén van de dingen die in Nederland zouden moeten worden nagestreefd, is het opstellen van een grondstoffenbalans voor het land als geheel. M.a.w., men zou een overzicht moeten opstellen van de verschillende grondstoffen die ons land produceert en importeert, de manier waarop zij worden verwerkt en de bestemming van de daaruit vervaardigde producten, voor eigen gebruik of voor export. Dit lijkt een logisch begin, net zoals sommige landen menen dat zij hun industrialisatie moeten beginnen met een staalindustrie. Maar het is de vraag of het in de volgorde van de tijd ook de dringendste opgave is. Een zuiver statistisch overzicht, met de geschatte of waargenomen hoeveelheden netjes ingevuld in de desbetreffende kolommen, behoeft ook op zichzelf nog niet zoveel te leren. De herkenningswaarde ervan gaat misschien niet verder dan „ach zo“. Belangrijker is dat men de knelpunten en de economische verbanden onderkent. De knelpunten kunnen liggen in betrekkelijk kleine quanta van (voorlopig) onvervangbare materialen, waarvan een hele bedrijfstak afhankelijk is. Economisch verband wordt aangetoond wanneer men bijv. de toegevoegde waarde kent en de werkgelegenheid die daarmee is verbonden. De kwetsbaarheid wordt mede beïnvloed door de herkomst van de materialen. Hier spelen kwalitatieve gegevens een rol, zoals de mate van kartellering, de politieke toestand en het eventueel toenemend eigen gebruik in het land van herkomst of een andere richting van de afzetstroom, bijv. naar het communistische blok. Een zuiver statistisch beeld heeft dus een beperkte waarde; het moet op diverse manieren worden aangevuld en geannoteerd.

Dit neemt niet weg dat het toch wel moet worden samengesteld, maar dan in ieder geval in de vorm van een systeembeeld. Men kan dan schatten welke gevolgen bepaalde veranderingen in het volume van de aanvoer of in de prijs zullen hebben voor de diverse geledingen van de verwerkende bedrijfstakken en voor de uiteindelijke afnemers (Nederlandse consumenten of exporthandel).

Wie zou zo'n beeld moeten samenstellen? De beste plaats is vermoedelijk het Centraal Bureau voor de Statistiek, ook al omdat dit het recht heeft om van het bedrijfsleven informatie te verlangen. Maar het is duidelijk dat het Bureau zonder de actieve en welwillende medewerking van het bedrijfsleven deze taak nooit zal kunnen vervullen. Met name de kwantitatieve en kwalitatieve verbanden zijn niet in abstracto vast te stellen. Ook voor het oordeel over de toestand in de landen van herkomst zal men grotendeels moeten afgaan op het oordeel van degenen die daar regelmatig mee te maken hebben. Daarnaast is ondersteuning met wetenschappelijk onderzoek vanuit universitaire of andere instituten vereist, omdat die op de hoogte zijn van mogelijkheden tot substitutie.

Een eerste aanzet werd voor dit alles in 1974 gegeven in een adviesaanvraag van de Minister van Economische Zaken aan de Sociaal Economische Raad over het grondstoffenbeleid [3]. Voorlopig zal de Raad, of zijn desbetreffende commissie, zich nog wel meer bezig houden met inventarisatie en prognose dan met concreet beleid. Beleid van overheidswege komt in ons economisch stelsel pas echt aan de orde wanneer het ergens knijpt. Toch is er, ook op korte termijn, nog wel iets meer mogelijk dan lezen, rekenen en schrijven, de drie leervakken van de lagere school die door alle raden en commissies ijverig worden beoefend.

### *Institutionele voorzieningen*

Anders dan in de filosofie, wordt in de economie kennis relevanter naarmate zij specifiek is. Een algemene materialenstudie is daarom niet nodig om eventuele knelpunten in voldoende mate te voorzien en op te vangen. De nauwe samenwerking tussen bestuur, onderzoek en praktijk die in het voorafgaande in grote trekken werd aanbevolen, dient ook per bedrijfstak te worden bevorderd. Ook hiervoor zijn reeds aanzetten gegeven. Men stuit daarbij echter op de moeilijkheid dat ondernemingen in dezelfde bedrijfstak niet alleen collega's, maar ook concurrenten zijn. In Nederland leidt dit — evenals in de meeste andere Europese landen — nogal eens tot een zekere geheimzinnigheid omtrent datgene waarmee men bezig is. Het lijkt mij toe dat deze geheimzinnigheid, daar waar zij nog bestaat, terwille van een toekomst van blijvende voorziening en werkgelegenheid zal moeten worden doorbroken, met uitzondering van zeer bijzondere projecten waarmee een onderneming mag hopen een voor-sprong te verkrijgen. Openheid is vooral daar van belang waar knelpunten reeds in een betrekkelijk nabije toekomst kunnen worden verwacht.

In het kader van de economische verdedigingsvoorbereiding zijn vroeger voor een aantal bedrijfstakken rijksbureaus opgericht. Deze hadden tot taak het inventariseren, mobiliseren en rantsoeneren van materialen. Het zou misschien van belang zijn, daar waar materiaal-voorzieningsproblemen in een afzienbare toekomst reëel kunnen worden, deze organisatie weer tot enig leven te brengen. Branche-organisaties, onderzoekorganen en overheid zouden daarvan de componenten moeten zijn, terwijl het in deze tijd ook zou passen om een plaats in te ruimen voor vertegenwoordigers van de desbetreffende vakbonden. Het is niet de bedoeling, hier de destijds door ons volk afge-geven publiekrechtelijke bedrijfsorganisatie voor de industrie langs een achterdeur weer in te voeren.

Verordenende bevoegdheid lijkt voorlopig niet nodig en de taakopdracht zou moeten worden beperkt tot twee aspecten: de voorziening met materialen en de lozing, respectievelijk verwerking van afvalstoffen. Het is duidelijk dat alleen de overheid op beide gebieden bindende voorschriften kan geven als het nodig is, maar om ter zake en effectief te zijn zullen deze



voorschriften moeten berusten op het deskundig advies van hen die in de bedrijven werken.

In de periode 1939-1946 functioneerde in Nederland ook een rijksbureau voor oude materialen en afvalstoffen. Aan een opvolger daarvan zal waarschijnlijk binnenkort behoefte worden gevoeld, naarmate de noodzaak van hercirculatie zich opdringt. Daarnaast zou, in het licht van de voorafgaande hoofdstukken, met name een voorzichtige herleving van het rijksbureau voor non-ferro metalen kunnen worden overwogen.

#### *Marktmechanisme en prijzen*

"Depend upon it, Sir", schreef de beroemde Dr. Samuel Johnson aan zijn vriend Boswell in 1777, "when a man knows that he is to be hanged in a fortnight, it concentrates his mind wonderfully". Toegespast op ons probleem: niets scherpt het vernuft van de industrieel zo zeer als het vooruitzicht dat één van zijn materialen binnenkort niet meer te krijgen is. Het is daarom onjuist, te streven naar stabilisatie van grondstoffenprijzen als dit betekent dat men de marktsignalen verhindert, zich te manifesteren. Prijsstijging is onmisbaar als aanduiding van komende acute schaarste. Ook prijsdaling heeft een nuttige functie, namelijk om het verbruik van een blijkbaar overvloedig gewas of materiaal goed te stimuleren. Wie de prijzen verhindert te dalen, schept voorraden die gemakkelijk onhanteerbaar en onverkoopbaar kunnen worden (de boterberg, de vleesberg of de wijnplas van de E.E.G.). Maar een prijsstijging verhinderen is nog veel gevaarlijker. Daarmee brengt men een dreigend tekort zeer snel naderbij.

Natuurlijk zijn er goederen van zodanig algemeen belang, ook voor minder koopkrachtige gezinnen, dat „rationing by the purse” sociaal ontoelaatbaar wordt. In dat geval moet regelrechte rantsoenering door de overheid, met behulp van de bedrijfsgenoten, worden ingevoerd. Maar dit mag alleen een uiterste middel zijn. Waar men het niet of nog niet toepast, dient men de markt zijn werk te laten doen. Een hoge prijs spoort niet alleen aan tot zuinigheid in het verbruik, maar helpt ook om overal vandaan actuele en potentiële aanvoer te mobiliseren.

De normale termijnmarkt heeft voor een aantal grondstoffen de nuttige functie dat zij door een stijging van de „toekomstige” prijzen (huidige prijzen voor toekomstige levering) de gebruiker waarschuwt dat er schaarste op handen is. Zelfs de speculatie die bij velen in een kwaad gerucht staat, speelt een in wezen nuttige rol. De speculant anticipeert op verwachte prijsstijgingen of -dalingen en maakt daardoor de schommelingen geleidelijker en vloeiender (hoewel qua „uitslag” misschien iets groter) dan zij anders zouden zijn.

#### *Het aanpakken van besparing en van substitutie*

Schaarste kan tot uiting komen in blijvend zeer hoge

prijzen, rantsoenering van overheidswege of volstrekt ontbrekend aanbod. Gesteld nu, alle deskundigen komen tot de conclusie dat er voor bepaalde materialen een structurele schaarste dreigt, wie zijn dan degenen die hieruit praktische conclusies kunnen trekken?

Het voor de hand liggende antwoord van de industrieel is besparing en substitutie. Dit moet echter technisch mogelijk zijn, met behoud van de functie van het artikel in kwestie en deze technische mogelijkheid kan niet altijd van de ene dag op de andere worden geïmproviseerd. Terecht is in één van de voorgaande hoofdstukken gewezen op de rol van de ontwerper in het bedrijfsleven. Als deze tijdig de nodige signalen heeft ontvangen, kan hij zijn werk in de loop van de jaren daarop instellen. Maar, zo is opgemerkt, ook het kunnen van de ontwerper moet worden aangekweekt, vandaar dat men eigenlijk al in het stadium van het technisch onderwijs moet beginnen. Nu is bij wijze van boutade wel eens gezegd dat een docent iemand is die doorgeeft wat hij twintig jaar geleden heeft geleerd van een leermeester, wiens inzichten twintig jaar daarvoor waren gevormd en dat wel ten behoeve van een leerling die de zaak twintig jaar later in de praktijk zal brengen. Deze boutade is uiteraard hoogst onbillijk, maar de kern van waarheid is dat docenten in blijvend contact moeten staan met degenen die in academisch onderzoek en bedrijfsleven bezig zijn, de grenzen van het menselijk kennen en kunnen verder achteruit te dringen.

Behalve de ontwerper en de onderzoeker heeft ook de technische verkoper zijn rol in dit geheel te spelen. Fabrikaten worden immers niet om hun samenstelling, hun fysische en chemische eigenschappen gevraagd, maar om de functie die zij bij de gebruiker moeten vervullen. Het is van groot belang dat degenen die de behoeften van de gebruiker uit dagelijkse waarneming kennen, deze kennis doorgeven aan het team dat met feitelijke en mogelijke substitutie bezig is.

#### *Het kostenvraagstuk bij hergebruik*

Terugwinning en hergebruik vinden in sommige bedrijfstakken op bedrijfs-economische basis reeds thans plaats. Wij denken vooral aan schroot en oud papier. Er is in de voorgaande hoofdstukken op gewezen dat er veel meer mogelijk zou zijn, mits de kosten daarvoor konden worden opgebracht. Of dit gerechtvaardigd zou zijn, dient systematisch te worden onderzocht. De indruk bestaat dat er, mede door de geweldige concurrentie m.b.t. verpakkingen die er tussen fabrikanten van niet-duurzame verbruiksartikelen bestaat, maar ook door de hoeveelheid kranten, nieuws- en advertentiebladen, belangrijke hoeveelheden papier verloren gaan die voor hergebruik in aanmerking zouden kunnen komen. Op korte termijn duiden de marktsignalen daar echter niet op. Toen de opkopers voor oude kranten 10 cent per kg. boden, haalden schoolkinderen ijverig elk pakje op. Nu de prijs tot 2 cent is gedaald, gaan de kranten in de vuilnisbak. Op korte termijn gezien begrijpelijk, maar men kan zich



toch voorstellen dat er aanzienlijke hoeveelheden oude materialen worden afgedankt, waarvan de hercirculatie in het licht van de lange termijn gewenst zou zijn, hetzij om fundamentele schaarsteproblemen te helpen oplossen, hetzij om de overlast van afvalstoffen (glas bijv.) te verminderen. Daarom is het van belang, daarmee nu reeds te experimenteren, ook al brengt de markt de daarvoor benodigde kosten nog niet op.

Hier lijkt een taak te liggen voor overheid en bedrijfsleven gezamenlijk. Beide zouden zich moeten inspannen om de minst kostbare oplossing voor deze problemen te vinden; beide zouden zich eventueel ook financiële offers moeten getroosten om deze oplossing te realiseren. Investeringshulp voor hercirculatie-fabrieken, premies voor systematisch en gesorteerd inzamelen moeten mogelijk worden gemaakt voor bedrijfstakken waar het schaarsteprobleem boven de horizon komt of de overlast van afvalstoffen te groot wordt. Hiervoor dient het marktmechanisme te worden aangevuld met bepaalde heffingen en toeslagen, terwijl ook geld moet worden uitgegeven voor doeltreffende voorlichting en propaganda ter zake.

### 3. Het verband met de economische orde

In het voorgaande hebben wij onze economische orde aangeduid als een bestel waarin een zeker evenwicht bestaat tussen een veelheid van ondernemersbeslissingen aan de ene kant en een mate van overheidsbesturing aan de andere. Wij moeten dit iets nader concretiseren om te kunnen nagaan in hoeverre maatregelen tot oplossing van grondstoffen- en milieukwesties inbreuk zouden kunnen maken op de economische orde zoals wij die kennen, eventueel zelfs een ander type economische orde zouden kunnen inluiden.

De componenten van onze *bestaande* orde zijn dan:

- een algemeen kader van economische wetgeving en bestuur, gesteld en bewaakt door de overheid;
- daarbinnen een overgroot aandeel van de particuliere onderneming in de beslissingen over al dan niet aanwenden van de produktiefactoren in bepaalde richtingen — met name op het gebied van investeringen, keuze van produkten en processen en van materialen en markten;
- een betrekkelijk bescheiden directe deelneming van de staat en de lagere organen aan de produktie van goederen en diensten, hoofdzakelijk door middel van openbare nutsbedrijven;
- individuele wedijver tussen ondernemingen — qua prijzen en prestaties — zowel op inkoop- als op verkoopmarkten;
- bedrijfstaksgewijze representatie van gezamenlijke belangen tegenover overheid en publiek, maar geen bedrijfstaksgewijze beslissingen;
- vrijheid van beroepskeuze en inkomensbesteding

(na betaling van belasting) voor de individuele burger.

Overgang naar een ander soort economische orde kan worden teweeggebracht door:

- aanzienlijke verzwaring en verstrakking van het wetgevende en bestuurlijke kader;
- aanzienlijke uitbreiding van de directe deelneming door de overheid aan de produktie van goederen en diensten;
- vermindering van de vrijheid van beroepskeuze en inkomensbesteding door de individuele burger.

Deze veranderingen gaan in de richting van een centraal geleide of etatistische huishouding, zoals die in een aantal communistische landen bestaat.

Ook is denkbaar een vèrgaande vervanging van concurrentie tussen individuele ondernemingen door samenwerking en besluitvorming per bedrijfstak. In dat geval wordt een corporatieve maatschappij (bij sterke participatie door de overheid en delegatie van bestuursmacht: een corporatieve staat) ingeluid.

In hoeverre werken nu de hiervoor besproken maatregelen op het gebied van beheer van de materialenhuishouding in de richting van een andere economische orde? Om deze vraag te beantwoorden moeten wij, dunkt mij, onderscheid maken tussen milieubescherming en opvangen van schaarste.

#### *Milieubescherming- „normaal“*

Ter bescherming van het milieu zijn *bindende* voorschriften van de overheid nodig. Dit niet alleen ter verzekering van een juiste naleving, maar ook ter voorkoming van oneerlijke concurrentie. Milieubeschermden voorschriften kosten altijd geld, zowel voor blijvende investeringen, als ook voor lopende uitgaven. De minder consciëntieuze concurrent die zich dergelijke uitgaven bespaart, kan eventueel — niet opvallend tussen hetgeen de anderen wèl doen — deze anderen door lagere kostprijzen onderbieden.

Het bindende overheidsvoorschrift zal in de regel wel moeten berusten op adviezen van deskundigen, waaronder die van het bedrijfsleven. Het kan namelijk nogal diep ingrijpen in de produktiemethoden en de kostenstructuur van de bedrijven waarop het betrekking heeft. Sommige oplossingen zijn duurder of moeilijker te realiseren dan andere. Ook worden wel eens middelen aanbevolen die erger zijn dan de kwaal, zoals vervangende stoffen die minder zichtbare maar ergere schade teweegbrengen dan de oorspronkelijke of die ergens anders schaarsteproblemen veroorzaken.

Voor een land als Nederland — met zijn open economie — is de concurrentiepositie een complicerende factor. Een overheidsvoorschrift kan wel alle Nederlandse producenten binden, maar niet de buitenlandse die met hen concurreren. Voor zover het gaat om de samenstelling of verpakking van artikelen die hier te lande worden verkocht, gelden de Nederlandse voorschriften natuurlijk voor iedereen. Maar de Ne-



derlandse onderneming en haar buitenlandse concurrent strijden ook om marktposities buiten onze grenzen. Van samenstellings- en verpakingsvoorschriften kan men voor exportartikelen desnoods ontheffing toestaan, maar niet van fabrikagevoorschriften die bijv. de lozing van afvalstoffen betreffen.

Dit is een reden te meer om te streven naar internationale voorschriften (en controle op de naleving daarvan), zowel binnen E.E.G.-verband als daarbuiten. Maar het is een moeilijk gebied voor de regeringen, bijna zo moeilijk als de gezondheidsvoorschriften. Iedere minister die naar een internationale conferentie gaat, heeft zijn eigen adviseur en iedere adviseur heeft zijn eigen stokpaardje. Die stokpaardjes houden elkaar soms in bedwang doordat ze aan elkaar tegengesteld zijn, maar ze kunnen elkaar ook versterken. De minister — een politicus — kan zich niet veroorloven, zijn deskundige wetenschapsman ongelijk te geven. Het gevolg wordt gemakkelijk een cumulatieve van ge- of verboden die het bedrijfsleven voor onnodig grote lasten plaatst.

Deskundig advies uit de praktijk van de produktie is daarom van het grootste belang. Maar ook om een andere reden. Door verlichte ondernemingen is en wordt al veel gepioneerd op het gebied van de milieubescherming. Zij hebben, voor een groot deel onverplicht, belangrijke sommen uitgegeven aan experimenten met waterzuivering, rook- en stankbestrijding, lawaaivermindering e.d. Hun ervaring is van grote waarde voor de deskundigen die weer de ministers adviseren.

Een soepele en op wederzijds vertrouwen gebaseerde samenwerking tussen bedrijfspraktijk, wetenschap en regeringspolitiek is daarom op dit terrein volstrekt noodzakelijk. In Nederland bestaat deze samenwerking gelukkig in grote lijnen wel.

Met onze gemengde economische orde is één en ander in beginsel niet in strijd, evenmin als voorschriften op grond van de Warenwet of de Hinderwet dit zijn. Alleen het punt van de internationale concurrentie kan een bedreiging van die orde vormen, als namelijk de milieuvoorschriften voor een land of een groep van landen zo straf, d.w.z. duur, zouden worden dat hieruit een sterke drang ontstaat tot afsluiting van dat gebied voor goedkopere invoer van buiten. Protectionisme kan een gevolg zijn van perfectionisme. Maar in vergelijking met perfectionisme van andere aard, bijv. op sociaal gebied, zullen de kosten van milieubeschermende maatregelen *in het algemeen* niet de doorslag geven in de internationale concurrentie.

Zuiver nationaal gezien kunnen dergelijke maatregelen natuurlijk wel aanleiding geven tot verschuivingen. Als bijv. bepaalde — lawaai of stank veroorzakende — fabrieken in bevolkingscentra niet meer worden geduld, zal onderneming A (die in een stad ligt) moeten verhuizen of dure voorzieningen moeten aanbrengen, terwijl de concurrerende onderneming B (die op het platteland ligt) deze lasten niet krijgt opgelegd. Hieraan is wel iets te doen, namelijk een omslag van de kosten van A over B en anderen. Maar daarmee tast

men althans één pijler van ons economisch stelsel wel aan, te weten de ondernemingsgewijze toerekening. Als men die verlaat en overgaat op de bedrijfstaksgewijze toerekening, dan is er geen reden waarom dat alleen voor de kosten van milieubeschermende voorzieningen zou gelden. Waarom dan ook niet de transportkosten of de kosten van afvloeiingsregelingen geëgaliseerd?

#### *Rantsoenering- „abnormaal”*

Wanneer het gaat om het opvangen van *schaarste*, dringt het bedrijfstaksgewijze denken — en dus het doen van een stap naar een andere economische orde — zich nog sterker op. Tenzij men de schaarste opvangt door het onbelemmerd laten werken van het marktmechanisme. Dan valt de beschikbare hoeveelheid toe aan de ondernemingen die er het meest voor kunnen bieden. Dat zijn zij, bij wie voor de schaarse grond- of hulpstof tenminste één van de volgende situaties bestaat.

- Zij maakt een relatief klein deel van het totale pakket uit.
- Zij is essentieel voor het voortbestaan van de onderneming.
- Zij wordt verwerkt in een produkt waarvan de prijs-elasticiteit van de vraag gering is.

Daarnaast zijn het die ondernemingen die over zulke grote financiële of andere machtsmiddelen op de markt beschikken (zoals de mogelijkheid van tegenmaatregelen) dat de leveranciers van het schaarse goed hun uit zelfbehoud hoe dan ook preferentie verlenen. Een combinatie dus van pure economische krachten met de wet van de wildernis. Wel, zoals gezegd, de krachtigst mogelijke prikkel tot besparing en zo mogelijk vervanging.

In een economische orde als de onze zal een dergelijke combinatie niet bewust door de regering worden toegelaten, laat staan in de hand gewerkt. Het antwoord op een acute maar blijvende schaarste is dus al gauw: rantsoenering. Hiervoor is een wettelijke basis nodig, die in een noodtoestand gemakkelijk kan worden verkregen. Men denke aan het tot stand komen van de Distributiewet, aangevuld met de Prijsopdrivings- en Hamsterwet, aan de vooravond van de Tweede Wereldoorlog. Wordt zo'n wet op een artikel van toepassing verklaard, dan is het in voorraad hebben, kopen en verkopen, verwerken en vervoeren van dat artikel zonder vergunning verboden. Er moet dus een vergunning verlenende instantie zijn die de ter beschikking staande en komende hoeveelheden toewijst. Willekeur moet daarbij uitgesloten zijn, dus dient de toewijzing „bureaucratisch” — d.w.z. volgens vaste regels en zonder aanzien des persoons — te geschieden. Het is heel moeilijk, hiervoor een andere grondslag te vinden dan het verbruik van iedere gegadigde in een bepaalde basisperiode. Dat kan een kalenderjaar zijn of (om toevalligheden uit te schakelen) het gemiddelde van een aantal opeenvolgende jaren. Maar hoe men de periode ook kiest, het resultaat is verstarring. Wie geen basisjaar heeft, komt er niet aan



te pas. Wie wel een basisjaar heeft, blijft in dezelfde verhouding tot de anderen staan als in dat jaar. De rangorde is en blijft dezelfde, of het peloton vlugger dan wel langzamer gaat.

Dat is niet in overeenstemming met de grondslagen der ondernemingsgewijze produktie, volgens welke een nieuwe inbreuk in de markt en een uitloop op het peloton altijd mogelijk moeten zijn. In de markthuishouding — zelfs in de geleide — worden prijzen behaald op grond van prestatie, niet van anciënniteit.

De rantsoeneringstechniek kan natuurlijk aan dit bezwaar wel enigszins tegemoetkomen. De toewijzende instantie kan een potje achter de hand houden om veelbelovende nieuwelingen een entree te geven. Maar tenzij dit potje wordt gevoed door niet gebruikte quota, gaat het ten koste van anderen die wel gefundeerde aanspraken hebben. Met welk recht zal de directeur van het rijksbureau voor almacht spelen?

Dit is de andere kant van de rantsoenering; de ene is verstarring, de andere is ambtelijke macht. Hoe meer men tegen de verstarring tracht te doen, des te groter wordt de macht; de macht om desnoods willekeurige beslissingen te nemen. Daarom hoort bij elk rantsoeneringsbureau een commissie van toezicht en advies, voor een belangrijk deel bestaande uit niet-ambtenaren, en dient voor elke beslissing beroep mogelijk te zijn op een onafhankelijk college met rechterlijke bevoegdheid.

Zelfs al zijn deze maatregelen genomen, dan is rantsoenering toch een vreemd element in ons economisch stelsel; toelaatbaar in uitzonderlijke omstandigheden, maar dan toch liefst van beperkte duur.

Mochten bepaalde materialen zo schaars worden dat rantsoenering de enige uitweg biedt, dan zou toch alles op alles moeten worden gezet, zo snel mogelijk een ruimere positie (door besparing, nieuwe aanvoer en/of vervanging) te bevorderen. Een moeilijkheid daarbij is dat rantsoenering praktisch altijd gepaard gaat met prijsbeheersing, zodat de prikkel van een hoge prijs wordt verhinderd te werken. Bij uitbreiding en bestendiging van de rantsoenering blijft de keuze tussen corporatisme en etatisme nog geruime tijd open, maar de weg van de ondernemingsgewijze produktie wordt dan wel voorgoed verlaten.

#### *Panta rhei*

Misschien zijn wij in het voorgaande te zwaar op de hand geweest. Een enkele rantsoenering, misschien, over  $\times$  jaren, zal onze economische orde niet direct in de grond aantasten. Tegenover zeg 3 schaarse materialen staan waarschijnlijk 3000 overvloedige. Bovendien zijn er heel andere krachten die de invloed vergroten van het bedrijfstaksgewijze of etatistische denken. Dat zijn de financieringsmoeilijkheden van veel ondernemingen en de gevolgen daarvan voor de werkgelegenheid en het overheidsbeleid, de grote verschuivingen in de internationale arbeidsverdeling (ondergang van de textielindustrie en de scheepsbouw in een aantal landen) en de omvang van de optimale

technische produktie-aggregaten die vooral in de chemische industrie de ongecoördineerde uitbreiding tot een dwaasheid maken.

Al deze krachten zijn momenteel sterker en algemener dan mogelijke nijpende schaarste van materialen in de toekomst. Als zulk een schaarste zich voordoet, zijn de evenwichten tussen ondernemingsbeleid en bedrijfstaksgewijze beleid, tussen de particuliere en de publieke sector, misschien al zodanig verschoven dat rantsoenering niet meer als zo'n inbreuk wordt gevoeld. De economische orde verandert immers voortdurend en het aanpassingsvermogen van de mens, ook de economische mens, is bijna onbeperkt.

Niettemin, wie zich mede-verantwoordelijk voelt en voor de materiaalvoorziening en voor een soepel functionerend economisch bestel zal nu en dan uit zijn mijmering worden opgeschrikt en zich haasten zijn eikjes te planten, ofwel een andere boomsoort te kiezen. Maar — wat gebeurt er als het toekomstbeeld van Forrester en Meadows werkelijkheid mocht worden en wij „bij ongewijzigd beleid” na een aantal jaren toch op ernstige schaarsteverschijnselen voor tal van vitale grondstoffen tegelijk zullen stuiten? Daaruit zou zonder twiifel een crisistoestand ontstaan die onze economische orde niet kan overleven. Als het zover komt, is het met Athene gedaan en breekt de tijd van Sparta aan. Het produktie- en verdelingssysteem kan in zo'n situatie niet anders dan straf en hard worden.

De Nederlandse deskundigen die in de voorgaande hoofdstukken aan het woord zijn geweest, achten de kans op een dergelijke omvangrijke catastrofe in de materialenhuishouding kennelijk niet groot. Hun mening wordt het best samengevat in de slotconclusie van Brinck in Hoofdstuk 3: „In het denken over de toekomstige welvaart is weinig plaats voor pessimisme of optimisme; het gaat om bezorgdheid of vertrouwen, gebaseerd op een zo volledig mogelijke kennis van feiten en verbanden”. Deze kennis zal ons als volk in staat stellen passende maatregelen te nemen naarmate de problemen zich werkelijk voordoen. Niet te laat natuurlijk, want dan helpt het niet meer. Maar ook niet te vroeg, want dan vinden zulke maatregelen geen geloof.

De meest realistische benadering is die welke de volksoepvoeder Arnold Toynbee in ander verband weergaf met zijn leuze: „Eén voor één”.

#### 4. Literatuur

- [1]. J.A. Over; Algemene overwegingen en aanbevelingen van de Amerikaanse studiegroep „Materials Conservation through Technology”. De Ingenieur, **88** (1976), No. 34/35.
- [2]. T. Price; General Introduction to the Conference on a Strategy for Resources. Fifth International Symposium of the Science Policy Foundation, Eindhoven, 18/19 september 1975.
- [3]. Adviesaanvraag aan SER over grondstoffenbeleid. Mededelingen van het Ministerie van Economische Zaken, No. 288, 11 juni 1974.



1. Toekomstbeeld der Techniek;  
ir. J. Smit, 1968 uitverkocht
2. Techniek en Toekomstbeeld,  
Telecommunicatie in telescopisch beeld;  
prof. dr. ir. R.M.M. Oberman, 1968 uitverkocht
3. Verkeersmiddelen;  
prof. ir. J.L.A. Cuperus en anderen, 1968 f 10,—
4. Hoe komt een beleidsvisie tot stand?  
ir. P.H. Bosboom, 1969 f 4,—
5. De overgangsprocedure in het verkeer;  
diverse auteurs, 1969 f 12,—
6. De invloed van goedkope elektrische  
energie op de technische ontwikkeling in  
Nederland;  
dr. P.J. van Duin, 1971 f 5,—
7. Electrical energy needs and environmental  
problems, now and in the future;  
diverse auteurs, 1971 f 12,—
8. Mens en milieu: prioriteiten en keuze;  
diverse auteurs, 1971 f 17,—
9. Het voeden van Nederland;  
diverse auteurs, 1971 f 12,—
10. Barge Carriers: some technical, economic  
and legal aspects;  
drs. W. Cordia, mr. G.J.W. de Vries en ir.  
N. Wijnolst, 1972 f 20,—
11. Transmissiesystemen voor elektrische  
energie in Nederland;  
prof. dr. J.J. Went, ir. A. Govers, drs.  
M.C. Lelie en prof. ir. H. Wiggerts, 1972 f 12,—
12. Elektriciteit in onze toekomstige energie-  
voorziening: mogelijkheden en conse-  
quenties;  
dr. ir. H. Hoog, ir. P.J. Wemelsfelder,  
prof. ir. D.G.H. Latzko, dr. D.J. Kroon en  
prof. ir. J.J. Broeze, 1972 f 15,—
13. Communicatiestad 1985: elektronische  
communicatie met huis en bedrijf;  
prof. dr. ir. J.L. Bordewijk e.a., ir. D. van  
den Berg, dr. W. Horn, 1973 f 16,—
14. Techniek en preventief gezondheidson-  
derzoek; dr. M.J. Hartgerink, dr. H.H.W.  
Hogerzeil, prof. dr. ir. P. Eykhoff, prof. dr.  
J.C.M. Hattinga Verschure, prof. dr.  
H.J.J. Leenen, dr. P. Gootjes, prof. dr.  
A.H. Wiebenga, ir. D.H. Bekkering, 1973 f 18,—

15. Technologisch verkennen: doelstellingen en methoden;  
ir. A. van der Lee, drs. Th.M.A. Bemelmans en dr. ir. W.J. Beek, 1973 f 24,—
16. Mens en milieu: beheerste groei; diverse auteurs, 1973 f 20,—
17. Mens en milieu: zorg voor zuivere lucht; diverse auteurs, 1973 f 20,—
18. Mens en milieu: kringloop van materie; diverse auteurs, 1973 f 20,—
19. Energy Conservation: Ways and Means; edited by J.A. Over and A.C. Sjoerdsma, 1974 f 34,—
20. Voedsel voor allen, plaats en rol van de EEG;  
prof. dr. J. Tinbergen, prof. dr. ir. J. de Hoogh, dr. J.R. Jensma, prof. drs. J. de Veer, ir. I.B. Warmenhoven, dr. ir. A.W.G. Koppejan, ir. K.K. Vervelde, dr. ir. W.J. Beek, 1976 f 35,—
21. Stedelijk verkeer en vervoer langs nieuwe banen?  
Redactie: ir. J. Overeem, 1976 f 48,—
22. Materialen voor onze Samenleving;  
Redactie: ir. J.A. Over, 1976 f 46,—

Gedrukt door Mouton & Co B.V., Den Haag



