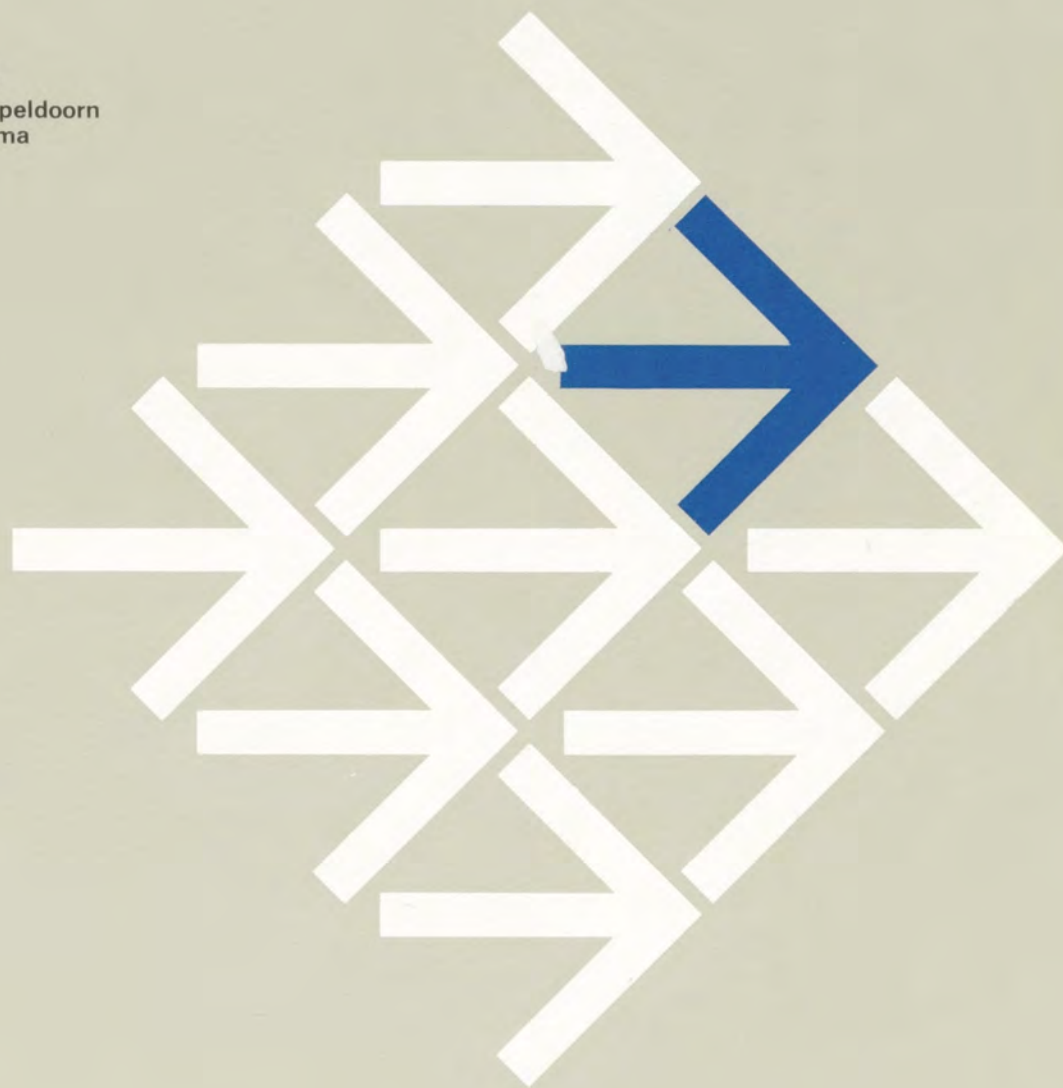


TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

serie toekomststudies uit de ingenieurswetenschappen

Bos en hout voor onze toekomst

redactie: ir. T. K. de Haas
ir. J. H. F. van Apeldoorn
ir. A. C. Sjoerdsma



De **STICHTING TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK** is in 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 ontwikkelingen 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 en van binnenkort uit te geven 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, 2514 AP 's-Gravenhage, tel. 070-646800.

Deze studie werd wetenschappelijk begeleid door prof.ir. M.M.G.R. Bol en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns van de Landbouwhogeschool te Wageningen.

Medewerking werd verleend door:

ir. **J.W. Aardema**, Landbouwhogeschool
ir. **J. Berns**, Industriewater Eerbeek
prof.ir. **M.M.G.R. Bol**, Landbouwhogeschool
ir. **T.K. de Haas**, Stichting Toekomstbeeld der Techniek
ir. **N.A. den Hartog**, Landbouwhogeschool
J. van der Horst, Vezelinstituut TNO
ir. **L.W. Hulshoff Pol**, Landbouwhogeschool
ir. **D. Korfker**, oud-lector Technische Hogeschool Delft
ir. **J.A. van der Kuil**, Gemeentelijk Energiebedrijf Amsterdam
ir. **J.A. Lasschuit**, Landbouwhogeschool
ir. **C.F. Lekkerkerker**, Van Swaay Garantor
H. Lusing, Papierfabriek De Hoop
prof.dr. **M.F. Mörzer Bruyns**, Landbouwhogeschool
drs. **D. Nagelhout**, Stichting Verwijdering Afvalstoffen
ir. **M.C.M. van Oirschot**, Rijks Instituut Zuivering Afvalwater
ir. **G.A. Schoonkind**, Van Gelder Papier
ir. **G.V. Vergeer**, Houtinstituut TNO
ir. **W.P.C. Zeeman**, Koninklijke Nederlandse Papierfabrieken

De projectleiders bij de Stichting waren ir. T.K. de Haas en – deeltijds – ir. J.H.F. van Apeldoorn.

TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

Nummer 26

1979

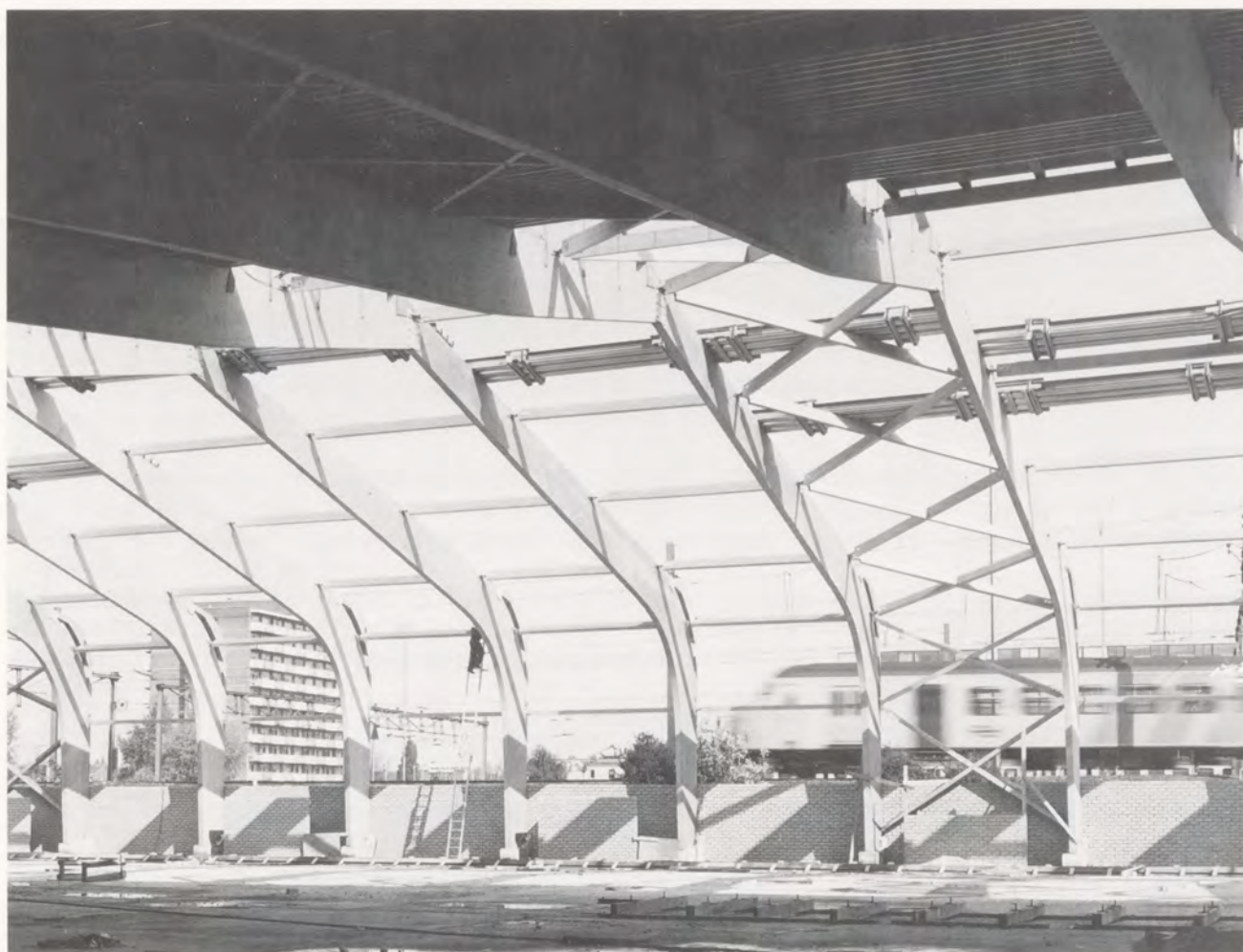
Bos en hout voor onze toekomst

redactie: ir. T. K. de Haas
ir. J. H. F. van Apeldoorn
ir. A. C. Sjoerdsma

Preadviezen voor het symposium 7 juni 1979







Gelamineerd houten overspanning (ijszoothof nabij Rotterdam Centraal Station, 1978)

Van bos naar hout

Naaldhoutbos
foto: Stichting Industriebout

Voorwoord

De Stichting Toekomstbeeld der Techniek heeft in 1976 de studie 'Materialen voor onze Samenleving' gepubliceerd.

Tijdens het uitvoeren van deze studie is de Stichting tot het inzicht gekomen, dat van het materiaal hout een aparte studie zou moeten worden uitgevoerd. De nu gereedgekomen publikatie 'Bos en hout voor onze toekomst' is daarvan het resultaat.

Het bos kan worden beschouwd als de oudste door de mens geëxploiteerde grondstoffenbron. Het gebruik van hout als energiebron en als constructiemateriaal was bekend in zeer oude beschavingen. In de minder ontwikkelde gebieden is het brandhout op dit moment nog steeds de primaire energiebron. Geen natuurlijke hulpbron is zo nauw verweven met leven en welzijn op aarde als het bos.

Door de toenemende wereldbevolking en door de materiële en technische vooruitgang wordt de vraag naar hout steeds groter. De laatste jaren echter groeit het besef dat een zorgvuldig beheer van het wereldbos noodzakelijk is opdat in de toekomst het bos zijn houtproductiefunctie en ook zijn veelzijdige andere functies voldoende kan blijven vervullen.

Het bos is onder goed beheer een zichzelf hernieuwende bron. Om de vraag te kunnen beantwoorden wat onder een goed bosbeheer dient te worden verstaan, moeten wij eerst onderzoeken welke functies het bos vervult. Pas daarna is het mogelijk een beleid te formuleren dat uitgaat van een bosbeheer op continuïteitsbasis.

Het bos is leverancier van hout en van bos-bijprodukten. Het bos maakt deel uit van biologische evenwichten waarin dieren en planten leven. Het tropisch regenwoud is een uniek reservoir van genenmateriaal. Maar er is meer. Bossen oefenen een belangrijke invloed uit op het klimaat, de koolstofassimilatie en de waterhuishouding.

Hout heeft behalve als bron van energie een essentiële functie als constructiemateriaal. Tegenwoordig zijn metaal, beton en kunststoffen alternatieven voor hout in scheepsbouw, woningbouw en bruggenbouw en vermindert het gebruik van massief hout. Een nuttiger gebruik van de grondstof hout is mogelijk geworden door de ontwikkeling van triplex, spaanplaat, vezelplaat en houtwolcementplaat. Papier wordt nog bijna uitsluitend gefabriceerd van houtvezels.

Vanzelfsprekend is het onmogelijk in één boek al deze onderwerpen uitputtend te behandelen. De Stichting heeft zich ten doel gesteld een synthese te vormen van de bosfuncties, het bosbeheer en het gebruik van hout als grondstof en van houtprodukten. Van dit gezichtspunt uit worden verwachtingen geformuleerd over de mogelijkheden die het bos in de toekomst niet alleen als houtleverancier maar ook in zijn overige bosfuncties biedt.

Het is duidelijk dat houtvoorziening en houtgebruik vraagstukken zijn van wereldschaal. De publikatie is dan ook niet beperkt tot de Nederlandse situatie, maar omvat eveneens de internationale aspecten. Als dit kan bijdragen tot de discussie en het inzicht in Nederland over dit onderwerp is de Stichting in haar opzet geslaagd.

De totstandkoming van deze publikatie is te danken aan de bereidwilligheid van vele deskundigen in den lande, die zich belangeloos hebben ingezet.

dr.ir. A.E. Pannenburg,
voorzitter

Inhoud

Voorwoord

door dr.ir. A.E. Pannenburg V

Inhoudsopgave VII

Hoofdstuk I. Inleiding

door ir. T.K. de Haas 1

Hoofdstuk II. Bos en bosbouw

1. Inleiding
door ir. J.A. Lasschuit 3
2. Houtvoorraden en bijgroei
door ir. J.A. Lasschuit 4
 - 2.1. Bosarealen 4
 - 2.2. Houtvoorraden 5
 - 2.3. Bijgroei 6
 - 2.4. De situatie in Europa 6
 - 2.5. De situatie binnen de EEG 7
 - 2.6. De bosbouwkundige situatie in Nederland 7
 - 2.7. Ontwikkelingsmogelijkheden en beperkingen 9
3. Bos-bijprodukten
door ir. J.A. Lasschuit 11
4. Functies van het bos, andere dan de houtproductie
door ir. J.A. Lasschuit en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns 13
 - 4.1. Ecosystemen en wetenschap 13
 - 4.2. Welzijnsfuncties van het bos 14
 - 4.3. Werkgelegenheid 20
5. Beheer en exploitatie van bossen
 - 5.1. Natuurbos en cultuurbos, door ir. J.A. Lasschuit 21
 - 5.2. Beheersystemen, door prof.ir. M.M.G.R. Bol, ir. N.A. den Hartog en ir. J.A. Lasschuit 22
6. Houtoogst en biomassaproductie
door prof.ir. M.M.G.R. Bol 25
7. Houtoogst- en transportsystemen
 - 7.1. Houtoogst, door prof.ir. M.M.G.R. Bol 27
 - 7.2. Primair transport door de lucht, door ir. N.A. den Hartog 30
 - 7.3. Secundair transport, door ir. N.A. den Hartog 32
8. Verwachtingen en toekomstige mogelijkheden
door prof.ir. M.M.G.R. Bol en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns 33

Hoofdstuk III. Energie- en milieu-aspecten in de bosbouw

1. Energie in het biologisch assimilatieproces
door ir. J. Lasschuit 35
2. Energiegebruik bij aanleg, verzorging, oogst en transport
door ir. J.W. Aardema 36
 - 2.1. Energiegebruik bij aanleg, verzorging en oogst 36
 - 2.2. Energieverbruik bij transport over korte afstand 41
 - 2.3. Energiegebruik bij transport over lange afstand 43
 - 2.4. Energiebalans 44
 - 2.5. Conclusies 44
3. Milieu-aspecten bij aanleg, verzorging en exploitatie van bossen
door ir. L.W. Hulshoff Pol 44
 - 3.1. Milieubeïnvloeding bij aanleg en verzorging 44
 - 3.2. Milieubeïnvloeding bij houtoogst en terreintransport 47

3.3. Milieubeïnvloeding bij afstandtransport en houtopslag.....	49
4. Integratie van energie- en milieuaspecten met het totale bosbeheer door prof.ir. M.M.G.R. Bol en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns	49

Hoofdstuk IV. Gebruik van hout

1. Hout als grondstof door ir. N.A. den Hartog	53
1.1. Inleiding	53
1.2. Fysische eigenschappen	57
1.3. Chemische eigenschappen	64
1.4. Verbetering van eigenschappen	67
2. Gebruik heden ten dage door ir. N.A. den Hartog	70
2.1. Historisch overzicht.....	70
2.2. Houtgebruik.....	71
3. Verwerking en toepassing van rondhout, verzaagd en verspaand hout en plaatmateriaal; energie- en milieu-aspecten door ir. D. Korfker en ing. G.V. Vergeer	76
3.1. Inleiding	76
3.2. Toepassing en gebruik van rondhout.....	80
3.3. Het zagen, schaven en drogen van rondhout	80
3.4. Toepassing en gebruik van gezaagd en verder bewerkt hout	82
3.5. Vervaardiging en gebruik van fineer en triplex	86
3.6. Verspaning van hout; vervaardiging en gebruik van spaanplaat en van met cement of mag- nesiet gebonden houtwolplaat.....	88
3.7. Vervezeling van hout, vervaardiging en gebruik van vezelplaat, door J. van der Horst.....	90
4. Houtversuikering door ir. N.A. den Hartog	93
5. Pyrolyse (droge destillatie) door ir. N.A. den Hartog	94
6. Houtverduurzaming; huidige en toekomstige ontwikkelingen door ir. C.F. Lekkerkerker	96
6.1. Inleiding	96
6.2. Het belang van de houtverduurzaming voor het Nederlandse houtverbruik.....	97
6.3. Houtverduurzaming; een aantasting van ons leefmilieu?.....	98
6.4. Het energiegebruik bij verduurzaming.....	99
6.5. Houtverduurzaming; toekomstige ontwikkelingen	99
7. Houtafval en hergebruik door ir. J.A. van der Kuil en drs. D. Nagelhout	99
7.1. Houtafval	99
7.2. Nuttig gebruik van houtafval	100
7.3. Waarvoor kan het houtafval worden gebruikt?.....	101

Hoofdstuk V. Papier en karton

door ir. J. Berns, ir. M.C.M. van Oirschot, ir. G.A. Schoonkind en ir. W.P.C. Zeeman.....	105
1. Inleiding.....	105
1.1. Geschiedenis.....	105
1.2. Toepassingsgebieden	107
2. Papier- en kartonfabricage.....	107
2.1. Verwerking van hout tot grondstof	107
2.2. Energieaspecten.....	112
2.3. Milieu-aspecten	115
3. De ontwikkeling van produktie en gebruik van papier en karton	124
3.1. Grondstoffenvoorziening	124
3.2. Economische aspecten.....	126
3.3. Toekomstverwachtingen	129

Hoofdstuk VI. Toekomstverwachtingen voor bos en hout

1. Integratie van energie- en milieu-aspecten met het bosbeheer door prof.ir. M.M.G.R. Bol, ir. J.A. Lasschuit en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns	133
2. Toepassing van hout in de toekomst door ing. G.V. Vergeer.....	135
2.1.Overwegingen bij de toepassing van hout.....	135
2.2.Materiaalkeuze.....	135
3. Verwachtingen over de ontwikkeling van het gebruik van hout door ir. T.K. de Haas	138
Literatuur	141

Hoofdstuk I. Inleiding

door ir. T.K. de Haas

De inzichten die naar voren kwamen bij de studie 'Materialen voor onze Samenleving' [1] gaven aanleiding tot een aparte studie van het materiaal hout. Er zijn tienduizenden boomsoorten en het hout daarvan heeft velerlei gebruiksmogelijkheden. Het uitzonderlijke bij hout is, dat het afkomstig is uit een zichzelf vernieuwende bron, het bos. Van de cyclus die hout doorloopt, zullen de volgende aspecten worden gezien: groeiplaatsen, aanleg, verzorging en oogst, de verwerking tot hout-halffabrikaten en -produkten, het hergebruik van hout en de afvalverwerking. Hierbij zullen o.a. het energieverbruik en de milieubeïnvloeding aandacht krijgen. De titel van deze studie duidt reeds aan dat zal worden gesproken over het bos waaruit hout wordt gewonnen en over de weg die hout doorloopt, totdat het in de een of andere vorm aan de natuur wordt teruggegeven. De kiem- en groeiprocessen zullen slechts worden aangeduid. Sommige van de omstandigheden waaronder de natuur bereid is bos te creëren, worden echter wel belicht. De ingrepen van de mens bij bosaanleg en -verzorging worden uitvoeriger besproken. In deze studie wordt aandacht gegeven aan de vraag of het huidige houtgebruik ook in de toekomst zal kunnen worden voortgezet en onder welke omstandigheden het bos inderdaad een zichzelf vernieuwende grondstoffenbron is.

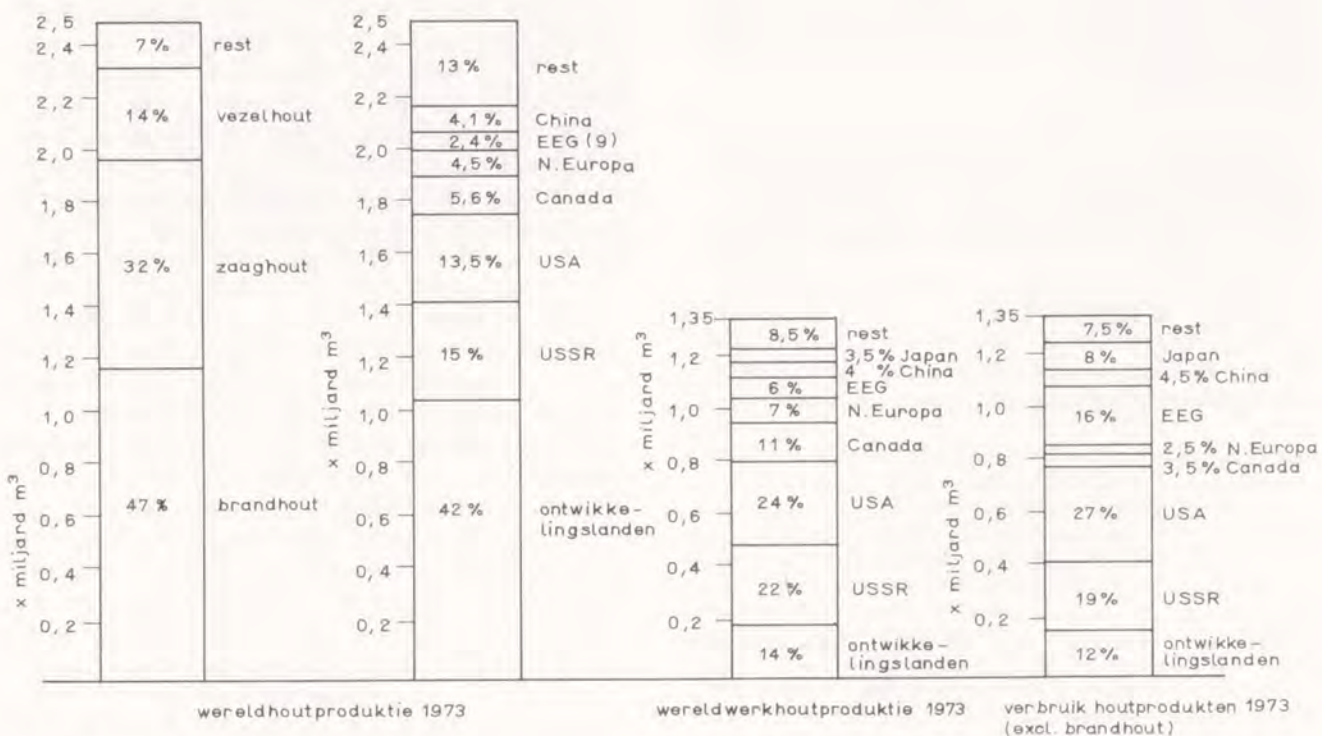
Voor deze studie is de medewerking verkregen van een groot aantal deskundigen, overwegend met een natuurwetenschappelijke en technische achtergrond. In de deelstudies worden, voor zover mogelijk, sociaal-maatschappelijke implicaties, overheidsvoorschriften, energieverbruik, milieubeïnvloeding, technische aspecten en verwachtingen over de toekomstige ontwikkelingen naar voren gehaald.

Nederland is bij de huidige studie centraal gesteld. Het is echter nodig de rest van de wereld mede in de beschouwingen te betrekken, o.a. omdat de Nederlandse houtoogst nog geen 10% dekt van het Nederlandse verbruik. Uiteraard wordt eerst de bron waaruit het materiaal hout wordt verkregen, het bos, besproken. In dat gedeelte komen achtereenvolgens aan de orde:

- het bos (wanneer mag een verzameling bomen bos worden genoemd), de houtvoorraad, de bijgroei, de economische betekenis van hout, diverse functies van bos anders dan als houtproducent;
- bosbeheer, oogst- en transportsystemen;
- energie vastgelegd in de biomassa en energiebehoefte bij aanleg, verzorging en exploitatie van bos;
- milieubeïnvloeding door de bosbouw.

Figuur 1 geeft een idee over de hoeveelheden hout die in de wereld worden gebruikt.

De Food and Agriculture Organization van de Verenigde Naties (FAO) is zich terdege bewust van het feit dat hun cijfermateriaal, waarop Figuur 1 grotendeels berust, onnauwkeurigheden bevat.



Figuur 1. Wereldhoutproductie, 1973 [2].

Vooraf het cijfer voor brandhout, bijna de helft van het totaal, is moeilijk te schatten.

Als nieuw element is voor Nederland het energiegebruik bij de aanleg en verzorging van bos, alsmede bij de oogst en transport van hout bestudeerd. Terzijde zij hier vermeld dat de energie-inhoud van de Nederlandse houtoogst 20 tot 25 maal groter is dan het energiegebruik bij aanleg, verzorging, oogst en afvoer. Toch zou met deze totale energie-inhoud slechts ongeveer 1% van de Nederlandse energiebehoefte kunnen worden gedekt.

Na een overzicht van de eigenschappen van hout, wordt een aantal toepassingen behandeld. Verder worden besproken de eisen die de verwerking en het gebruik meebrengen, de eventueel benodigde hulpstoffen, de energiebehoefte om tot het gewenste produkt te komen, de milieubeïnvloeding die er van de verwerking en het gebruik kan uitgaan en de overheidsvoorschriften op dit gebied.

Er is tegenwoordig een verschuiving aan de gang waarbij onderdelen van de houtverwerking (bijv. de fabricage van cellulosepulp) worden verplaatst van de gebruiksregio naar het land waar het hout groeit. De afstand tussen consument en producent neemt tevens langzaam toe. Een van de redenen daarvoor is, dat wat er in de buurt van de consument aan bos nog aanwezig bleef, andere doeleinden krijgt te vervullen naast of in plaats van de houtproduktie. Vooral in gebieden waar reeds lang hout wordt geproduceerd, wordt het duidelijk dat de natuurlijke processen van de bijgroei van hout moeten worden gestimuleerd en aangevuld. Herbebossing van arealen, nadat deze een houtoogst opleverden, zal moeten worden bevorderd. Wellicht zullen voor de bosbouw nieuwe arealen ter beschikking moeten worden gesteld.

Vervolgens komen aan de orde het rondhout, ontschorste palen en boerengeriefhout. Meestal dient rondhout, al of niet ontschorst, als halffabriekaat. Daarna wordt een beschouwing gegeven over het

verzagen van rondhout en aanvullende bewerkingen. De verwerking van ontschorst rondhout tot fieneer, vaak gevolgd door triplex- of multiplexfabricage, sluit logisch aan op de beschouwingen over verzaging. Vervolgens komt verspaning van hout en de fabricage van spaanplaat aan de orde.

Een paragraaf wordt gewijd aan houtwolplaten en houtvezelplaten.

Sinds omstreeks 1850 worden houtvezels gebruikt voor het maken van papier. Tegenwoordig wordt het overgrote deel van het papier en karton in de wereld gefabriceerd op basis van houtvezels. Enige vervezelingsprocessen voor houtpulp worden genoemd.

De economische, energetische en milieu-aspecten van papier en kartonfabricage zijn in aparte paragrafen nader beschouwd. Recent heeft het laatste chemisch werkende verpulpsbedrijf in Nederland moeten stoppen, mede als gevolg van verzuring van de milieu-eisen. De behandeling van afvalwater uit papier/kartonbedrijven wordt eveneens apart besproken.

Hoewel nauwelijks of niet of niet meer in Nederland voorkomend, worden houtversuikering met chemicaliënwinning, pyrolyse, houtskoolbereiding en houtvergassing in het kort vermeld.

Alle hout is vergankelijk als gevolg van aantasting door schimmels, insecten, bacteriën in vochtige lucht. Enkele van de verduurzamingsmogelijkheden – vooral de preventieve verduurzaming – zullen in de studie nader worden behandeld.

Uiteraard wordt aandacht geschonken aan het nuttige gebruik van de afval die bij diverse bewerkingen en toepassingen ontstaat.

Steeds is gepoogd een idee te geven van de toekomstige mogelijkheden voor het nuttig gebruik van bos en hout. Gezien de lange tijd die nodig is voor het opgroeien van oogstbaar hout uit een kiem of een stek, zullen de opgestelde toekomstverwachtingen geen grote betrouwbaarheidswaarde bezitten. Een ding staat echter vast: willen wij in de toekomst voldoende bos en hout ter beschikking hebben, dan dient er nu veel aandacht aan bebossing en herbebossing te worden gegeven.

Hoofdstuk II. Bos en bosbouw

1. Inleiding

door ir. J.A. Lasschuit

Bos komt als plantenformatie over de gehele aarde voor met uitzondering van die plaatsen waar de mens heeft ingegrepen en plaatsen die om een of andere reden ongeschikt zijn voor de groei van bos. Alle bossen te zamen worden in het volgende als 'het wereldbos' aangeduid.

Definitie van bos

Het is wenselijk hier een toelichting te geven op wat onder 'bos' dient te worden verstaan. Er zijn nl. vele grensgevallen en twijfelgevallen tussen 'bos' en 'niet-bos'. De FAO (Food and Agriculture Organization van de Verenigde Naties) definieert een bos als een terrein waarop de bedekking door bomen (en andere houtige gewassen) tenminste 5% bedraagt. Ondanks dit schijnbaar exacte criterium laat deze definitie onzekerheden bestaan. Zo neemt men bij de bepaling van de bedekking de verticale projectie van de boomkronen op de bodem als deel van het totale perceel. Maar dat gebeurt uiteraard door schatting en laat twijfelgevallen bestaan in de buurt van die 5%. Jonge bosaanplant en kortgeleden verbrande bospercelen kunnen in vele gevallen met hun bedekking tijdelijk beneden 5% liggen, maar toch een ondeelbaar geheel met het overige deel van het bos vormen. Voorts ontbreekt een aanwijzing over de vorm en grootte van het beschouwde areaal. Het is denkbaar dat van een areaal een of meerdere delen met de boombegroeiing duidelijk boven 5% ligt en andere delen daar beneden. Hier rijst dan de vraag of men met afzonderlijke complexen te maken heeft die elk voor zich op hun bedekkingsgraad worden beoordeeld danwel of men ze mag samenvatten als de gemiddelde dekking van het totaal boven 5% ligt. Dit zal mede afhangen van de terreinconfiguratie, de vorm der percelen en hun onderlinge ligging. Ook stadsparken, botanische tuinen en woonbossen (percelen waarop een woning staat, omringd door bomen binnen de perceelgrens) kunnen veelal in hun dekking boven 5% liggen, maar zullen toch vaak niet als bos worden opgevat.

Een andere definitie voor bos is: een met bomen begroeid terrein van een zodanige grootte dat het een ecologische eenheid vormt, d.w.z. van een zodanige grootte dat de daarop thuis horende flora en fauna zich ongestoord kunnen handhaven. Ten aanzien van de bomen en andere vertegenwoordigers van de flora is dat minder moeilijk aan te geven dan voor de grotere dieren van de fauna. Hun territorium heeft veelal vage grenzen, waarop ook de mens invloed kan uitoefenen.

Zo blijven er twijfelgevallen bestaan en dat geeft onzekerheden bij het interpreteren van bosstatis-

tieken. Het is ook duidelijk dat de wereldstatistieken van de FAO met grotere eenheden werken dan nationale statistieken. Daardoor kunnen afrondings- en overlappingsverschillen en verschillen in betrouwbaarheid ontstaan.

Houtsoorten

Het aantal houtsoorten op aarde bedraagt minstens 50.000. Hoewel de houtsoorten ieder voor zich in hun verspreiding beperkt zijn (als gevolg van klimaats- en bodemomstandigheden) en hoewel binnen een regio niet alle daar voorkomende houtsoorten onbeperkt mengbaar zijn, is het aantal mengvariëaties (zowel kwalitatief, dus naar houtsoorten, als ook kwantitatief, dus naar procentueel aandeel der houtsoorten) onvoorstelbaar groot. Dientengevolge is het wereldbos buitengewoon gevarieerd en heterogeen in samenstelling. Zodoende zijn totaalcijfers (zowel voor het wereldbos in zijn geheel alsook voor sommige deelcijfers van bepaalde regio's of landen) samengesteld uit grote aantallen deelgegevens, die met ongelijke graden van volledigheid of betrouwbaarheid behept kunnen zijn.

Gegevens over het bos

Oorspronkelijk is het bos een gave van de natuur (evenals lucht en water). Daarom heeft er gedurende lange tijden in de wereldhistorie geen gerichte of doelbewuste belangstelling voor het bos bestaan. Het **was** er eenvoudig en in voldoende hoeveelheid. Onder grote massa's van de huidige wereldbevolking (en in het bijzonder in de ontwikkelingslanden) bestaat deze benadering nog steeds. De bosbegroeiing wordt daar vaak meer gezien als een vorm van bodembedekking, die toelaatbaar wordt geacht zolang er geen redenen zijn om deze begroeiing te rooien. Men heeft daar maar weinig of geen begrip voor de essentiële bosfuncties. Dit heeft onder andere tot praktisch gevolg gehad dat er voor grote delen van het wereldbos geen betrouwbare cijfers bestaan.

De FAO [3], die zich zeer goed bewust is van deze essentiële functies, heeft zich bezig gehouden met het verzamelen van gegevens van het bos (areaal, staande houtmassa of volume, jaarlijkse bijgroei, kap, houtgebruik) voor grotere gebieden zoals de individuele landen en voor de gehele aarde. Deze gegevens zijn nog van tamelijk recente datum, in ieder geval van na de Tweede Wereldoorlog¹⁾. De

¹⁾ Voordien bestonden zij voor slechts enkele naties. In de wereldcijfers van de FAO voor de areaalgrootte en de staande houtmassa met de daaraan inherente bijgroei treden van jaar op jaar geen noemenswaardige veranderingen op. Daarom worden door de FAO dergelijke cijfers ook niet jaarlijks aangevuld of herzien. Dientengevolge kunnen de gebruikte cijfers een ietwat verouderde indruk maken. Bij sommige naties (althans naties met een functionerend bosbeheer) worden periodiek wél modernere cijfers opgesteld [4]. De cijfers voor de gebruiksubriecken van het hout (zoals timmerhout, papierprodukten en vooral plaatmateriaal, e.a.) kunnen over een tamelijk korte periode aanmerkelijk veranderen en daarom dienen hiervoor dan steeds de meest recente cijfers te worden gebruikt.

medewerking aan het verzamelen van de gewenste gegevens is voor een deel van de ontwikkelingslanden beperkt. Hier komt bij dat een deel van het wereldbos nog praktisch ontoegankelijk is, waardoor gegevens niet altijd beschikbaar zijn en de inventarisatie deels aangewezen is op globale en generaliserende methoden. Een deel der cijfers is verkregen door extrapolatie of analogie met beter bekende bossen en de data daarvan liggen vaak over enige decennia verspreid.

Het feit dat er geen scherpe, ondubbelzinnige definitie voor 'bos' bestaat, heeft soms onvermoede consequenties bij het opstellen van cijfermateriaal. Zo is in Nederland ca. 15% van de eigen houtproductie afkomstig uit laanbomen, die buiten het algemeen aanvaarde begrip 'bos' vallen. Als tweede voorbeeld kunnen de erfbeplantingen en grenscheiden in de ontwikkelingslanden worden genoemd. Twijfelgevallen bij de definitie 'bos' vindt men ook bij grote brandvlaktes of hiaten in het bos die door andere catastrofes zijn ontstaan en bij ijle begroeiingen zoals toendra's, pampa's, steppen e.d.

In sommige landen heeft de bosbeheersdienst niet slechts bemoeienis met werkelijk bosdragende arealen, maar ook met min of meer boomloze terreinen die voor de waterhuishouding van belang zijn en die niet ergens anders onder ressorteren (Service des Eaux et Forêts, Servicio de Montes, e.a.). Ook daardoor dekken de cijfers van de diverse landen niet altijd hetzelfde begrip. Een en ander heeft tot gevolg dat de cijfers van bepaalde landen of landstreken en van het wereldbos, met voorzichtigheid en enig voorbehoud moeten worden bekeken en gehanteerd. Zij geven een waardevolle benadering, maar maken geen aanspraak op nauwkeurigheid.

2. Houtvoorraden en bijgroei

door ir. J.A. Lasschuit

In het navolgende worden benaderingscijfers gegeven over de grootte der bosarealen, de daarop staande houtmassa, ook wel genoemd het houtvolume op stam (het houtkapitaal) en de bijgroei (de rente van het houtkapitaal). Deze cijfers kunnen een waardevolle bijdrage leveren aan beschouwingen over de houttoestand op aarde. Overigens levert van het totale wereld-bosareaal 30 tot 35% geen bijdrage aan de houtmarkt (maar wel aan de lokale brandhout behoefte). Op het eerste gezicht zou dit deel kunnen worden opgevat als een exploitierbare reserve. Het bos vervult echter nog andere, zeer belangrijke functies op aarde, die zouden kunnen worden aangetast als deze bossen in exploitatie zouden worden genomen. Door een deskundig beheer zou dit voor een belangrijk deel kunnen worden ondervangen, maar daar mag niet zonder meer op worden gerekend. In vele ontwik-

kelingslanden schiet daarvoor de deskundigheid en de belangstelling voor het bos nog tekort. Zelfs in bosbouwkundig hoog ontwikkelde landen is de gefundeerde afweging van de diverse betekenissen van het bos (de 'bosfuncties') niet altijd gemakkelijk en gewaarborgd.

2.1. Bosarealen

Het landoppervlak van onze planeet beslaat bijna 15×10^9 (15 miljard) hectare. Daarvan wordt rond $4,4 \times 10^9$ ha tot het wereldbos gerekend; dat is dus bijna 30% van het landoppervlak. Het deel daarvan dat onder de definitie van bos valt (zie de inleiding bij dit hoofdstuk), bedraagt $3,8 \times 10^9$ ha. Ongeveer 45% van het wereldbos is gelegen in de tropen, dus tussen de keerkringen. De $4,4 \times 10^9$ ha wereldbos bestaat voor 37% uit naaldhout en 63% loofhout. Deze verhouding is niet nauwkeurig vanwege de onzekerheden over gemengde loofhout-naaldhoutbossen.

Het is bijzonder moeilijk een raming te geven van de potentieel nog bebosbare gronden op aarde. Enerzijds zijn er gronden die vroeger bos hebben gedragen en weer voor bos geschikt kunnen worden gemaakt, anderzijds hebben vele der inmiddels ontboste gronden een andere bestemming gekregen waaraan zij veelal niet meer zijn te onttrekken. Ook zijn er streken waar het klimaat is veranderd in een voor bosgroei ongunstige richting. Daarnaast bestaan nog de voormalige bosgronden die door rooibouw, zwerfandbouw en bijbehorende branden en door kaalslag zijn verwoest. Geen enkele natie is echter bereid daarover volledige mededelingen te verstrekken. Dat zou overigens weinig praktisch nut hebben, want de betreffende landen beschikken als regel niet over voldoende fondsen en soms ook niet over voldoende belangstelling voor herbebossing. Voorts lopen goedbedoelde initiatieven kans te mislukken, zolang ter plaatse de veeweiderij niet in de hand kan worden gehouden (wat vaak een heel moeilijk probleem is). Om althans enig getal te hebben voor gronden die voor herbebossing geschikt zijn, zou men kunnen uitgaan van het genoemde verschil tussen het tot het bos gerekende areaal ($4,4 \times 10^9$ ha) en het werkelijk bosdragende areaal ($3,8 \times 10^9$ ha), dus $0,6 \times 10^9$ ha.

Een indeling van de bossen in rijke en arme gronden heeft niet meer dan beperkte betekenis. Er bestaat geen duidelijke grens tussen beide kwalificaties en deze zou ook sterk variëren met de houtsoorten. Bovendien is de invloed van het klimaat in de regel belangrijker dan de bodemkwaliteit. Globaal gesproken vindt – speciaal in de meer ontwikkelde landen – een belangrijk deel van het bos zijn plaats op de minder goede gronden, aangezien op de betere gronden in het verleden beslag is gelegd voor de landbouw. Hier staat tegenover dat in som-

mige EEG-landen (waaronder ook Nederland) het bosareaal wordt uitgebreid omdat men steeds meer betekenis aan het bos toekent. Daarom worden sommige landbouwgronden thans voor bossing beschikbaar gesteld. Dat zijn echter veelal niet de beste gronden.

Voor een globale splitsing van het wereldbos in de niet- en wel geïndustrialiseerde gebieden biedt de wereldbosstatistiek van de FAO [3] redelijke mogelijkheden. In deze statistiek zijn de cijfers per land opgegeven en dan per werelddeel opgeteld (niet geheel overeenkomend met de gebruikelijke geografische indeling). Tot de geïndustrialiseerde werelddelen kunnen worden gerekend:

- de Verenigde Staten en Canada;
- West-Europa;
- Sowjetunie.

In de navolgende uitsplitsing wordt hun som aangeduid als 'de drie noordelijke werelddelen' of als 'het noordelijk halfrond'. Uiteraard is dat een ruwe benadering, want geïndustrialiseerde landen als Japan, Zuid-Afrika en Australië blijven daar dan buiten. Ook worden niet alle landen van Europa duidelijk tot de geïndustrialiseerde landen gerekend. Het bosareaal voor de drie genoemde noordelijke werelddelen bedraagt ruim $1,6 \times 10^9$ ha, terwijl dat voor het minder ontwikkelde deel van de wereld ongeveer $2,2 \times 10^9$ ha bedraagt. Van het naaldhout ligt meer dan 90% op het noordelijk halfrond (o.a. als gevolg van het klimaat). Aldaar bestaat ook de meeste vraag naar naaldhout, zodat de transportafstanden beperkt zijn. Voor een deel der naaldhoutbossen op het noordelijk halfrond is de exploitatie echter heel moeilijk (bijv. Sibirië, Noord-Canada).

Het cijfermateriaal kan als volgt worden samengevat:

totale oppervlak van de aarde	51 x 10 ⁹ ha
hiervan landoppervlak	15 x 10 ⁹ ha
tot bosterrein gerekend	4,1-4,4 x 10 ⁹ ha
hiervan werkelijk bosdragend	3,8 x 10 ⁹ ha
Bosareaal niet in exploitatie	30 à 35%
Areaal van wereldbos tussen de keerkringen	ca. 45%
Loofhout-aandeel van wereldbos	63%
Naaldhout-aandeel van wereldbos	37%
Bosareaal in geïndustrialiseerde, noordelijke werelddelen	1,6 x 10 ⁹ ha
hierin van wereld-naaldhoutareaal ruim 90%	

Door ingrijpen van de mens is in de loop van de geschreven geschiedenis naar schatting 1 miljard ha bos verloren gegaan.

2.2. Houtvoorraden

De houtvoorraad bestaat uit de op stam staande

houtmassa, dus het houtkapitaal dat door zijn bijgroei de houtrente moet leveren. De staande houtmassa in het wereldbos bedraagt naar schatting $0,4 - 0,5 \times 10^{12}$ m³ (inclusief bast en exclusief boomwortels en dunnere houtdelen zoals takken en twijgen). Dit is slechts een ruwe schatting, omdat een belangrijk deel van het wereldbos onvolgende en ca. 30% zelfs helemaal niet is geïnventariseerd. Ook heeft men bij het wereldbos nog te maken met de biomassa, die ongeveer het dubbele kan bedragen van de staande houtmassa. De biomassa van het bos bestaat niet alleen uit de staande houtmassa van exploitatieerbare afmetingen, maar ook uit datgene wat daar buiten valt, jonge bomen, takken, twijgen, bladeren, vruchten, wortels en wortelstronken.

De genoemde schatting van de houtmassa bevat niet de struikenbegroeiing en is eveneens exclusief de kruidenlaag der bossen. Van deze kruiden- en struikenlaag moeten ook de herbivoren van de bosfauna leven. Deze massa maakt deel uit van de totale 'groene massa' op aarde, die wordt geschat op ca. 20×10^{12} ton.

De 'groene massa' op aarde omvat alle organisch materiaal van de assimilerende planten, zowel binnen als buiten het bos, dus ook kruiden en struiken en landbouwgewassen en als grootste hoeveelheid, de organismen in de wereldzee.

Een verdeling van het wereldbosareaal in naaldhout en loofhout wordt door de FAO niet gegeven. Wel bestaat deze verdeling voor de in exploitatie zijnde arealen [3, 5]. Het is echter zeer dubieus wat men onder exploitatie moet verstaan, want zelfs roofbouw of kaalkap zonder herbebossing worden als exploitatie beschouwd. De in exploitatie zijnde hoeveelheid naaldhout bedraagt ruim $0,1 \times 10^{12}$ m³ op ca. $0,75 \times 10^9$ ha. Voor loofhout bedraagt dit ruim 50×10^9 m³ op ruim $0,7 \times 10^9$ ha. De bast is daarbij inbegrepen en maakt ca. 10% uit.

Voor de in exploitatie zijnde arealen bedraagt de staande massa voor naaldhout gemiddeld omstreeks 130 m³ per ha en voor loofhout omstreeks 70 m³ per ha. In vele niet-geëxploiteerde bossen zijn - speciaal voor het loofhout - de cijfers veel hoger, waardoor de economische belangstelling voor dergelijke bossen extra groot is. Dit geldt in het bijzonder voor de tropische regenwouden met veelal verscheidene honderden m³/ha aan potentieel bruikbaar hout.

Op het noordelijk halfrond bedraagt de staande massa op de in exploitatie zijnde arealen bij het naaldhout ca. $0,1 \times 10^{12}$ m³. Dat is ca. 95% van het geëxploiteerde wereld-naaldhoutareaal. Het loofhout op het noordelijk halfrond bedraagt ca. 20×10^9 m³, d.i. 40% van het wereld-loofhoutareaal. Economisch is het gunstig het wereldbosareaal verder te exploiteren, doch alleen bij een deskundig beheer. Daarbij mag niet worden vergeten dat het bos niet alleen een economische functie heeft en dat een voortschrijdende exploitatie ook gevolgen

kan hebben voor de andere functies van het bos (zoals het klimaat, de waterhuishouding, de bodembescherming en de samenstelling van de atmosfeer).

Hout kan slechts als vernieuwbare grondstof worden beschouwd als het bos goed wordt beheerd.

2.3. Bijgroei

Terwijl de staande massa van een bos (houtkapitaal) constant behoort te zijn (nl. het maximale potentieel dat de bodem over een langere termijn kan dragen), vormt de bijgroei (houtrente) een variabele grootte. De bijgroei is het verschil tussen twee of meer ramingen van de aanwezige houtmassa met voldoende lange tussenliggende intervallen. Het is duidelijk dat men eerst inzicht moet hebben in de grootte van het kapitaal voordat men de grootte van de rente kan vaststellen. Voor de bepaling van de grootte van de staande massa zou kunnen worden volstaan met een eenmalige inventarisatie van de aanwezige houtmassa, maar aan de nauwkeurigheid daarvan ontbreekt nog veel [3, 5, 6]. Het is duidelijk dat de onnauwkeurigheid bij de bepaling van de bijgroei nog groter is (nl. het verschil tussen twee onnauwkeurige bepalingen van de staande houtmassa die een periode van enige jaren uit elkaar liggen). Cijfers voor bijgroei dienen voorzichtig te worden gebruikt, zij zijn een benadering en gelden alleen voor de in exploitatie zijnde arealen [6]. Ook is het niet altijd duidelijk of er over jaarlijkse bijgroei danwel over jaarlijkse oogst wordt gesproken. Theoretisch kunnen die even groot zijn, maar in werkelijkheid is dat zelden het geval. Cijfers voor de kap of oogst zijn in landen met een goed Bureau voor de Statistiek met niet veel moeite te achterhalen, maar dat geldt niet voor de aanwas. Hierdoor bestaat de kans dat voor de aanwas cijfers worden genoemd die in feite kapcijfers zijn.

Voor naaldhout bedraagt de jaarlijkse bijgroei op de in exploitatie zijnde arealen ruim $1,4 \times 10^9$ m³ op ca. $0,75 \times 10^9$ ha, dus gemiddeld ca. 2 m³ per jaar per ha. Voor loofhout bedraagt dit $1,4 \times 10^9$ m³ op ruim $0,7 \times 10^9$ ha, dus gemiddeld eveneens ca. 2 m³ per jaar per ha. Dit alles inclusief bast. Dit zijn gemiddelde waarden voor de gehele aarde. Speciaal in de tropen, maar ook bij deskundige verzorging in aangeplante bossen, kunnen veel hogere gemiddelde jaarcijfers worden bereikt (ca. 4 tot 7 m³ en in sommige tropische gebieden zelfs enkele tientallen m³).

In niet-geëxploiteerde bossen (veelal tropisch regenwoud) is er geen netto bijgroei omdat daar de maximale vulling is bereikt, dus een situatie waar niets meer bij kan. Een netto bijgroei wordt daar pas mogelijk na gedeeltelijke kap. De bijgroei van naaldhout vindt voor 96% plaats op het noordelijk halfrond. De bijgroei van loofhout is op het noor-

delijk halfrond slechts 46% van de wereldbijgroei.

De jaarlijkse oogst zou over langere perioden de bijgroei niet mogen overtreffen. Regionaal of lokaal – en ook wel per houtsoort – wordt zeer ver van die regel afgeweken. In bepaalde landen is voor bepaalde houtsoorten of bepaalde sortimenten (afmetingsklassen) de kap veel groter dan de bijgroei. Over de gehele wereld gerekend, staat tegenover een geregistreerde bijgroei van 2,8 miljard m³ een geregistreerde jaarkap (1973) van 2,5 miljard m³. In 1970 bedroeg de geregistreerde wereld-hout-handel 347 miljoen m³.

De wereldbijgroei en dus ook de daarvan afhankelijke wereldoogst zouden op twee wijzen aanmerkelijk kunnen worden opgevoerd. In de eerste plaats door deskundig beheer en deskundige exploitatie en in de tweede plaats door het met de nodige deskundigheid en voorzichtigheid in exploitatie nemen van nog niet ontgonnen bosareaal. De nog niet geëxploiteerde reserves liggen deels in de ontwikkelingslanden (waar veelal de deskundigheid in het bosbeheer nog tekort schiet) en deels in de noordelijke streken van de aarde (waar het klimaat moeilijkheden geeft bij de exploitatie). Ook is het mogelijk verlaten, voormalige bosterreinen en verwoeste bossen opnieuw te beplanten met waardevolle houtsoorten. Die herbebossing moet dan wel deskundig worden beheerd.

Wereldgebruik tropisch industriehout

1960	49,1 × 10 ⁶ m ³
1970	82,5 × 10 ⁶ m ³
1980 (geschat)	145 × 10 ⁶ m ³
1990 (geschat)	215 × 10 ⁶ m ³
2000 (geschat)	303 × 10 ⁶ m ³

2.4. De situatie in Europa

Het Europese bosareaal bestaat voor een belangrijk deel uit cultuurbos. Dat is nauwkeuriger bekend dan het natuurbos. De wereldbosstatistiek onderscheidt in Europa 27 landen (de Sowjetunie vormt een afzonderlijke post). De navolgende cijfers geven een overzicht.

Totaal oppervlak	471 × 10 ⁶ ha
bosdragend areaal	138 × 10 ⁶ ha
gedeelte in exploitatie	90%
naaldhoutareaal	81 × 10 ⁶ ha
loofhoutareaal	57 × 10 ⁶ ha

geëxploiteerde staande massa

totaal	12 × 10 ⁹ m ³
daarvan naaldhout	8 × 10 ⁹ m ³
en loofhout	4 × 10 ⁹ m ³
aanwas naaldhout	210 × 10 ⁶ m ³ /jaar
aanwas loofhout	120 × 10 ⁶ m ³ /jaar
gemiddelde aanwas totaal	2,7 m ³ /ha
waarvan voor naaldhout	2,9 m ³ /ha
en voor loofhout	2,4 m ³ /ha

geregistreerde kap van naaldhout	185 × 10 ⁶ m ³ /jaar
geregistreerde kap van loofhout	125 × 10 ⁶ m ³ /jaar

Gebruik tropisch industrie-hout in Europa	
1960	6,2 × 10 ⁶ m ³
1970	10,5 × 10 ⁶ m ³
1980 (geschat)	21 × 10 ⁶ m ³
1990 (geschat)	27 × 10 ⁶ m ³
2000 (geschat)	35 × 10 ⁶ m ³

2.5. De situatie binnen de EEG

Voor de negen EEG-landen (België, Denemarken, Duitse Bondsrepubliek, Frankrijk, Groot-Brittannië, Ierland, Italië, Luxemburg, Nederland) zijn de gegevens over houtvoorraad en houthandel samengevat in tabellen 1 en 2.

2.6. De bosbouwkundige situatie in Nederland

De navolgende cijfers voor het Nederlandse bos zijn – direct of indirect – ontleend aan de Neder-

landse Bosstatistiek [7] of aanvullende interne gegevens van het Staatsbosbeheer (SBB) in plaats van aan de FAO-statistieken. Het Nederlandse bos met een areaal van ruim 1/4 miljoen ha is ongeveer één 15.000ste deel van het wereldbosareaal. De FAO-statistieken zijn afgestemd op de wereldschaal. Daarin gaan veel bijzonderheden over het Nederlandse bos verloren. Ook zijn de Nederlandse cijfers moderner. De laatste FAO-wereldstatistiek verscheen in 1963 en is gebaseerd op cijfers die toen al enige jaren tot enige decennia oud waren. De jongste Nederlandse Bosstatistiek werd afgesloten in 1968, maar uit latere jaren kwamen nog – deels geschatte – incidentele cijfers van het SBB beschikbaar, waaronder ook cijfers voor toekomstverwachtingen.

Zo hebben de beide laatste stormrampen (november 1972 en april 1973) een merkbare discontinuïteit in sommige cijfers veroorzaakt.

Nederlandse bosgeschiedenis

Als inleiding tot de statistische cijfers volgt hier eerst een kort geschiedkundig overzicht.

Omstreeks het begin van de jaartelling was Neder-

Tabel 1. Houtvoorraden en houtverbruik in de EEG.

	totaal areaal 10 ³ ha	bos- areaal 10 ³ ha	staande massa 10 ⁶ m ³	jaarl. bij- groei, bruto 10 ³ m ³	kap (1963) 10 ³ m ³	gebruik p. jr gem. 72/73/74 10 ³ m ³
België	3.951	601	57	2.490	2.475	10.700 (incl. Luxbrg)
Denemarken	4.301	438	44	2.600	1.706	7.450
Duitsland	24.402	6.732	978	30.000	23.698	59.090
Engeland	22.988	1.535	103	4.163	3.270	46.950
Frankrijk	55.169	11.407	978	43.000	43.132	47.060
Ierland	6.890	124	10,2	707	358	1.940
Italië	30.102	5.684	296	11.852	16.526	31.690
Luxemburg	258	81	11,2	266	199	bij België
Nederland	3.510	250	16	910	715	12.070
Totaal	150.662	26.852	2.495	95.988	92.079	216.950

Bron: De Houtwereld, 15 november 1978

Tabel 2. Netto import van hout en houtproducten in de EEG-landen (gemiddelde in 1972/1973/1974).

land	netto import in m ³ rondhoutequivalent (x 1.000)						
	rondhout	gezaagd hout	fineer en triplex	spaan- en vezelplaten	pulp	papier	totaal
Nederland	480	5.320	450	680	3.300	760	10.990
België/Luxemburg	2.300	2.120	100	-1.240	1.280	1.480	6.040
West-Duitsland	1.160	5.900	600	450	8.380	6.100	22.590
Frankrijk	120	2.320	100	-140	6.060	3.020	11.470
Italië	5.680	7.460	-190	220	6.720	690	20.580
Engeland	710	16.300	2.750	1.970	11.760	9.350	42.840
Ierland	50	830	80	-50	220	430	1.560
Denemarken	150	2.410	300	280	120	1.550	4.810
totaal EEG	10.650	42.660	4.190	2.170	37.830	23.380	120.880

Bron: De Houtwereld, 15 november 1978

land – volgens Romeinse berichten – voor een groot deel bebost. Voor zover bekend, is dat gedurende vele eeuwen zo gebleven. Verder was de bevolking zeer klein. Geleidelijk veranderde dit toen de dorpen en andere bevolkingsconcentraties een deel der naburige bossen omzetten in (veelal communale) landbouwgronden en weidegronden. Speciaal Karel de Grote (omstreeks 800) heeft dit zeer aangemoedigd. Ook in de nabijheid van kloosters ontwikkelden zich ontginningen. Onder de straffe hand van feodale heren bleven grote verderaf gelegen bossen gespaard. Zonder eigenlijke belangstelling voor het bos zelf hielden zij de bossen intact voor het uitoefenen van de jacht.

De eerste echte aanval op het Nederlandse bos ontstond bij de opbloei van de zeevaart en de bijbehorende (roof)houtkap voor de scheepsbouw in de 16e en 17e eeuw. Volledigheidshalve dient ook te worden vermeld dat voor de scheepsbouw toen het Mastbos bij Breda is aangelegd. Aan de invloed van de feodale heren kwam een einde bij de Franse revolutie, dus tegen het einde van de 18e eeuw. Dit was ook het begin van meer liberale economische opvattingen, waardoor in de 19e eeuw een sterke aanval op de bossen werd gedaan zonder zorgen voor het voortbestaan door herbebossing. Daardoor is een belangrijk deel van het toen nog aanwezige bos verloren gegaan. In 1888 werd de Nederlandsche Heide Maatschappij opgericht, waaruit in 1899 het Staatsbosbeheer voortkwam. Dit had aanvankelijk alleen bemoeienis met de Nederlandse Staatsbossen.

In de loop van de 20e eeuw zijn de bemoeienissen van het SBB belangrijk uitgebreid. Als basis daarvoor kwam de Boswet tot stand (1922), gevolgd door de Bodem Produktie Wet (1939) en de Bodem Produktie Beschikking (1941), als voorlopers van de huidige Boswet (1961/1962). De bedoelingen van het Staatsbosbeheer werden doorkruist door de beide wereldoorlogen. Na de eerste wereldoorlog werd het Nederlandse bosareaal uitgebreid in het kader van de 'DUW' (= Dienst Uitvoering Werken). Werklozen werden ingezet voor (her)bebossingen (o.a. op de heidevelden van Drente).

De huidige Boswet heeft niet alleen betrekking op de Staatsbossen (zoals Kroondomein, bossen toebehorend aan Ministeries, Provincies e.d.), maar regelt ook het toezicht op de particuliere bossen in die zin dat ons nationale bosareaal niet mag verminderen. Daarbij wordt overigens aan de particuliere boscijgenaar zo veel mogelijk de vrije hand gelaten, mits de eigenaar de gebruikelijk van een gezonde bosbouw in acht neemt.

Tot op zekere hoogte mag men als tussenvorm tussen de particuliere bossen en de Staatsbossen, de bossen en landgoederen beschouwen die zijn ondergebracht onder de Natuurschoonwet (1928). Zij zijn eigendom van hun particuliere bezitters, maar die krijgen zeer belangrijke fiscale tegemoetkomingen. Daarbij worden zij in sterke mate in hun

doen en laten als particuliere eigenaar beknot. In het algemeen betreft dit landgoederen waarvan de natuurschoon-waarde prevaleert boven de economische waarde. Toch leveren ook deze bossen nog hout op voor de handel; hout dat soms een onduidelijke rol speelt in de statistieken.

Minder ver dan de maatregelen die voortspruiten uit de Natuurschoonwet, gaan de bepalingen voor de bossen die zijn opengesteld voor recreanten. Ook deze boscijgenaren genieten fiscale voordelen, maar die gaan minder ver dan bij de Natuurschoonwet. Uit de fiscale voordelen moeten ook enkele voorzieningen worden betaald.

In zeer bescheiden mate wordt het Nederlandse bosareaal geleidelijk uitgebreid, ondanks het feit dat er nog bossen verloren gaan bij de realisering van bestemmingsplannen.

De Nederlandse cijfers luiden als volgt:

Landoppervlak Nederland	3.344.000 ha
hiervan tot bos gerekend	255.000 ha
echt bosdragend	243.000 ha
naaldhout	157.000 ha
loofhout	62.000 ha
gemengd loof-/naaldhout	24.000 ha
Als de laatste post naar evenredigheid wordt verdeeld over loofhout en naaldhout:	
naaldhout	174.000 ha
loofhout	69.000 ha

Een relatief grote plaats nemen hierbij de laanbomen in, van ca. 50.000 km lanen. Dit kan worden gelijk gesteld met een bos van 40.000 ha. Uiteraard bestaat er voor de laanbomen geen normaal bedrijfsplan zoals voor de gesloten bossen. Zij zitten echter wel verwerkt in de bovengenoemde en hierna te noemen cijfers.

Het bebossingspercentage van Nederland is ca. 7,8. Dat is zeer laag in vergelijking met de meeste andere landen in Europa.

De staande houtmassa bestaat uit 13×10^6 m³ naaldhout en ruim 2×10^6 m³ loofhout.

De staande massa en de bijgroei geven tegenwoordig een merkbare stijging te zien die zich in de toekomst zal voortzetten [2]. Daarvoor zijn drie redenen aan te wijzen.

1. De bossen die in de twintiger en dertiger jaren door de DUW zijn aangelegd, komen nu op grote schaal in kap.
2. Tijdens de Tweede Wereldoorlog was Nederland door de bezetter tot overmatige houtleveranties (overkap) verplicht, terwijl er ook voor binnenlands verbruik een groter beroep op het nationale bos moest worden gedaan doordat de import tot staan was gekomen. Thans is men deze aantasting van het staande houtkapitaal te boven gekomen.
3. Door deskundige selectie van het plantmateriaal

is de kwaliteit van het houtkapitaal in onze jongere bossen belangrijk opgevoerd. Dat geldt voor diverse houtsoorten, maar vooral voor de populier. Dit zal in de komende decennia nog sterker van invloed zijn.

De gevolgen van de stormrampen van 1972 en 1973 zullen echter nog lange tijd nawerken, ondanks een bijstelling van de bedrijfsregeling en van het kapschema.

Volgens een interne nota van het SBB kan op een jaarlijks potentieel te kappen bijgroei uit het productiebos worden gerekend op de volgende hoeveelheden (in 10^3 m^3 , met schors):

	naaldhout	loofhout
1980	830	230
1990	850	255
2000	895	285

Bovendien kan worden gerekend op hoeveelheden uit de overige houtopstanden (waaronder de Natuurschoonwet-bossen en -landgoederen), maar daarvoor kunnen geen goede verwachtingen worden opgesteld. Voor het naaldhout zou dit mogelijk enige tienduizenden m^3 per jaar kunnen bedragen en voor het loofhout zelfs enige honderdduizenden. Het bruikbare werkhout uit de genoemde jaarlijks kapbare bijgroei wordt geraamd op (in 10^3 m^3):

	naaldhout	loofhout
1980	665	180
1990	690	205
2000	735	230

Ook hier komen weer hoeveelheden bij (naaldhout enige tienduizenden, loofhout wellicht 100 tot $200 \times 10^3 \text{ m}^3$) uit leveranties buiten de opbrengstcalculaties. Voorts zullen er nog enige tienduizenden m^3 (voornamelijk loofhout) voor brandhout worden gebruikt.

De importcijfers voor Nederland (opgaven van het CBS) zijn niet altijd duidelijk of ondubbelzinnig; er komen soms onduidelijke correcties op. Soms is de (overigens geringe) invoer uit België en Luxemburg er niet bij. Voorts worden sommige importhoeveelheden in gewicht i.p.v. in volume opgegeven, zodat dit met een onzekere factor moet worden omgerekend.

In 1975 werden 10 miljoen m^3 naaldhout en 4 miljoen m^3 loofhout geïmporteerd.

De cijfers voor het houtgebruik worden de laatste tijd duidelijk beïnvloed door het hergebruik van sommige houtprodukten. Voor het jaar 2000 wordt de rondhoutvoorziening geschat op bijna $24 \times 10^6 \text{ m}^3$ r.e. (r.e. = rondhout-equivalent, dat zijn alle

vormen en produkten teruggerekend op het ronde uitgangsvolume).

In geld uitgedrukt, bedroeg de houtinvoer in 1975 voor naaldhout ca. f 550×10^6 en voor loofhout ca. f 310×10^6 , te vermeerderen voor enige rubrieken van hout dat reeds elders was bewerkt of voorbewerkt. Daardoor komt dan de totale waarde van de houtinvoer in 1975 op ca. f $1,2 \times 10^9$.

2.7. Ontwikkelingsmogelijkheden en beperkingen

Er bestaan grote verschillen tussen de potentiële en de bestaande ontwikkelingen, zowel wat betreft het bosgebruik als het houtgebruik.

In de bosbouwwereld is het voorgekomen dat een land eerst bosbouwkundig bankroet gaat, voor men in dat land de betekenis van het bos leert waarderen. Dit geldt nog steeds en aldus ziet men in sommige landen (in het bijzonder bepaalde ontwikkelingslanden) dat daar onbekommerd en op catastrofale wijze met het bos en zijn produkten wordt omgesprongen, terwijl anderzijds in een aantal meer ontwikkelde landen (waar men inziet reeds beneden een minimum aan bosbezit te zijn aangeland) het bosareaal weer wordt uitgebreid. Opvallende voorbeelden hiervan zijn Spanje, Israël en Zuid-Afrika, die alle grote arealen improductieve grond hebben (grotendeels voormalige bosgronden) en daarnaast een gebrek aan bos en hout. Qua oppervlakte neemt in Nederland in het laatste decennium het bos weer enigszins toe, maar dat blijft bij fracties van tienden van procenten per jaar. Tegengestelde werking hebben bestemmingsplannen voor de aanleg van autowegen, woningbouw, industrieterreinen e.d., waarvoor, indien absoluut nodig, delen van bestaande bossen kunnen worden gekapt.

Sinds lang kende men in Nederland de woeste gronden (veelal met heide of verspreide opgaande begroeiing). Tijdens de crisisperiode in de dertiger jaren van deze eeuw is een deel daarvan met handkracht herbebost in het kader van de D.U.W. (= Dienst Uitvoering Werken), dus als werkverschaffingsmogelijkheid. De woeste gronden maken evenwel deel uit van het Nederlandse landschap en deze natuurterreinen worden daarom thans als typisch landschapselement zo veel mogelijk intact gelaten. Deze mogelijkheid tot vergroting van het Nederlandse bosareaal is daarom nu niet meer aanwezig. Deze natuurterreinen moeten dan wél af en toe geschoond worden, bijv. door schapenbeweiding of door het afbranden van de heide en het verwijderen van jonge vliegdennen, evenals de jonge opslag van voornamelijk berk en eik. In beginsel mogen deze terreinen worden gebruikt voor recreatie; ook Defensie mag er onder bepaalde voorwaarden voor een deel gebruik van maken.

De Boswet bepaalt dat het bosareaal en de kwa-

liteit der bossen niet achteruit mogen gaan. Aldus legt de Boswet de verplichting op dat een leeggekapte perceel, uiterlijk binnen drie jaar moet worden herbebost. Indien het betreffende perceel om duidelijke redenen voor een ander doel moet worden gebruikt, dient ter compensatie een ander niet-bosdragend perceel op niet te grote afstand te worden herbebost. Dit perceel moet dan van minstens gelijke grootte en van minstens dezelfde bodemkwaliteit zijn.

Er dient nog te worden gewezen op de landaanwinning door inpoldering van grote delen van de vroegere Zuiderzee. Hoewel deze polders – vanwege de zeer hoge kosten per hectare – zo veel mogelijk worden gebruikt voor meer profijtelijke bestemmingen, zoals grootschalige agrarische bedrijven (en uiteraard ook voor de bouw van nieuwe woonkernen), zijn er ook enkele terreinen aangewezen voor bebossing (overwegend snelgroeiende houtsoorten). Het doel hiervan is landschapsverfraaiing, recreatie en houtproductie. Er gaan stemmen op om het bosareaal in deze polders te vergroten. Bij de overweging daarvan dient Nederland in zijn geheel te worden betrokken (bodemkwaliteit, grootschaligheid, mogelijkheid voor mechanisatie, ligging, landschapsschoon e.d.) en niet alleen het belang van de polder zelf. Ook Defensie heeft belangstelling voor dergelijke overwegingen in verband met de behoefte aan militaire oefenterreinen.

De goed bedoelde Nederlandse pogingen, welke *mutatis mutandis* ook voor andere Westeuropese landen gelden, kunnen echter geen noemenswaardig tegenwicht vormen tegen de steeds verdergaande wereldontbossing. Hierdoor is, sedert de laatste paar duizend jaar dat de mens op aarde actief is met vuur, bijl en zware werktuigen, reeds meer dan 1 miljard ha bos verdwenen. Van de thans nog resterende 3½ tot 4 miljard hectare verkeert bovendien een deel in deplorabele toestand.

Herbebossing

Herbebossing is kostbaar, mede doordat de investeringen gedurende een aantal decennia tot soms meer dan een eeuw oplopen alvorens er een terugbetaling in zicht komt. Voorts zijn de houtprijzen achtergebleven bij de algemene prijsstijgingen. Hier komt bij dat in landen als Nederland een bos-eigenaar door de Boswet wél diverse verplichtingen heeft, maar overigens wordt beperkt in het beheer van zijn bosbezit. De prijs voor grond (en dus ook voor bosgrond) is hier te lande hoog. De houtopstand heeft hierdoor maar een geringe (soms negatieve) nettowaarde, vanwege het genoemde tijdverschil tussen de investering en de opbrengst. De arbeidskosten per kubieke meter geleverd hout zijn relatief hoog. Hierdoor worden in Nederland de bosbouw en het bosbezit in toenemende mate mede een aangelegenheid van de overheid. Deze

heeft de neiging vooral de sociale betekenis van het bos te bevorderen. De overheid is hier niet alleen de Nederlandse Staat en het Staatsbosbeheer, maar ook provincies, gemeenten en ministeries en bovendien de organisaties op het gebied van natuurbehoud.

Een tussenvorm tussen overheidsbeheer en particulier bosbezit is gelegen in de mogelijkheid om een daarvoor in aanmerking komend bosperceel (veelal een oud landgoed) onder te brengen onder de Natuurschoonwet. Uiteraard wordt dan de vrije hand of het vrije beschikkingsrecht van de eigenaar nog verder beperkt. Ook kan de overheid een financiële tegemoetkoming verstrekken aan particuliere bosbezitters, o.a. op grond van de Beschikkingen Natuur- en Bosbijdragen.

Zo heeft men in het kleine en relatief bosarme Nederland getracht met maatregelen op korte termijn (financiële verlichting) en op lange termijn (Boswet) het achterop raken van de bosbouw te stoppen. In wereldverband is het echter met het behoud van het wereldbos in verscheidene regio's niet gunstig gesteld. De betekenis van het bos op korte termijn is gelegen in het leveren van hout en 'nontimber products'. Minder opvallend is in het algemeen het belang van bos op lange termijn (sociale betekenis, waterhuishouding, bodembehoud, klimaatbeïnvloeding, milieuverbetering, natuurbehoud). In de geïndustrialiseerde landen is er wél aandacht voor de recreatieve waarde van het bos ontstaan.

In de economische sector is het op vele plaatsen ter wereld met de uitlevering (dit is de bruikbare oogst in kubieke meters per hectare) slecht gesteld. Globaal gesproken zou in verscheidene ontwikkelingslanden (en tot voor kort ook in bepaalde delen van sommige geïndustrialiseerde landen) deze uitlevering duidelijk kunnen worden verbeterd door deskundige maatregelen en beslissingen. Daarbij zou niet alleen aandacht moeten worden besteed aan hoogwaardig werkhout (incl. fineerhout) maar ook aan datgene wat thans als afvalhout buiten gebruik blijft. Dit afvalhout kan in tropische landen soms verscheidene tientallen procenten van de potentiële uitlevering bedragen; in extreme gevallen kan dit afval wel tot 70-80% van de gekapte massa oplopen. Een belangrijk deel hiervan zou bij absolute of integrale bosbouw nog voor diverse doeleinden kunnen worden gebruikt, zoals voor de aanmaak van meubelplaat, vezelplaat, spaanplaat, voor de papierbereiding en tenslotte ook nog als brandhout. De marktprijzen van afvalhout liggen lager dan die van hoogwaardig werkhout. Daarom is het afval minder aantrekkelijk voor exploitatie en concentreert men zich op het werkhout. Deze neiging wordt versterkt en gedragen door het feit dat er op verscheidene plaatsen op aarde nog natuurbos voorhanden is. Bij deze gave van de natuur is immers geen kapitaal in de aanleg geïnvesteerd.

Daardoor is de daar wonende bevolking zich minder bewust van de grote waarde van het bos. De kapconcessies worden dan vaak verleend zonder dat het tot een herbebossing komt.

Theoretisch is het mogelijk de wereldhoutopbrengst aanmerkelijk te vergroten; er bestaan hierover bespiegelingen die uitkomen op twee- tot driemaal de huidige oogst. Zonder een grondige mentaliteitsverandering in de opvattingen van vele mensen over bos en zijn functies lijkt zo'n vergroting een utopie.

Is er een oplossing voor het probleem van het bosbeheer en van de wereldhoutvoorziening te vinden?

Na de bovenstaande beschouwingen is het wereldprobleem met bos en hout schetsmatig als volgt aan te duiden:

- Er zijn naties die ruim zijn voorzien van bos en houtvoorraden; vrijwel zichzelf kunnen voorzien; op geen stukken na zichzelf kunnen voorzien.
- Deze naties verschillen in industriële ontwikkeling en in financiële mogelijkheden.
- Het natuurbos is een gave van de natuur, ontstaan in de loop van vele eeuwen. Het cultuurbos is afgeleid van het natuurbos en is door de mens gecreëerd ten koste van een flinke investering. Na deze investering duurt het meestal tientallen jaren alvorens kan worden terugverdiend. Het bos is geen aantrekkelijk beleggingsobject. De houtprijzen zijn achtergebleven bij de algehele voortdurende prijsstijgingen in de laatste decennia. Deze houtprijzen blijven laag door het goedkope aanbod van hout uit natuurbossen in ontwikkelingslanden waar weinig of niets aan herbebossing wordt gedaan.
- Bos vervult, naast de functie van houtproductie, nog vele andere voor de mens en de natuur belangrijke functies.
- Beslissingen over houtoogst en bosaanplant zullen in hun gevolgen pas na vele tientallen jaren duidelijk voelbaar worden. Sommige van die beslissingen kunnen later praktisch niet meer worden omgebogen of ongedaan gemaakt.
- Hoe kan worden verhinderd dat zorgeloos wordt omgesprongen met de lokaal grote voorraden aan bos en hout, terwijl er elders een nijpend tekort aan bos en hout is? Het is van het grootste belang dat het wereldbos wordt beheerd op basis van continuïteit.

3. Bos-Bijprodukten

door ir. J.A. Lasschuit

Het bos levert niet alleen hout, maar ook nog een veelheid van produkten van andere aard. Die worden samengevat onder de verzamelnaam Bos-Bijprodukten (BBP).

In de Engelstalige vakliteratuur gebruikt men 'Non Timber Products of the Forest' 'Forest By-products' of 'Forest Minor Products'.

Hoewel de diverse houtsoorten (ruim 50.000) zeer sterk in eigenschappen verschillen, zijn de karakteristieke eigenschappen van hout altijd aanwezig. Er zijn uiteraard grensgevallen zoals bamboe: een verhoude Graminae met een geheel eigen structuur.

De BBP daarentegen bezitten geen gemeenschappelijke kenmerken. Hun eigenschappen en gebruiksmogelijkheden liggen wijd verspreid over verschillende rubrieken, die nog variëren met de vindplaats op aarde. Hier komt nog bij dat er ook nog vele BBP bestaan welke tot nu toe nauwelijks of geen belangstelling hebben gewekt.

Voor praktisch gebruik kunnen de BBP als volgt in een aantal gebruiksrubrieken worden ingedeeld.

Industrie (rubber, harsen en gommen, terpentijn, vezels, laksoorten, kleurstoffen, looistoffen, gutta, vetten voor zeep en andere toepassingen, kurk, rotan, e.a.).

Farmacie (kina, zoethout, zalven, oliën voor inwendig gebruik of voor injecties, vruchten, zaden en bladeren).

Biociden en vergiften (insectenbestrijdingsmiddelen, visvergif, pijlgif).

Genotmiddelen (koffie, thee, cacao, kruidnagel, kaneel, kauwgum, nootmuskaat en foelie).

Parfumerieën en wierook (welriekende oliën, loofhoutharsen).

Voedingsmiddelen en vitaminehoudende stoffen (sago, vruchten, palmsuiker, palmolie).

Hier ongebruikelijke of zelfs nog onbekende toepassingen, doch in zwang bij de autochtone bevolkingen van sommige ontwikkelingslanden. Deze toepassingen maken in ieder geval deel uit van het leven van deze volkeren en mogelijk zal de westerse wereld er ook eenmaal belangstelling voor hebben.

Aan de grens bij deze indeling staat o.a. rotan, dat een palm is met buigzame, horizontale, verhoude uitlopers. Deze worden gebruikt in de industrie (meubels) en in de inheemse wereld (bindmateriaal, waaronder bruggenbouw).

Ook wat betreft de herkomst van BBP uit verschillende delen van de boom bestaat er een wijde va-

riatie: bloesem en vruchtbeginsel, zaden en vruchten, bladeren in de knop, jonge bladeren, volgroeide bladeren, twijgen, kernhout, jonge houtmantel (spint), dode bast, levende bast, wortels enz.

Het verkrijgen van een BBP is in vele gevallen voor het leven van een boom minder ingrijpend dan het verkrijgen van hout. Voor dit laatste moet in alle gevallen (behalve voor de winning van twijgen of rijshout) de boom worden geveld. Dit is voor de winning van de meeste BBP niet nodig, zodat de boom in leven kan blijven.

Het in leven blijven van de geëxploiteerde boom biedt voordelen, zowel voor het voortbestaan van het bos als voor de voortgang van de exploitatie. De exploitatie moet dan wel deskundig worden uitgevoerd en niet ontaarden in overexploitatie en rooibouw. Dat laatste is echter in minder ontwikkelde streken tijdens perioden met gunstige marktprijzen meermalen het geval. Daarom worden veelbelovende BBP soms uit (mono-)cultures gewonnen, waarbij deskundige beheerders toezicht kunnen houden op verantwoord gebruik van het in de aanplant geïnvesteerde kapitaal.

Dergelijke aanplantingen worden in principe niet meer tot de bosbouw gerekend. Weliswaar zijn zulke aanplantingen niet aangelegd voor de houtproductie (hoewel hout soms toch te voorschijn komt als een bijproduct in een dergelijke BBP-cultuur, zoals perenhout uit een perenboomgaard) maar met betrekking tot de bosinvloeden en andere sociale functies van het bos spelen zij dezelfde rol als een 'erkend' bos. Het feit dat zij kunstmatig zijn aangelegd, speelt hier geen rol, want vele bossen in ons deel van de wereld zijn ook aangelegd.

Voor de winning komen ook strooisel, kruiden, paddestoelen, truffels e.d. in aanmerking evenals specifieke bosdieren.

De winning van BBP valt in het algemeen niet te mechaniseren en dat maakt deze winning kostbaar. Enkele schaarse en vernuftige pogingen bij een klein aantal der BBP tot gemechaniseerde winning hebben tot nu toe geen bruikbare methoden opgeleverd. De meeste BBP worden daarom gewonnen in de ontwikkelingslanden met lage levensstandaard, lage lonen en bescheiden eisen van het merendeel van de bevolking. Naar verwachting zal dat veranderen wanneer daar de levensstandaard stijgt en deze gebieden ingesteld raken op het gebruik van synthetische en andere industrieproducten. Momenteel kan de winning van BBP soms nog een bijdrage leveren in de inheemse gemeenschapseconomie. Dat kan van belang zijn in slappe tijden wanneer er geen landarbeid of iets dergelijks te verrichten valt.

Voorts hebben van oudsher verscheidene BBP een rechtstreeks gebruik gevonden in de inheemse samenlevingen. Voorbeelden zijn medicijnen, visver-

gif, pijlgif, voedingsmiddelen, genotmiddelen (waaronder bijv. wilde bijenhoning), reukmiddelen en opschik in de 'adat', hulpmiddelen bij de vangst van vis en andere dieren (waaronder ook pijl en boog) en hulpmiddelen voor de huizenbouw. Dergelijke toepassingsmogelijkheden zijn zeer gevarieerd en kunnen naar hoeveelheid per persoon per jaar nogal omvangrijk zijn. Zij blijven buiten alle westerse gebruiksstatistieken, waardoor deze niet volledig zijn. Het merendeel van de ontwikkelingslanden, met hun thans nog lage levensstandaard van de arbeidskrachten, is in de tropen te vinden. Men verwacht in de tropische ontwikkelingslanden dat de inzamelingskosten van een aantal der huidige BBP op den duur te hoog zullen worden. Die BBP zullen dan worden vervangen door analoge fabrieksproducten mits die in prijs aanvaardbaar en in kwaliteit concurrerend zijn. Voor de genotmiddelen ligt dat anders, omdat de uiterst gevoelige menselijke smaak zich niet laat bedriegen. Zo dreigt er een tekort te ontstaan van de natuurlijke grondstof voor kauwgum, terwijl men nog geen vervingende natuurlijke stof heeft gevonden en er evenmin een aanvaardbaar synthetisch product is. Verscheidene van de werkelijk belangrijke of onmisbare BBP zullen op den duur in steeds grotere mate worden verkregen uit monocultures (rubber, kina, gutta, cacao en andere genotmiddelen). In de farmacie kent men thans vele synthetische producten. Met de groeiende belangstelling voor natuurgeneeswijzen en homeopathie zal een aantal natuurproducten in de belangstelling blijven en misschien zelfs in afzet groeien. Dat geldt niet alleen voor gewassen uit kruidentuinen, maar ook voor BBP.

In Nederland zijn de BBP niet meer van noemenswaardige betekenis. Paddestoelen en bosbessen behoren thuis in het bos, maar worden in Nederland vanwege de hoge lonen nauwelijks meer voor de handel verzameld. Ook eikels worden, behalve voor boomkwekerijen, vrijwel niet meer ingezameld en berkesap wordt niet meer gewonnen. Door particulieren wordt uit liefhebberij nog wel ingezameld, soms zelfs zo intensief dat de soort zich op gemakkelijk bereikbare plaatsen niet kan handhaven. Het weghalen van strooisel gebeurt nog wel ten behoeve van kwekerijen, maar voor een gezond bosbedrijf is dat zeer af te raden. Gelukkig is de inzameling van strooisel thans aan regels gebonden.

Er bestaan slechts voor enkele zeer belangrijke BBP economische statistieken (rubber, sommige harsen, sommige oliën en vetten). Derhalve bestaan er geen totaalcijfers over de economische betekenis van BBP. Aangenomen wordt dat de totale waarde van alle ter wereld gewonnen BBP tezamen groter is dan die van het gezamenlijke geoogste hout. De onzekerheid wordt vergroot door het feit dat er zoveel BBP ter wereld (al of niet geoogst) nog niet of niet algemeen bekend zijn.

Toekomst

Ook voor BBP waarvan statistisch-economische gegevens bekend zijn, is het moeilijk een toekomstvisie op te stellen.

Bos-bijprodukten bestaan uit mengsels van een groot aantal hoogmoleculaire organische verbindingen. Met de ontwikkeling van de chemische industrie kan er soms plotseling een opleving bestaan in de belangstelling voor één der componenten uit een BBP (bijv. bèta-pineen uit naaldhoutharsen en terpentijn). Dat duurt dan totdat de chemische industrie er in is geslaagd de stof relatief goedkoop synthetisch te bereiden.

In de industriële sector bestaat er een reële kans dat een aantal bos-bijprodukten zal worden vervangen door synthetische, die bovendien soms betere eigenschappen hebben dan de natuurlijke produkten. Fabrieksproductie heeft ook nog de gunstige bijkomstigheid dat die onafhankelijk is van de grillen van de natuur en dat de productie regelmatig en volgens plan kan verlopen. Dergelijke omzwenkingen kunnen verreikende gevolgen hebben in de sociaal-economische sector (bijv. natuur- en synthetische rubber) doordat een inkomstenbron voor de lokale bevolking van het winningsgebied vermindert of wegvalt, terwijl men anderzijds bij fabrieksmatige bereiding problemen kan krijgen met investeringen en werkgelegenheid.

Voor BBP die als genotmiddelen, farmaceutica, reukstoffen, biociden enz. worden gebruikt, doen zich andere verschijnselen voor dan in de industriële sector.

Zo hebben synthetische farmaceutica soms ongewenste nevenwerkingen. Ook kan het aanbod van natuurprodukten niet altijd voldoen aan de vraag, waardoor synthetische farmaceutica een deel van de markt blijvend kunnen behouden. Een voorbeeld daarvan is kina, waaruit kinine, het geneesmiddel tegen malaria, wordt bereid. Java was voor de Tweede Wereldoorlog de hoofdleverancier voor de wereld van kina. Tijdens de oorlog zijn vervangende synthetische produkten bereid die de markt van kina, ook na de oorlog voor een groot deel hebben overgenomen.

Bij biociden is er een groeiende aversie tegen persistente middelen, zoals gechloreerde koolwaterstoffen en sommige organische verbindingen. Het gebruik van DDT (als de bekendste representant van de eerste groep) is nu in een groot aantal landen verboden. Natuurprodukten zoals derris en pyrethrum zijn er echter in onvoldoende hoeveelheid om aan de vraag te voldoen. Uiteraard doet ook de chemische industrie alles om met ecologisch aanvaardbare preparaten in de biocidemarkt te blijven. Met de voortschrijdende houtwinning over de gehele aarde zal, zelfs als het natuurbos wordt opgevolgd door cultuurbos of onderneming, het aanbod van een aantal bos-bijprodukten afnemen.

4. Functies van het bos, andere dan de houtproductie

door ir. J.A. Lasschuit en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns

4.1. Ecosystemen en wetenschap

Bossen en andere houtopstanden hebben nog andere functies voor de samenleving dan de productie van hout. Zo zijn daar de beïnvloeding van klimaat, het reguleren van de waterhuishouding en de bodembescherming. Voorts moet worden genoemd de functie van de bossen die betrekking heeft op het behoud van natuurlijke rijkdom. Het natuurbehoud is van vitaal belang voor het goed functioneren van de andere functies, inclusief die van de productie van hout.

Naast economische betekenis heeft het bos een aantal sociale betekenissen. Dit leidt bij goed beheer tot veelzijdig gebruik van het bos.

De economische betekenis van het bos raakt aan de welvaart van de mens, de sociale betekenissen aan zijn welzijn. Deze welzijnsfuncties liggen deels in de sfeer van de natuurfuncties. D.w.z. dat zij in de eerste plaats hun oorsprong vinden in natuur-elementen (klimaat, water, bodem, planten en dieren). Zij bestaan immers ook en zijn ook van betekenis zonder de mens. Anderdeels zijn er welzijnsbetekenissen die rechtstreeks een gevolg zijn van het optreden van de mens (recreatie, jacht, landschapsschoon, milieubeheer en natuurbehoud).

De functie van natuurbehoud heeft vooral te maken met de planten- en dierenwereld.

Behoud ecosystemen

De levensgemeenschappen van planten en dieren vormen, samen met de bodem, het water en de andere zogenaamde abiotische factoren van hun directe omgeving, de zogenaamde ecosystemen. Overal op de aarde waar bossen als natuurlijke ecosystemen voorkomen zijn zij oorspronkelijke oervegetaties. Deze hebben zich door ontwikkelingsprocessen van honderden, duizenden en in enkele tropische oerwoudgebieden wellicht zelfs miljoenen jaren ontwikkeld. De bos-ecosystemen zijn verschillend van samenstelling en structuur, afhankelijk van klimaat, topografie, bodem, waterhuishouding en andere invloeden. De invloed van de mens (beweiden, branden, kappen) is op de samenstelling vaak van overwegend belang geworden. De diversiteit van bos-ecosystemen is veel groter dan de niet-ingewijde zich in het algemeen realiseert. In een klein land als Nederland zijn er al tenminste vijftig verschillend gearde bos-levensgemeenschappen. Dit aantal is voor West Europa een veelvoud daarvan en dit geldt ook voor andere gebieden.

De diverse bos-levensgemeenschappen herbergen een onvoorstelbare verscheidenheid van planten- en diersoorten in combinaties of associaties, die kenmerkend zijn voor de betreffende ecosystemen. Deze ecosystemen zijn aan hun karakteristieke planten- en dierenwereld ook herkenbaar (bijv. in Nederland een eikenberkenbos, een elzenbroekbos enz.).

De natuurlijke bossen en vooral de ongerepte oerbossen zijn biologisch bijzonder rijke ecosystemen, vaak de rijkste die in een landstreek voorkomen. In natuurlijke bossen leven planten en dieren die zich in cultuurbossen en cultuurlandschappen niet kunnen handhaven en die daardoor uit vele landstrekken bijna of geheel zijn verdwenen.

Deze biologisch rijke bos-ecosystemen zijn voor de samenleving op verschillende manieren van belang. Zij zijn allereerst de onvervalste vertegenwoordigers en veelal de laatste overblijfselen van de oorspronkelijke bossen en wouden, die ook in Nederland in lang vervlogen tijden vrijwel alle hogere gronden bedekten. In de nu nog bestaande bossen zijn die oorspronkelijke boslevensgemeenschappen met hun eigen flora en fauna nog min of meer behouden. Het verloren gaan van zo'n natuurlijk bosoverblijfsel kan gelijk staan met het uitroeien van een bostype dat elders al niet meer voorkomt. Het behoud van zo'n type is uit een oogpunt van natuurbehoud van nog meer betekenis dan het toch ook belangrijke behoud van zeldzame, wellicht zelfs met uitsterven bedreigde soorten planten en dieren, waarvoor zowel de overheid als particuliere organisaties (bijv. het World Wildlife Fund) zoveel moeite doen.

Het behouden van bovenbedoelde bossen dient ieder land als een culturele verplichting te beschouwen.

Betekenis van onderzoek

Het behoud van bossen heeft nog meer betekenis dan alleen het behoud van onvervangbare ecosystemen met de daarin levende soorten planten en dieren. Door hun ouderdom van eeuwen of duizenden jaren of meer hebben de boslevensgemeenschappen zich ontwikkeld tot systemen waarin alle soorten in een complexe relatie met elkaar zijn verbonden. Zo'n relatie ligt bijv. in hun functie als producenten (groene planten), als consumenten (planteneters en vleeseters) en als reducenten (bijv. bij strooiselvertering). Daardoor voltrekken zich in bossen min of meer gesloten kringlopen en handhaven zich evenwichtssituaties, die kenmerkend zijn voor het ecosysteem in kwestie en die buiten het bos niet worden gevonden.

Het is van het grootste belang, dat, waar dat maar kan, zulke kringlopen en evenwichtstoestanden in boscomplexen behouden blijven. Zulke eenheden zijn waardevol, o.a. als studieobject. De mens, die altijd ingrijpt in de 'natuurlijke' gang van zaken, bewust of onbewust en in de meeste gevallen met

goede bedoelingen, maakt ook altijd weer fouten. Wij zijn uiteindelijk alleen door de bestudering van zo min mogelijk gestoorde natuur in staat zoveel van de natuur te leren, dat er tenslotte met onze ingrepen geen fouten meer worden gemaakt.

De bestudering van bossen heeft daarmee meer functies dan alleen maar het verkrijgen van kennis en inzicht in het samenspel van factoren en de wisselwerking van de organismen. Deze kennis wordt, als het goed is, allereerst toegepast in de bosbouw, maar daarna ook in het algemeen. Door het stelselmatig waarnemen en analyseren van veranderingen wordt het ook mogelijk na te gaan welke invloeden schadelijk zijn en verarmend. Dat geeft de gelegenheid de beïnvloeding te wijzigen en de ingrepen te verbeteren. Dat geldt voor klimaat, bodem, waterhuishouding en voor planten- en dierenwereld.

Het spreekt vanzelf dat deze studie tevens van direct belang is voor voorlichting, opvoeding en opleiding. Die aspecten worden wel eens veronachtzaamd.

4.2. Welzijnsfuncties van het bos

De hierna te bespreken welzijnsfuncties zullen worden onderverdeeld in de volgende onderwerpen.

- Klimaatbeïnvloeding
- Waterhuishouding
- Bodembehoud
- Luchtzuivering
- Behoud van biologisch evenwicht
- Landschapsschoon
- Recreatie
- Bos, wild en wildbeheer
- Lawaaidemping
- Andere functies

Klimaatbeïnvloeding

De enige en alomvattende motor van het klimaat op aarde is de zon. Andere energiebronnen (nucleaire processen, getijden, aardwarmte) hebben geen noemenswaardige invloed, althans niet op het gehele oppervlak. De primaire invloed van de zon op de aarde is een temperatuursverhoging, met als secundaire gevolgen wind en verdamping van water. Daarnaast is de zonnestraling de grote motor voor het assimilatieproces in de groene planten, zowel op het land als in de zee.

De niet-afgezwakte uitersten van het klimaat op aarde komen niet overeen met de optimale levensomstandigheden van de meeste levende organismen op aarde, hoewel vele organismen zich op verschillende manieren door speciale voorzieningen hebben kunnen aanpassen (bladval bij bomen, winterslaap, ei-toestand of larve-toestand in de winter,

sclerotium¹⁾ in droge omstandigheden. Eén van de natuurlijke buffers voor klimaatextremen wordt gevormd door bosbegroeiing.

Het bos gebruikt, evenals de andere groene planten, een deel van de invallende stralingsenergie in het assimilatieproces. Daardoor wordt dit deel aan de zonne-energie onttrokken. Ten opzichte van de totale invallende straling is dat weinig, maar in absolute cijfers gaat het om geweldige hoeveelheden. Een tweede bufferwerking, die principieel verschilt van het assimilatieproces, is de afzwakking of afvlakking van sterke temperatuurwisselingen. Door het bladerdak, de eventueel aanwezige struikenetage en de kruidenlaag kan de zonnestraling de bodem niet bereiken. Deze straling wordt voor een deel teruggekaatst naar de atmosfeer. De bosbodem blijft door het bladerdak overdag koel, terwijl des nachts de warmte-uitstraling van de bodem wordt verminderd. Binnen de aldus ontstane nauwer begrensde temperatuurzone kan het leven van flora en fauna, inclusief de belangrijke en gevoelige microflora en microfauna, constanter verlopen. Dat is van grote betekenis voor het bodembehoud (humusvorming) en daardoor voor de waterhuishouding, alsmede voor de kringlopen in het bos-ecosysteem. De toename van levende massa (niet alleen hout en andere plantenstoffen doch ook de

fauna met 1 kg dieren op 10 kg planten) is er hoger dan op het vrije veld of op landbouwpercelen en weidegrond. Het betreft hoeveelheden ongeacht kwalitatieve verschillen en bruikbaarheid. De mens kan proberen de kwaliteit en de gebruiksmogelijkheden nog te verbeteren, maar die mogelijkheden zijn slechts beperkt en soms ook te duur.

Een rechtstreeks gevolg van de werking van de zon is de wind. Die ontstaat wanneer grote luchthoeveelheden op enige afstand van elkaar, een ongelijke temperatuur krijgen en daardoor een ongelijke dichtheid. De lucht stroomt dan van het gebied met hoge druk naar het gebied met lage druk. Daarbij spelen overigens ook nog andere meteorologische processen en de draaiing van de aarde een rol. Het bos vermindert de temperatuurverschillen en dus de kans op het ontstaan van wind.

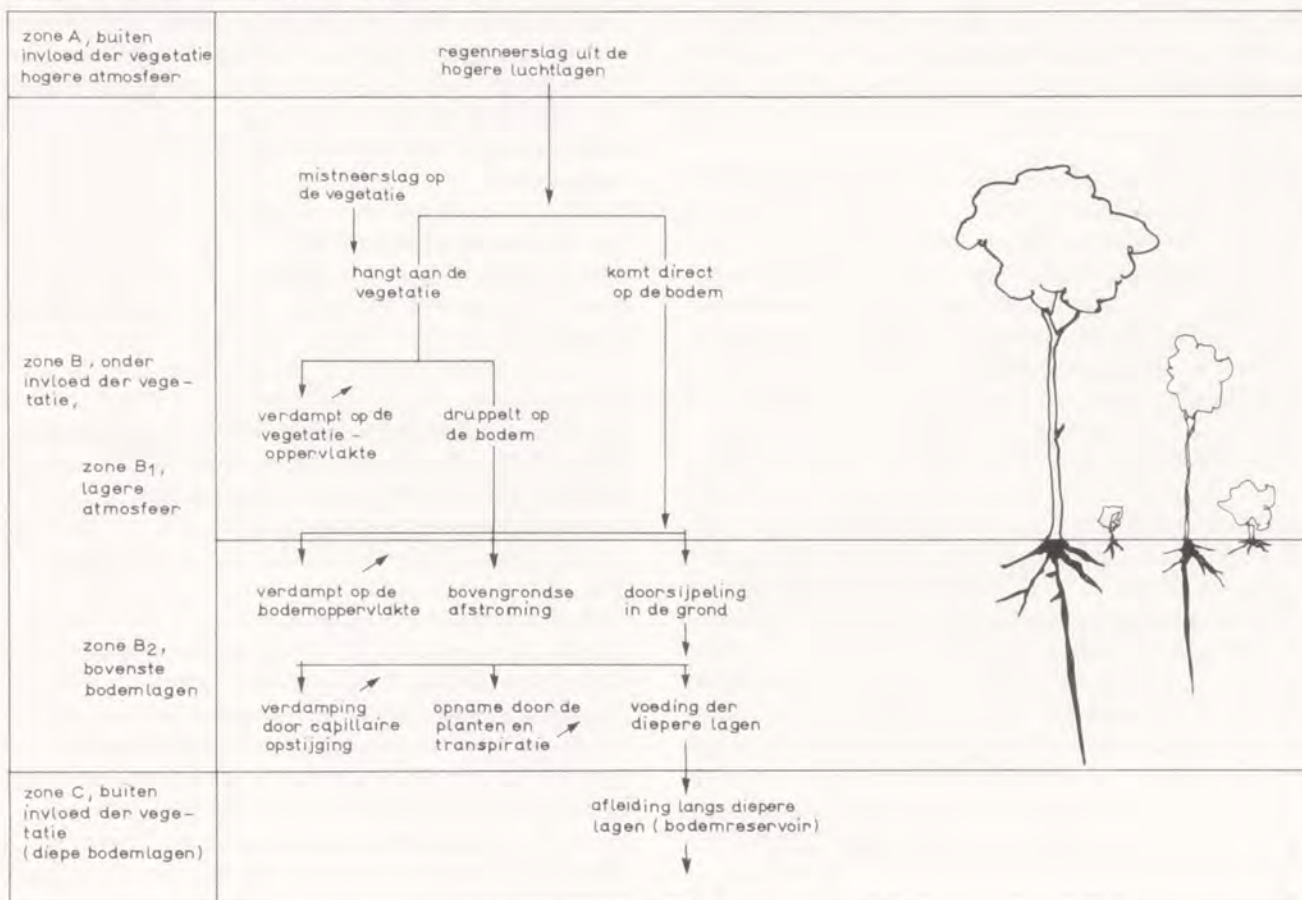
Wanneer een wind het bos treft, wordt de kracht zodanig afgezwakt dat hij in het bos nauwelijks merkbaar is. De windsnelheid in een gesloten bos bedraagt slechts een fractie van die in het vrije veld ernaast.

De wind heeft altijd een uitdrogend effect op bodem en flora. Dit effect is dus in het bos en nabij de rand gering en dat heeft weer invloed op de waterhuishouding en het bodembehoud.

Overigens zorgt de wind ook voor het transport over de aarde van het water in de atmosfeer in de vorm van wolken en vochtige luchtlagen. Temperaturdalingen kunnen deze waterdamp doen con-

¹⁾ Sclerotium = een planteweefsel van cellen die zich in een laat stadium verharderen.

Figuur 1. De hydrologische werking van bossen.



denseren en daarmee neerslag veroorzaken. Zelfs boomsingels, bestaande uit enkele rijen bomen, hebben reeds een merkbaar verzwakkend effect op de wind, vooral als die er min of meer loodrecht op staat.

Waterhuishouding

Het water in de bodem van een gesloten bos kan niet noemenswaardig verdampen doordat de zonnestraling de bodem niet kan verwarmen en doordat er geen wind is die de vochtige lucht afvoert. De humuslaag in een bos is meestal enige decimeters dik en werkt als een spons die een veelvoud van zijn eigen massa aan water kan opnemen. Dat water dringt vervolgens langzaam door naar de diepere grondlagen.

Het bladerdak der bomen, de kruidenlaag en het tak- en bladafval breken de kracht van zware regendruppels en hagelstenen die de bodem anders zouden dichtslaan. Daardoor liggen de bodemporiën open. De gangen van wormen en andere gravende dieren, alsook de kanalen van vergane boomwortels vergroten de indringingsmogelijkheid voor het water in de bodem. Op hellingen wordt de afstroomsnelheid van water uit zware regenbuien sterk verminderd als die hellingen bebost zijn. Het staande hout, oppervlakkige wortels, afgevalven takken en bladeren vormen een grote weerstand. Het regenwater heeft daardoor ook meer tijd om in de bodem door te dringen.

Sneeuw in het bos ontvangt minder zonnestraling dan op het vrije veld. Daardoor smelt de sneeuw langzamer, zodat de toevoer van water over een langere periode wordt gespreid.

Al deze gunstige effecten ontbreken of zijn veel zwakker op kale gronden, landbouwgronden of weidegronden.

Ter illustratie van allerlei genoemde effecten is Figuur 1 opgenomen.

De sponswerking brengt met zich mee dat er in beboste gebieden nauwelijks kans is op overstromingen en erosie als gevolg van te snelle waterafvoer. Bovendien wordt het water gedurende langere tijden opgeslagen en gebufferd in de bosspoons, zodat er ook in neerslagarme perioden geen gebrek aan water heerst.

Naast de genoemde onmiskenbaar gunstige invloeden van het bos op de waterhuishouding is er evenwel ook een minder gunstig effect. Dat is de hoge transpiratie van het bos, waardoor een belangrijk deel van het verzamelde water weer uit de bodem verdwijnt zonder af te stromen. Alle levende planten verliezen water door transpiratie. In het bos kan dit verschijnsel in het groeiseizoen bijzonder hoge waarden aannemen. In een cultuurbos kan dit worden verminderd door de keuze van houtsoorten (dus houtsoorten met een lagere verdamping dan andere).

Het is ook mogelijk de transpiratie van een bosper-

ceel te verlagen door een beperkt aantal bomen te kappen, zodat de stand wat wijder wordt. De houtopbrengst zal echter evenredig lager zijn en sommige van de gunstige effecten van het bos worden verzwakt. In ieder geval moet worden vermeden dat door uitdunning van het bos verdamping uit flora en bodem gaat optreden. In Duitsland is bepaald dat op een zomerdag de dagelijkse transpiratie in een volwassen bos, afhankelijk van de houtsoort, tussen 23 en 53 ton per hectare ligt, hetgeen overeenkomt met een regenval van 2,3 – 5,3 mm. Hieruit werd berekend dat 1 gram vers blad dagelijks 1,3 tot 9,5 gram water verdampt. Deze hoeveelheden zijn niet alleen afhankelijk van de boomsoort, maar ook van temperatuur, luchtvochtigheidsgraad, bewolking, windkracht, regenval, bewortelingstoestand en watertoestand in de grond.

Over het gehele groeiseizoen gerekend, bedragen de waterverdampingscijfers:

gematigde klimaatszone	74 tot 274 mm
oostkust van Florida	430 tot 560 mm
tropisch regenbos	3000 tot 3500 mm

Enige wereldcijfers

Naar schatting is er in de atmosfeer over de gehele aarde permanent ca. 13×10^{12} m³ water aanwezig. Door verdamping vanaf het aardoppervlak komt hier dagelijks gemiddeld ca. 10^{12} m³ bij en gaat er als neerslag evenveel af. Over een etmaal gerekend, is met deze verdamping en condensatie een energie gemoeid van ca. $2,3 \times 10^{21}$ J. De energie (ca. 10×10^{18} J) die nodig is voor de verplaatsing van deze waterhoeveelheid over gemiddeld enige kilometers in verticale richting is daarbij te verwaarlozen.

Dergelijke astronomische cijfers geven enig idee van de energiehoeveelheden welke vrijkomen bij een cycloon of ander noodweer. Overigens is het bos niet in staat dergelijke natuurrampen af te zwakken.

Bodembehoud

Het is duidelijk dat in een bos de voorwaarden voor bodembehoud optimaal zijn. Uit het voorgaande is immers gebleken dat in een bos geen of weinig water- en winderosie plaats vinden en dat er weinig verdamping van water uit de bodem optreedt.

Luchtzuivering door het bos

Zowel chemisch als fysisch oefent het bos een zuiverende werking uit op vervuilde lucht.

Door fotosynthese onder invloed van de zonnestraling wordt het koolstofdioxide (CO₂) uit de atmosfeer in groene planten omgezet in koolstof en zuurstof. De zuurstof wordt daarbij voor het grootste deel aan de atmosfeer afgestaan. Deze koolstofassimilatie is als volgt over de groene planten verdeeld:

algen in de wereldzeeën	70%
het wereldbos	25%
alle overige groene planten	5%

Bij dit proces worden, naast koolstofdioxide, chemische luchtverontreinigingen door het blad ingeademd en in het blad vastgelegd. Deze luchtverontreiniging kan door aard en concentratie de boom in zijn levensproces bedreigen.

In dit opzicht is naaldhout – dat immers zijn naalden vele jaren achtereen draagt – gevoeliger dan loofhout, dat reeds na één groeiseizoen de bladeren met het opgeslagen gif laat vallen.

Grove, fysische luchtverontreiniging (roetdeeltjes e.d.) wordt eveneens door het bos verminderd omdat deeltjes in de vrijwel windloze atmosfeer van het bos tot bezinking komen. In bossen nabij industriegebieden kan dat jaarlijks enige tientallen tonnen per hectare bedragen.

Lawaaidemping

Lawaai kan worden opgevat als een hinderlijke vorm van luchttrillingen met soms ernstige gevolgen voor geest en lichaam van de mens. Lawaai vergroot de prikkelbaarheid en heeft een ongunstige invloed op de werk- en levenslust. Zenuwen en sommige organen of orgaanfuncties (hart, bloedsomloop, bloeddruk, gehoor e.a.) worden extra belast en kunnen in ernstige gevallen zelfs worden geschaad.

Lawaai is een onvermijdelijk bijproduct van ons levenspatroon. Zoals met alle euvels en kwalen, is voorkomen beter dan genezen. Als vermindering of afscherming van lawaai bij de bron niet mogelijk is, kan in sommige gevallen bosbegroeiing een duidelijke afscherming tegen lawaai bieden. Dit kan echter alleen bij lawaai dat zich over het vrije veld verspreidt, zoals het lawaai dat uitgaat van autowegen en van industriecentra.

Luchttrillingen ondervinden weerstand als zij in aanraking komen met obstakels. Afhankelijk van de gladheid van het oppervlak van het obstakel kan een deel van het geluid worden weerkaatst. Bosbegroeiing is een effectief obstakel omdat stammen, takken, twijgen, bladeren, naalden en bladstelen diverse frequenties opvangen en verzwakken, terwijl ook de humuslaag en het bladafval daarbij een rol spelen. Het bos werkt min of meer selectief, in die zin dat juist de hoogste frequenties, die het schadelijkst kunnen zijn, het meest worden gedempt bij hun botsing met de fijnere, min of meer veerkrachtige plantendelen. In dit opzicht werken niet alleen de diverse plantendelen, maar ook de diverse houtsoorten ongelijk op de diverse frequenties. Zo zal het effect van bladeren en bladstelen van loofbomen anders zijn dan dat van naalden van coniferen. Voorts is er verschil tussen zomer en winter, doordat loofbomen in de winter (op een enkele uitzondering na) in onze streken kaal staan, terwijl coniferen (in het algemeen) dan nog naalden bezitten.

Wanneer men tracht door middel van boombegroeiing de lawaai-overlast te verkleinen, dient men zo mogelijk een gemengde begroeiing aan te planten. De bomen moeten niet alleen variëren naar houtsoort maar ook naar grootte. Met dit laatste vermijdt men dat onder de kroonetage van een eensoortige volwassen bosopstand het lawaai te weinig weerstand ontmoet. Onder andere om deze reden worden langs autowegen en rondom industriecentra liefst boomsingels van diverse houtsoorten aangelegd. In grote steden vervullen plantsoenen en groengordels min of meer dezelfde functie. Niet alle houtsoorten zijn echter onbeperkt mengbaar. Om de singel of groengordel goed te vullen, moet bovendien ruime aandacht worden besteed aan schaduwverdragende houtsoorten en ook aan laagblijvende planten zoals bijvoorbeeld rhododendrons en een gemengde onkruidflora.

Er zijn kwantitatieve onderzoeken verricht naar het verband tussen de breedte van een groengordel en de vermindering van het lawaai. De uitkomsten zijn niet eenduidig vanwege de variaties in de begroeiing, de aard van het lawaai, het jaargetijde, het weer (nat en droog) en speciaal ook de luchtvochtigheid, de terreingesteldheid, de aanwezigheid van een humus-, takken- of bladlaag, de wind enz. In ieder geval worden de hoge tonen sterker verzwakt dan de lage. Een goed gesloten groengordel van enige tientallen meters breed kan de intensiteit van hoge tonen tot op ongeveer de helft reduceren, terwijl een gordel van minstens 100 meter breedte alle lawaai tot op minder dan 25% kan terugbrengen. Een wal van enkele meters hoog, met gemengde boomaanplant, behoeft lang geen 100 m breed te zijn om dezelfde reductie tot 25% te realiseren.

Behoud van biologisch evenwicht

In het algemeen kan worden gesteld, dat de interne regulatie van boscystemen zodanig is, dat de populaties van planten en dieren elkaar in een soort evenwichtstoestand houden. Daardoor komen er in niet- of weinig gestoorde bossen zelden eenzijdige ontwikkelingen en plagen voor. Deze regulerende werking, die samenhangt met de veelzijdigheid en de soortenrijkdom van de boslevensgemeenschappen, is niet tot het bos zelf beperkt. Er is ook een invloedssfeer buiten het bos in de naaste omgeving. Het gaat vooral om regulerende werkingen op zoogdieren, vogels, reptielen en insecten. Er is echter nog onvoldoende onderzocht hoe ver deze werking zich van geval tot geval uitstrekt.

Het is van betekenis voor het milieu wanneer in het cultuurlandschap tenminste restanten bos in stand worden gehouden.

Bos als genenbron

Omdat de meeste oorspronkelijke en van nature voorkomende organismen zich in de nu nog bestaande bossen en vooral de natuurlijke bossen

hebben kunnen handhaven, zijn deze bossen zonder uitzondering belangrijk als genenbron. Deze bossen zijn potentiële leveranciers van soorten planten en dieren die nu nog niet door de mens worden benut, maar in de toekomst mogelijk wel. Zo kunnen wilde plantensoorten, z.g. botanische soorten, worden gebruikt ter veredeling van verwante cultuurgewassen, zoals peren, appels, andere vruchtbomen en ook populieren, wilgen, essen. Het kan ook gaan om soorten waarvan men nu nog denkt dat zij wel nooit economische betekenis zullen hebben, maar die door onvoorziene omstandigheden ineens nuttig en van belang kunnen worden. Bossen, waarin vele botanische soorten voorkomen, zijn daardoor een soort reservoir voor toekomstmogelijkheden. Daarom zijn representatieve natuurbosreservaten voor de samenleving van groot belang. Deze reservaten moeten groot genoeg zijn om er zeker van te zijn dat alle elementen van de betreffende bos-ecosystemen zich tot in lengte van jaren zullen kunnen handhaven. Wetenschappelijk onderzoek is op dit gebied nog nauwelijks verricht. Toch wordt het reserveren van 10% van het bestaande bosoppervlak wel als norm aangenomen.

Landschapsschoon

De schoonheid van het bos ligt in de subjectief-menselijke sfeer. Aangezien dit door velen – en in ieder geval in Nederland – in grote mate op gelijke wijze wordt beleefd, moet hieraan een reële betekenis worden toegekend. Uit economische motieven is het bosareaal van Nederland in de loop der tijden zodanig verminderd dat dit thans nog maar ca. 8% van de totale oppervlakte bedraagt. Met de toegenomen welvaart, vrije tijd en een ruimer begrip voor het natuurgebeuren begint men dat als een tekort te voelen. Dit gaat soms ook in de richting van nostalgie. Men wil nabij woningen zo veel mogelijk parken en geboomte hebben; zelfs is het begrip woonbos ontstaan, wat betrekking heeft op woningen die verspreid in het bos staan.

Om psychologische redenen wordt langs autowegen liefst afwisseling in het landschap gebracht en daarbij wordt graag gebruikt gemaakt van bospercelen. Daarbij heeft bebossing nog de bekende pluspunten van geluiddemping en vermindering van de windkracht. Loofbomen langs de weg hebben echter in de herfst het nadeel van bladval op het wegdek, wat gladheid kan veroorzaken.

Theoretisch kunnen bomen die in de eerste plaats het landschapsschoon dienen, nog een bijdrage leveren aan de houtvoorziening. De ervaring wijst echter uit dat bomen uit particuliere tuinen veelal te oud worden. De houtkwaliteit vermindert dan zodat het materiaal tenslotte nog slechts geschikt is voor openhaardvuren. Voor grotere bomencomplexen, onder zeggenschap van de overheid kan een bedrijfsplan worden opgesteld. Daarin moet dan de sociale functie van het landschapsschoon voorop staan. Dat maakt de economisch toch al

niet aantrekkelijke aspecten van de bosbouw nog ongunstiger. Daarbij komt nog dat het moeilijk is om met zwaar mechanisch materiaal te werken op een betrekkelijk kleine oppervlakte.

Recreatie

De laatste jaren hebben een stormachtige ontwikkeling van allerlei vormen van recreatie met zich meegebracht.

De openluchtrecreatie is er daar een van. Steeds meer mensen willen in hun vrije tijd naar buiten, de natuur in. Daardoor wordt, zowel door overheden als door ondernemingen, veel aandacht aan recreatiemogelijkheden besteed. Er worden grote bedragen geïnvesteerd in recreatieve voorzieningen op allerlei gebied. Zo worden er recreatiewegen aangelegd, recreatiegebieden ingericht, bos- en natuurgebieden voor recreatie toegankelijk gemaakt en worden recreatiebossen aangeplant.

De openluchtrecreatie speelt zich voor een groot deel af in bossen. De beheerders van deze bossen moeten zich op deze ontwikkeling instellen. Bosbeheer is, als gevolg daarvan, momenteel bijna altijd gericht op veelzijdig gebruik en daarbij wordt extra aandacht gegeven aan de recreatie. Er wordt bij dat beheer gestreefd naar het behoud van alle functies van het bos, ook het behoud van de rust en van de wilde flora en fauna, die voor een groot deel de kwaliteit van het recreatiegenoege bepalen.

De bossen zijn voor de recreatie van veel belang, doordat men daar rust en stilte, beschutting en zuivere lucht vindt. De bezoekers van bossen genieten er van de natuur, van de schoonheid van het landschap, van de planten en van de dierenwereld. De levensgemeenschappen van het bos worden als harmonisch ervaren. Recreanten beleven hun verblijf in het bos als heilzaam en restaurerend. Zij doen er inspiratie op voor het volbrengen van hun werkzaamheden in het dagelijks leven.

De meeste bossen, zeker de grotere complexen, zijn geschikt voor alle vormen van recreatie en worden in alle jaargetijden bezocht.

Het belang van de bossen voor de recreatie is zo groot, dat daarmee afzonderlijk wordt rekening gehouden bij het vaststellen van bestemmingen zowel op nationaal als op regionaal en plaatselijk niveau (een enkele maal zelfs op interlandelijk niveau). Bossen worden daarom vaak beschouwd als beschermde gebieden. In vele landen zijn het belangrijke elementen in de speciaal voor het toerisme ingestelde nationale natuur- en landschapsparken. Inrichting en ontsluiting, voorzieningen ten behoeve van de recreatie en het bosbeheer zijn grotendeels gericht op de recreant. Er moeten daarbij wel maatregelen worden getroffen, dat de recreatie het bos niet schaadt. Dat geldt zowel het beschadigen van de plantengroei als de verstoring van de dierenwereld. Het beheer van bosgebieden ten be-

hoeve van de recreatie moet bijna altijd gepaard gaan met het houden van toezicht en het begeleiden van het publiek.

Het is meestal nodig, bepaalde gedeelten af te sluiten voor het publiek. Daarmee kan worden bereikt dat waardevolle elementen van het bos geen gevaar lopen, terwijl het publiek toch genoeg bewegingsvrijheid krijgt.

Indien de recreatiedruk erg hoog is kan het noodzakelijk zijn het publiek alleen op wegen en paden of door middel van geleide excursies toe te laten.

In beginsel kunnen alle functies van het bos zonder ontaarding en verarming worden gecombineerd. De belangen zijn echter te vaak zo tegenstrijdig, dat het combineren niet goed mogelijk is. Dat geldt vooral voor kleinere boscomplexen. Daar moeten prioriteiten worden vastgesteld. In uitgestrektere boscomplexen van 500 ha en meer kan er gelukkig veel worden bereikt. Dit vereist zorgvuldige planning, waaraan door verschillende deskundigen moet worden meegewerkt. Daarbij kunnen plaats en omvang van botanische reservaten en rustgebieden en produktiegebieden worden bepaald, evenals die delen van het gebied waar het publiek bij voorkeur kan worden toegelaten.

Dat kan evenwel alleen worden gerealiseerd, wanneer deskundige leiding, voldoende mankracht, materieel en fondsen ter beschikking zijn. Wordt aan deze voorwaarde niet voldaan, dan is ontaarding niet te voorkomen. In feite wordt er dan roofofbouw gepleegd. Dit komt, helaas, vaker voor dan men denkt.

Er zijn in enkele dichtbevolkte landstreken bosgebieden waar een dergelijk, met alle belangen rekening houdend, beheer wordt gevoerd. Nadere studie van dergelijke gebieden zal de basis moeten vormen voor inrichting en beheer van bossen, bijv. nabij verstedelijkte gebieden, die in de toekomst intensieve recreatie zullen moeten verwerken.

Bos, wild en wildbeheer

Bos en wild worden bijna altijd met elkaar in verband gebracht, en daar is alle reden voor. Bossen vormen overal de hoogstontwikkelde levensgemeenschappen met de rijkst ontwikkelde plantengroei en dierenwereld. Overal waar bossen nog betrekkelijk intact zijn, vinden talloze dieren bestaansmogelijkheden; in grotere bossen zelfs aanzienlijke aantallen van grote herbivoren en grote populaties vogels.

Zolang de mens op aarde leeft, heeft hij op wild gejaagd, vooral om in zijn levensonderhoud te voorzien. Daardoor is er altijd jacht op de grotere dieren in het bos geweest. Het wild is in dit geval te beschouwen als een bos-bijproduct. Het oogsten van dit produkt door middel van de jacht is een onderdeel van een normale exploitatie, voor zover het

oogsten op een verantwoorde manier gebeurt en er geen roofofbouw wordt gepleegd.

Het jagen om den brode is in vele landen gewoon. In West-Europa en in vergelijkbare regionen, zijn de beroepsjagers nog slechts gering in aantal. De zich illegaal aan het wild van anderen vergrijpende stropers worden niet tot de beroepsjagers gerekend.

Meestal wordt de jacht in West-Europa en elders als sport uitgeoefend, door gekwalificeerde jagers. D.w.z. door jagers die het veld en het wild kennen en vaardig zijn in het bemachtigen van het wild. Enkele van de in West-Europa bejaagbare soorten boswild zijn herbivoren zoals eland, edelhert, damhert, ree, wild varken, haas, konijn en pelswild zoals das, vos en boommarter. De tot het jachtwild behorende bosvogels zijn vooral de hoenderachtigen, zoals auerhoen, korhoen, hazelhoen en fazant, maar ook houtduif en houtsnip.

Verantwoorde jacht oogst niet meer dan de jaarlijkse aanwas en ook daar waar er moet worden gereguleerd. Voor de rust en instandhouding van het levensgebied van het wild moet worden zorggedragen.

Slechts dan kan van een goed wildbeheer worden gesproken.

Helaas is het wildbeheer niet altijd goed. Er wordt in vele landen niet oordeelkundig gejaagd. Overbejaging, d.w.z. meer afschieten dan een populatie kan verdragen, onaanvaardbaar verontrusten en schaden, verstoren van evenwichten en op andere manieren bederven van het milieu komen veel voor. Dergelijk wildbeheer is wanbeheer, het leidt onherroepelijk tot ontaarding en verarming en uiteindelijk tot verlies van het wild als welvaartsbron. Het is verheugend, dat vele nationale en internationale organisaties, vooral de C.I.C. (Conseil International de la Chasse et de la conservation du Gibier, te Parijs), zich inzetten voor beter wildbeheer. Het is de vurige wens van alle beheerders van bos en van wild dat deze organisaties hun werk met succes voortzetten.

Andere functies

Bossen worden ook benut voor een aantal activiteiten die op zich zelf niets met bos of houtproductie te maken hebben. Het gaat hier om trimbanen, speelterreinen, motorcrossbanen, bobslee- en skibanen, padvindingskampen, militaire oefenterreinen, caravan standplaatsen, opslagplaatsen, afvalberging enz.

Deze activiteiten vinden vaak en soms bij uitstek in bossen plaats, omdat bossen daarvoor door hun uitgestrektheid, hun afgelegenheid en hun structuur geschikt zijn. Bossen worden ook wel verkozen omdat men in bossen veel kan doen zonder al te veel schade.

De betekenis die bossen voor deze activiteiten hebben, is niet onbelangrijk. Deze activiteiten kunnen

in andere gebieden, bijv. landbouwgebieden of natuurterreinen, niet kunnen worden toegelaten. Het gaat veelal maar om kleine oppervlakten, maar de invloeden van deze activiteiten kunnen verder reiken dan het gebruikte oppervlak. Vaak worden de bosecosystemen aangetast, al is het lokaal. Dit heeft gevolgen voor de andere functies, o.a., die van de houtproductie en die van het behoud van de biologische rijkdom.

In de Nederlandse samenleving is vooral de gebruikswijze als militair oefenterrein minder populair.

Op deze zelfde bosterreinen vindt echter buiten de militaire oefentijden burgerrecreatie plaats.

Bij het militaire gebruik staan de terreinen onder deskundig toezicht. Daardoor kan er op worden gelet dat de gebruiksdruk is gespreid, zowel wat areaal als wat tijd betreft. Bovendien zijn fondsen beschikbaar om schade zo goed mogelijk te herstellen. De frequentie van militair gebruik is per terreindeel niet hoog en herstel blijkt veelal mogelijk. Bij recreatief gebruik van deze terreinen kan deskundig toezicht niet steeds aanwezig zijn. Recreanten keren vaak in niet aflatende intensiteit terug naar steeds eenzelfde plek. Een dergelijk gedragspatroon kan ernstige blijvende verstoring van flora en fauna met zich meebrengen. Zoals uit een onderzoek in deze richting is gebleken, oefenen deze recreanten – hoewel minder spectaculair – op bepaalde terreindelen een grotere druk uit en geven ernstiger verstoring dan bij militair gebruik.

De bestemming en het beheer van bossen zal met alle bovengenoemde activiteiten rekening moeten houden, vooral wanneer zij op bepaalde plaatsen onvermijdbaar zijn. De schade zal dan door het zorgvuldig opstellen van plannen en door begeleiding tot een minimum moeten worden beperkt. Het is gewoonlijk mogelijk tot aanvaardbare oplossingen te komen.

4.3. Werkgelegenheid

Bossen leveren hout en bijprodukten. Daarmee is arbeid verbonden.

In 1978 was er in Nederland aan uitvoerend werk 1 manjaar per 100 hectare bos nodig.

Uit publikaties van het Landbouw Economisch Instituut [8] blijkt dat zich de totale hoeveelheid arbeid bij het beheer van Nederlands bos- en natuurterreinen als volgt is verdeeld:

bedrijfsleiders (excl. eigenaren)	320
werkleiders (excl. eigenaren)	83
toezichthoudend personeel bij	
onderhoud en jacht	175
uitvoerend personeel	2723
tijdelijk tewerkgesteld personeel	

volgens A.W. regeling (aanvullen-
de werkgelegenheid) 528

4029 manjaren

Daar komen nog bij de werkzaamheden in de sectoren bos- en haagplantsoen (kweken en uitplanten van de kwekerijprodukten) en bij de handel in inlands rondhout. Daarmee zijn nog ca. 675 manjaren gemoeid.

Het totaal aantal manjaren van ca. 4700 zal in de naaste toekomst naar verwachting weinig wijziging ondergaan. Wellicht zal het aantal uitvoerend personeel door enige toename van mechanisatie iets dalen, daarentegen kunnen leiding en toezicht ten gevolge van de opvoering van de kwaliteit van het beheer iets toenemen.

Vooruitlopend op hoofdstukken IV en V wordt hier voor het aandeel van de Nederlandse hout- en meubelindustrie, de papier- en kartonindustrie en de papierwarenindustrie een aantal van 17.500 werknemers opgegeven [2].

5. Beheer en exploitatie van bossen

5.1. Natuurbos en cultuurbos

door ir. J.A. Lasschuit

Voor een beter begrip van beheer en exploitatie van het bos is het nuttig het onderscheid tussen natuurbos en cultuurbos te kennen.

De ergste vernielers van het natuurbos is altijd de mens geweest en dat is hij nog steeds met behulp van vuur, bijl en zwaar mechanisch materiaal. Sedert de mens op aarde is gaan ingrijpen in de natuurlijke bosbegroeiing is er reeds meer dan 1 miljard hectare van het natuurbos verdwenen, zodat er thans nog ca. 4 tot 4½ miljard hectare (natuurbos en cultuurbos te zamen) resteert, zij het soms in erbarmelijke staat.

Zoals elders reeds is vermeld, zijn er thans ruim 50.000 houtsoorten bekend en dat getal wordt geleidelijk steeds groter naarmate ook de meest ontoegankelijke bossen worden doorzocht. Houtsoorten hebben zich aangepast bij het klimaat en de bodem. Een extreem voorbeeld van aanpassing is het vloedbos. De menging van houtsoorten en de soortenrijkdom is in de tropen verreweg het grootst; in een betrekkelijk klein boscomplex vindt men daar vaak reeds tientallen tot honderden houtsoorten door elkaar van geheel verschillende families en verschillende kwaliteiten. Alle bomen te zamen worden de opstand of de staande massa genoemd. Tot het bos moeten voorts worden gerekend de struiken, kruiden, zwammen, mossen, kiemplanten

en slingerplanten en ook de bosfauna. De dieren immers beïnvloeden mede de samenstelling van het bos (vraat, vertrappen van kiemplanten, verspreiding van vruchten en zaden).

In het algemeen krijgen in het natuurbos de houtsoorten die veel licht nodig hebben (de lichte houtsoorten) minder kans op verjonging dan de schaduwverdragende houtsoorten. Op de meeste plaatsen is onvoldoende licht voor de jonge lichte houtsoorten. Dit is een groot verschil met de aangeplante cultuurbossen, waar, na de kap van de kaprijpe opstand, gedurende enige tijd een overmaat aan licht is. De verjonging van lichte houtsoorten krijgt in het natuurbos eigenlijk pas een goede kans na een catastrofe (vooral brand en storm). Door het gunstige klimaat is in de tropen op niet te grote hoogte boven zee de soortenrijkdom het grootst (regenwoud). De exploitatie is veelal moeilijk en kostbaar, doordat lang niet alle houtsoorten worden gewaardeerd voor gebruiksdoeleinden. Deze ongewenste soorten worden niet gekapt en ze vormen obstakels voor de uitsleep van bomen die wél worden geëxploiteerd. De resterende bomen worden wel beschadigd, evenals de natuurlijke verjonging. Zij blijven echter hun functie van bodembeschermers nog redelijk vervullen, zodat slechts weinig degeneratie van de bodem optreedt. Voorts kunnen de resterende, minder bruikbare bomen fungeren als zaadbomen en zo de opengekomen plekken op natuurlijke wijze opvullen. De waardevolle bomen zijn nu door de exploitatie verdwenen en kunnen dus niet meer als zaadboom fungeren. Ook al zijn er dan grotere of kleinere aantallen bomen blijven staan, toch vermindert zo de kwaliteit van het bos.

Erger wordt het, wanneer ook de houtsoorten van mindere waarde worden geveld als grondstof voor plaatmateriaal, papier e.d., want dan blijft er niets staan, ook geen zaadbomen. De bodem staat dan bloot aan alle vormen van degeneratie, terwijl er geen levensmilieu overblijft voor de lagere bosflora en fauna.

Deze exploitatiemethode is vooral nog in gebruik in ontwikkelingslanden waar de herbebossing nog niet afdoende is geregeld. Natuurlijk kan men zo'n methode slechts één keer toepassen. Zo lang er nog oerbos op aarde voorkomt (omstreeks 1 miljard hectare, waarvan een deel in erbarmelijke toestand) zal men deze methode blijven toepassen. Men exploiteert tot de dood (van het bos) er op volgt.

Het is daarom in wereldverband gezien een ernstig nadeel dat de mens steeds meer kans ziet een toepassing voor houtsoorten van mindere waarde te vinden.

Het cultuurbos is door de mens aangeplant of uitgezaaid. Theoretisch zouden niet alle bomen van het cultuurbos gelijktijdig behoeven te worden geplant en behoeven dus niet van dezelfde leeftijd te zijn, maar om praktische redenen is dat als regel

toch wel het geval. Hoewel het cultuurbos bij diepere beschouwing minder in harmonie is met de natuur dan het natuurbos, biedt het in vergelijking daarmee toch ook wel enige pluspunten.

Deze pluspunten zijn:

1. Men kan iedere gewenste houtsoort kiezen die ter plaatse wil groeien, dus ook de lichte houtsoorten die in het natuurbos veel minder mogelijkheden hebben.

Ook kan men op kwaliteit geselecteerd plantmateriaal gebruiken.

2. Het is mogelijk de opstand te beheren en te oogsten aan de hand van een bedrijfsplan dat is gebaseerd op statistische gegevens. Van ingrepen zoals uitdunnen is voldoende nauwkeurig te voorspellen wat het meest gewenste tijdstip is en hoeveel het mag zijn.

Het bedrijfsplan voor een cultuurbos is redelijk eenvoudig en wekt meer vertrouwen dan dat voor een natuurbos. In verscheidene ontwikkelingslanden bestaat voor natuurbos overigens nog helemaal geen bedrijfsplan.

3. Het cultuurbos bestaat veelal uit een aantal percelen. De bomen binnen het perceel zijn dan van gelijke leeftijd, terwijl de percelen gelijkmatig in leeftijd verschillen. Het ligt dan – meer dan in het natuurbos – voor de hand een kaprijpe perceel in zijn geheel te kappen. Dit geeft concentratie van de werkzaamheden en er blijven geen bomen staan die de houtafvoer zouden kunnen belemmeren. Soms echter laat men enkele geselecteerde oude bomen staan ten behoeve van de zaadproduktie en om de schaduwwerking; hun aantal bedraagt dan niet meer dan enkele exemplaren per hectare.

4. In het cultuurbos hoeft men voor de totstandkoming van de opstand niet te wachten op de medewerking van de natuur (rijk zaadjaar, gunstige regenval e.d.). Voorts kan het soms lonend zijn een jonge aanplant te omgeven met een raster tegen wild.

5. In geval van ziekten en plagen kunnen de bestrijdingsmaatregelen worden geconcentreerd. Dit is overigens een punt van ietwat twijfelachtige waarde, want juist in een éénsoortig (of weinigsoortig) cultuurbos is ook de kans op concentratie van ziekten en plagen veel groter dan in het natuurbos. Dit wordt veroorzaakt doordat de meeste ziekten en plagen zich door hun selectieve aard in het natuurbos type minder zullen verspreiden doordat ze minder aangrijpingspunten vinden.

Zoals iedere medaille een keerzijde heeft, heeft het cultuurbos een aantal nadelen:

1. Bij de eindkap van een perceel cultuurbos komt de bodem voor minstens enige jaren minder beschermd te liggen. Dit geeft bodemdegeneratie door uitdrogen en uiteenvallen van de humuslaag. Dit heeft in tropische streken veel ernstiger

gevolgen dan in noordelijk gelegen streken. Voorts is er kans op erosie door water en wind doordat ook de beschermende microbegroeiing van het bos is weggevallen.

2. Het levensmilieu voor diverse plantensoorten en de bosfauna wordt met de kaalkap van het cultuurbos ernstig aangetast. Voor een aantal soorten is dat fataal.
3. De samenstelling van de overige bosflora en van de fauna is in een cultuurbos eenzijdiger (één of hoogstens enkele soorten) dan in een natuurbos.
Dit geldt niet alleen voor de bovengronds zichtbare soorten, doch ook voor de microflora en -fauna in de bodem.
4. Door de soortenarmoede van het cultuurbos is dit vatbaarder voor ziekten en plagen omdat die zich gemakkelijk van boom tot boom kunnen verspreiden. Deze zijn weliswaar ook tamelijk geconcentreerd te bestrijden, maar iedere bestrijding loopt altijd een slag achter en is nooit afdoende.
5. Vanwege de algehele kaalkap worden ook alle in de stammen opgeslagen mineralen afgevoerd, terwijl in het natuurbos een deel der mineralen weer in de kringloop van de natuur terugkeert zodra de minder gewaardeerde bomen een natuurlijke dood sterven.
De meeste mineralen bevinden zich in het nog levende deel van een boom. Wanneer bij de oogst de bladen of naalden, twijgen, dunnere takken en eventueel ook de schors en het jongere deel van het wortelstelsel in het bos worden achtergelaten, wordt een belangrijk deel van de mineralen aan de bosgrond teruggegeven.

Het is gebruikelijk bij het vergelijken van twee systemen een uitspraak te doen welke van beide de voorkeur verdient.

Uiteraard is dat hier niet van toepassing, want er is geen sprake van een alternatief; een natuurbos is een gave van de natuur waarop de mens alleen maar zuinig moet zijn.

5.2. Beheersystemen

door prof.ir. M.M.G.R. Bol, ir. N.A. den Hartog en ir. J.A. Lasschuit

Met beheersystemen kan de wijze worden bepaald waarop het bos wordt opgebouwd uit afzonderlijke bosopstanden en hoe het bos wordt geëxploiteerd. De samenstelling van de houtsoorten en de leeftijd van de diverse opstanden worden daarbij vastgesteld. Vooral de wijze van overgang van oud bos naar een nieuwe generatie is kenmerkend voor het systeem [9, 10, 11, 12].

Doel

Het doel van de beheersystemen in de moderne bosbouw is in de eerste plaats de continuïteit van het bos en van de houtproductie te handhaven. Systemen die daaraan niet voldoen, zijn dan ook niet aanvaardbaar. Er bestaan diverse systemen, die met graduele verschillen gelegen zijn tussen twee uitersten, nl. kaalkap en uitkap.

Deze beide extremen hebben ieder specifieke voor- en nadelen. Het meest in het oog lopende verschil tussen deze extremen is de leeftijdsopbouw en de wijze van verjonging. De verjonging moet de continuïteit van het bos verzekeren nadat de kaprijpe bomen zijn geoogst.

Achtereenvolgens wordt hieronder gegeven een korte beschrijving van de genoemde extremen, hun typische voor- en nadelen en de tussenvormen tussen beide uitersten.

Kaalkap (eindkap) en het kaalkapbos

Alle bomen van een bepaald bosperceel worden gelijktijdig gekapt, waardoor de bodem kaal komt te liggen. Er blijven dan binnen dit perceel geen moederbomen over die zaden zouden kunnen leveren voor een volgende bosgeneratie.

Hoogstens kunnen er nog zaden liggen van de juist gekapte bomen. Er is ook nog een kans dat er over de randen van het bewuste perceel langs natuurlijke weg zaden van buiten komen.

De verjonging moet dus in principe kunstmatig worden ingebracht door uitplanten of zaaien, waardoor de nieuwe generatie gelijkjarig is.

Dit systeem biedt mogelijkheden voor het gebruik van snelgroeiende lichtbehoevende houtsoorten. Deze lighthoutsoorten stellen vaak slechts geringe eisen aan de bodemvruchtbaarheid.

Uitkap of plenterkap en het uitkap- of plenterkapbos

'Plenter' hangt mogelijk samen met een woordstam die men ook vindt in het Nederlandse woord plunderen. Bij dit systeem worden geleidelijk (d.w.z. met tijdintervallen van enkele jaren, maar in feite ongedefinieerd) de kaprijpe bomen, verspreid over het perceel, uitgezocht en uitgekapt. Daarna is op de vrijgekomen plaatsen natuurlijke bezaaiing mogelijk uit zaad van de rondom overblijvende bomen, eventueel aangevuld met bijzaaiing of beplanting. Het gevolg is dat men bomen van alle leeftijden en ontwikkelingsstadia over het perceel verspreid aantreft.

In dit systeem van pleksgewijze kap hebben bij de verjonging ook schaduwhoutsoorten – die in het algemeen hoge eisen stellen aan de bodemvruchtbaarheid – een kans.

Alvorens de voor- en nadelen der beide systemen aan de orde te stellen, zij opgemerkt dat het niet gaat om een vrije keuze uit twee concurrerende en tegengestelde systemen. Deze systemen kunnen ook in elkaars verlengde liggen.

Arme, biologisch weinig actieve bodems kunnen

slechts de weinig eisende houtsoorten dragen en behoeven voor de verjonging een kaalkapsysteem. Na bodemontwikkelingen laten zij echter ook de meer eisende schaduwhoutsoorten toe en bieden dan meer mogelijkheden voor plenterkap.

Voordelen en nadelen van de beide systemen

1. Het belangrijkste voordeel van het kaalkapsysteem ligt in de overzichtelijkheid en de economische hanteerbaarheid. Uit statistische gegevens beschikt men over inzicht in de ontwikkeling. Deze gegevens zijn in Nederland per belangrijkste afzonderlijke houtsoort vastgelegd in zogenaamde 'opbrengsttafels', waarin ook rekening is gehouden met de bodemkwaliteit. In een dergelijke tafel kan men voor iedere leeftijd aflezen de gemiddelde afmeting der staande bomen en hun gezamenlijke massa per hectare, alsook het optimale stamtal (d.i. het aantal bomen per hectare). Hieruit volgt dan hoeveel bomen er door uitdunning uit het perceel moeten verdwijnen, alsook hun massa. Tenslotte vindt men in deze tafels ook de optimale leeftijd voor de eindkap, alsmede de daarbij behorende massa. De bosbeheerder heeft hier in kort bestek onduidelijke gegevens voor een optimaal beheer en weet hoeveel hout er beschikbaar zal komen en op welk tijdstip. Behoudens een kans op ziekten en plagen, liggen de toekomstverwachtingen vrijwel vast.
2. Het uitkapbos mist de overzichtelijkheid voor beheer en toekomstverwachtingen. Het is hier n.l. onmogelijk een opbrengsttafel samen te stellen, vanwege de ongelijke verdeling over het perceel van leeftijden en houtsoorten. De bedrijfsvoering moet hier dan in belangrijke mate berusten op de rijpe ervaring van de beheerder. Deze moet inzicht hebben in de eigenschappen en ontwikkelingseisen der aanwezige houtsoorten, alsook van hun onderlinge verdraagzaamheid, zowel per houtsoort als per individuele boom. Er bestaan in dit geval geen onduidelijke aanwijzingen over de leeftijd waarop een boom dient te worden gekapt. Daardoor zijn ook de financiële toekomstverwachtingen niet scherp te formuleren.
3. Het kaalkapbos zal om praktische redenen weinig soorten en veelal slechts één soort bevatten. Afwisseling kan worden verkregen door wisseling van houtsoorten per opstand en per vak.
Het uitkapbos kan meersoortig zijn (in de regel in Europa een drietal) en kan meerdere soorten door elkaar heen bevatten die elkaar kunnen verdragen. In hoofdzaak zijn dat schaduwhoutsoorten. Plenterbossen vindt men o.a. in Zwitserland, Zuid-Duitsland en het aangrenzende deel van Frankrijk.

4. De sterkste punten van het kaalkapbos liggen in de economie (punten 1 en 2) en de overzichtelijkheid. Een zwakker punt – in het bijzonder in de warme en gematigde klimaatsgordels – is de discontinuïteit in de voortgang van de natuurprocessen op het moment van de eindkap.

In een kil en vochtig klimaat echter kan toetreding van zon en wind soms een heilzaam effect hebben op een moeilijk verterend humuspakket.

Het tijdelijk kaalliggen van de bodem behoeft trouwens niet altijd tegennatuurlijk te zijn, want zonder ingreep van de mens komt dat ook al voor als gevolg van storm en bosbrand.

5. Bij de eindkap van het kaalkapbos worden alle bomen gelijktijdig geveld. Dan zijn er geen staande bomen meer die de afvoer der gekapte stammen zouden kunnen bemoeilijken. In het uitkapbos daarentegen is het verwijderen van bomen vergelijkbaar met een voortdurende dunning. Bij het kappen der kaprijpe bomen bestaat hier gevaar voor schade aan de resterende staande bomen. Bij de uitsleep van het geveld hout kunnen de staande stammen worden gekwetst, waardoor zij schade aan de stamvoet kunnen oplopen. Vooral de reeds aanwezige verjonging kan ernstig worden beschadigd. In mindere mate gelden deze moeilijkheden ook voor het dunningshout in het kaalkapbos.
6. Bij het uitkapbos maakt men voor de verjonging zo veel mogelijk gebruik van de natuur. Als deze natuurlijke verjonging voldoende is geslaagd, kan men daarin selectief dunnen, maar als zij onvoldoende is geslaagd, moet men aanvullen door bijplanten of bijzaaien. Lichtbehoevende houtsoorten hebben in het uitkapbos minder kansen. Daardoor is het aantal houtsoorten beperkt en vindt er een natuurlijke selectie plaats. In het kaalkapbos bestaat uiteraard geen belemmering voor de ontwikkeling van lichte houtsoorten, hoewel deze – vooral in hun jeugd – wel eens te veel kunnen worden blootgesteld aan zonnestraling op hun stammen.
7. Bij de kunstmatige verjonging van het kaalkapbos kan men hoogwaardig plantmateriaal in de grond brengen dat uit selectie of kunstmatige bestuiving is verkregen. Bij het uitkapbos is dat minder logisch (hoewel niet geheel onmogelijk); hier dient de bosbeheerder uit de natuurlijke verjonging te selecteren naar persoonlijke intuïtie en ervaring.
8. Wanneer een kaalkapbos uit niet meer dan één bosperceel zou bestaan, zou dit een complete discontinuïteit in de inkomsten geven. Daarom wordt het gebied liefst ingedeeld in bospercelen, die onderling ongeveer één jaar in leeftijd verschillen en een even grote houtopbrengst bij kaalkap kunnen leveren. Hier-

door zijn de jaarlijks te verwachten inkomsten ongeveer gelijk.

9. Bij het uitkapbos is er geen duidelijke economische aanwijzing voor het optimale moment van de kap der kaprijpe bomen. De kap kan dus in belangrijke mate worden aangepast aan schommelingen in de marktprijzen. Overigens kan de beheersregeling van het kaalkapbos – met zijn op opbrengstafels gebaseerde schema – eveneens voldoende flexibel zijn voor aanpassing aan de markt.
10. In Nederland heeft het bos een belangrijke recreatieve waarde. Op dit punt biedt het uitkapbos met zijn onregelmatigheid en ongelijkjarigheid gunstige perspectieven, maar het wordt over grotere oppervlakten op den duur saai en eentonig. Ditzelfde geldt uiteraard ook voor ieder gelijksoortig perceel van het kaalkapbos, maar hier bestaat een mogelijkheid tot variatie door afwisseling tussen de percelen.
11. In een uitkapbos met zijn meersoortige samenstelling is over het algemeen de kans op een ernstige infectieziekte (schimmels, insecten) geringer dan in het kaalkapbos omdat infecties als regel specifiek zijn voor een bepaalde houtsoort of een kleine groep van houtsoorten.

Schermkapsysteem

Als tussenvorm tussen kaalkap en uitkap bestaat het schermkapsysteem. De diverse vormen van schermkap staan het dichtst bij het kleinschalige kaalkapsysteem. Zoals de naam reeds aangeeft, wordt bij de overgang van de oude naar de nieuwe generatie de oude opstand op zodanige wijze uitgekapt, dat er nog een luchtig scherm van oude bomen blijft bestaan, gelijkmatig verspreid over de kapvlakte. Deze oude bomen, moederbomen, verzorgen ook de bezaaiing waaruit de nieuwe generatie moet ontstaan. De nieuwe generatie groeit dus op onder het beschuttende scherm dat men heeft laten staan. Met het ouder worden van de nieuwe generatie ruimt men meer en meer bomen van het scherm op, zodat de jonge generatie steeds meer licht krijgt en tenslotte geheel vrij komt te staan. De gehele verjongingsoperatie neemt op deze wijze een lange periode (10 tot 20 jaar) in beslag. Voorwaarde tot slagen is dat de moederbomen in deze periode voldoende zaad produceren en dat er in de opstand boomsoorten voorkomen die in de schaduw van het scherm kunnen kiemen en opgroeien. Met het lichter worden van het scherm kunnen zich dan meer lichthoutsoorten een plaats veroveren. Door de hoeveelheid licht onder het scherm te regelen, kan de houtvester invloed uitoefenen op de samenstelling van de nieuwe generatie. Ook deze schermkapmethode kan men over grote oppervlakten (meerdere ha) aaneengesloten uitvoeren of men kan een groot aantal kleinere schermstellingen (1000 m² en groter) verspreid over het te verjongen areaal aanleggen. Deze kleine

schermkappen kan men in de loop der tijd vergroten door de randen uit te dunnen en daarmee licht te stellen of men kan nieuwe schermkappen openen tussen de oude in en op deze wijze langzamerhand het hele te kappen areaal in verjonging brengen. De kleinschalige schermkap gaat tenslotte over in het reeds besproken plenter- of uitkapstelsysteem.

Dunning en verdere verzorging

Tussen de vestiging van de nieuwe generatie en de eindkap ligt nog een reeks verzorgingsmaatregelen, de zg. dunningen.

Bij de vestiging van de nieuwe generatie telt deze soms wel 10.000 exemplaren per ha, met een onderlinge afstand van ongeveer 1 m, terwijl de opstand op het moment van oogst bijvoorbeeld een honderdtal bomen per ha omvat op een onderlinge afstand van 10 m. De bomen voeren van het begin tot het eind strijd om het beschikbare licht, water en voedsel. Om te voorkomen dat deze strijd ten koste gaat van de groei van het geheel, wordt regelmatig (bijv. iedere tien jaar) een aantal bomen gekapt. Deze dunningen worden in de regel zo uitgevoerd, dat een aantal bomen, die regelmatig moeten zijn verspreid over de opstand en die uitmunten door groei en vorm (de zg. toekomstbomen), worden bevoordeeld. Deze dunningen maken alles bij elkaar een belangrijk deel uit van de totale geogste houtmassa na de eindkap. Vooral de kleinere sortimenten zijn uit deze dunningen afkomstig.

Tropisch regenwoud

Het schaarser worden van hout op de wereldmarkt heeft geleid tot een toenemende belangstelling voor hout uit de tropische regenwouden [13]. Alleen al in Indonesië is de jaarlijkse houtoogst (grotendeels uit de regenwouden) van 1968 tot 1972 toegenomen van $1,2 \times 10^6$ m³ tot $13,7 \times 10^6$ m³. Als de houtoogst in dit tempo doorgaat, zal er rond de eeuwwisseling nauwelijks oerwoud over zijn [14]. Naast de activiteiten waarbij de houtoogst voorop staat, bestaat ook nog de 'shifting cultivation' (nomadische landbouw), welke op grote schaal wordt toegepast en die mede een belangrijke oorzaak is voor het verdwijnen van veel tropisch regenwoud. Het is van belang dat deze fatale ontwikkeling wordt gestopt. Het oerwoud heeft een onschatbare waarde. Men kan daarbij denken aan de vele bosproducten en bos-bijproducten die bij deskundig beheer een bron van welvaart kunnen opleveren. Zeer belangrijk is de genenvoorraad van het tropisch regenwoud en de regulering van de waterhuishouding. Daarbij komt dat de meeste oerwouden thans nog groeien op onvruchtbare gronden. De belangrijkste mineralen zijn hoofdzakelijk opgeslagen in de vegetatie dankzij een zeer efficiënt verlopende mineralen-kringloop. Na houtoogst zullen bij ondeskundig of ontbrekend beheer deze mineralen snel verloren gaan. Wanneer bo-

vendien in de bodem laterietvorming¹⁾ of andere degradatieverschijnselen plaats vinden, zal van terugkeer van het oerwoud geen sprake meer zijn. Voor het tropisch regenwoud, dat momenteel op zeer grote schaal wordt geëxploiteerd, is de juiste oplossing van het verjongingsstelsel nog niet gevonden. Men heeft getracht de in de gematigde streken gebruikelijke systemen met de nodige aanpassingen ingang te doen vinden. De resultaten laten nog te wensen over en er zal nog zeer veel onderzoek nodig zijn voordat goede oplossingen zijn gevonden. Moeilijkheden worden gevormd enerzijds door de armoede en gevoeligheid van de betrokken bodems, anderzijds door de enorme soortenrijkdom en daaraan inherente complexiteit van de balans tussen de soorten. Een voorbeeld van het uit balans raken is dat bepaalde uitgekaptte bosgedeelten, maar ook de verjonging, dusdanig overgroeid kunnen raken met een deken van lianen, dat de gehele daaronder liggende vegetatie tot instorting wordt gebracht.

Naast deze moeilijkheden van natuurlijke aard zijn er nog vele moeilijkheden van menselijke aard. De uit de exploitatie verworven opbrengsten worden dikwijls niet in de bosgebieden zelf besteed, doch in de bevolkingscentra. Het is daarom dikwijls moeilijk fondsen voor bosverjonging te reserveren. Daarnaast wordt de verjonging bedreigt door nomadische landbouw, die, nadat de houtexploitatie heeft plaatsgevonden, de nu met wegen toegankelijk gemaakte arealen kan binnendringen. Deze nomadische landbouw (ladangbouw, shifting cultivation) belemmert de natuurlijke verjonging. Wanneer deze landbouw te lang op één plaats wordt voortgezet, ontstaan graswildernissen (in Indonesië alang-alang).

De graswildernissen vatten in droge perioden gemakkelijk vlam. Op deze manier verhindert nomadische landbouw de vorming van een verjongd bos [15].

Toekomstverwachtingen

In de gematigde streken en subtropen bestaat tot op zekere hoogte een controverse over het gebruik van kaalkapsystemen tegenover de meer biologisch gerichte schermkap- en plentersystemen. Het kaalkapsysteem, vooral het grootschalige, betekent een bruusk ingrijpen in de aankleding van het landschap. Dikwijls worden de kapvlakten door steile randen scherp afgegrensd tegen het nog staande bos. De neiging bestaat daarnaast om op deze kapvlakten te verjongen door zaai of aanplant van slechts één of weinige soorten. Dit zijn redenen waarom biologisch gerichte groepen en milieugroepen en ook groepen in bosbouwkringen tegen het kaalkapsysteem bezwaar aantekenen. De beide andere systemen vermijden krasse ingrepen in

¹⁾ Lateriet = ijzer- en aluminiumrijke grond; treedt in de tropen op als gevolg van chemische verwerking van gesteente.

het landschap, passen menging van houtsoorten toe en staan dicht bij de natuur.

Deze beide andere systemen zijn echter veel overzichtelijker in het beheer en veel arbeidsintensiever en daardoor duur. Bovendien zijn mechanisatie en rationalisatie hier moeilijk.

Verwacht kan worden dat in de noordelijke naaldhoutgordel (van nature reeds eenvormig van begroeiing) en ook in de subtropen, gemodificeerde kaalkapsystemen zullen blijven overheersen. In de meer gematigde streken en in de bergen zal de tendens meer naar de schermkap- en plentersystemen en kleinschalige kaalkapsystemen verschuiven, mede onder druk van de publieke opinie.

Voor het regenbos in de tropen is er nog een lange ontwikkelingsweg af te leggen. De voor de plaatselijke omstandigheden meest geschikte kap- en verjongingssystemen moeten nog proefondervindelijk worden bepaald. Kaalkapsystemen komen daar meestal niet in aanmerking. De problemen rond het bevolkingsvraagstuk, die met de nomadische landbouw samenhangen en veelal op oude rechten van de bevolking berusten, moeten worden opgelost. Een van de moeilijkste problemen wordt gevormd door de centrale overheden. Die zijn in de bevolkingscentra ver van het bos gevestigd en moeilijk er van te overtuigen dat aan de verjonging van de geëxploiteerde bossen prioriteit moet worden gegeven en dat daarvoor geld en deskundig personeel beschikbaar moet worden gesteld. Bij de vele behoeften die moeten worden vervuld en het veelal krappe budget is dit een moeilijke beslissing, waarvan bovendien de resultaten pas op lange termijn zichtbaar kunnen worden.

6. Houtoogst en biomassaproductie

door prof.ir. M.M.G.R. Bol

Onder houtoogst worden arbeidsfasen²⁾ verstaan bij de bewerking van staande boom tot sortiment³⁾, zoals vellen, snoeien, schillen, korten, hakken. Tot de houtoogst behoort in ieder geval het vellen plus nog minstens één andere fase; de fasen exclusief vellen worden ook wel 'opwerken' genoemd.

Biomassaverdeling

De houtoogst concentreert zich in het algemeen op het bovengrondse boomdeel en daarvan het stamhout met uitzondering van het dunne en soms kromme topstuk, omdat

– in het stamhout het grootste volume en gewicht

²⁾ Complex arbeidselement dat een verandering van het materiaal (grondstof) bewerkstelligt, van de ene meetbare en verkoopbare vorm in een andere.

³⁾ Een stamstuk van bepaalde lengte, soms in combinatie met een bepaalde diameter, en/of in combinatie met bepaalde kwaliteitseisen m.b.t. rechtheid of afwezigheid van noesten.

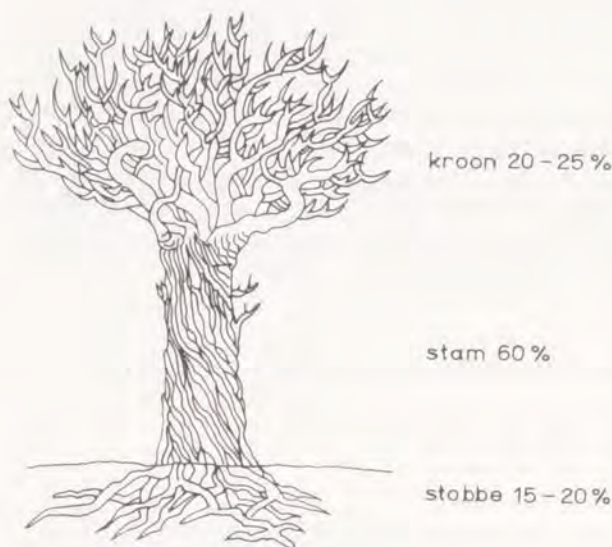
is geconcentreerd (ca 60% van de totale biomassa) en dit de grootste waarde per eenheid heeft (dichtheid, cellulosegehalte, vezellengte);

- oogst en transport eenvoudiger en goedkoper zijn.

Oogst van andere delen van de biomassa vindt plaats in het geval dat

- de ondergrondse boomdelen, stobben, nadelige invloed zouden uitoefenen (obstakels, boshygiëne: bijv. dennensnuittor);
- de ondergrondse boomdelen specifieke waarde vertegenwoordigen (sortimentslengte, houtstructuur);
- er sprake is van houtschaarste, daarbij kan de belangstelling zich ook richten op de boomkronen of op de totale boven- en ondergrondse boomdelen, afhankelijk van de specifieke verdeling per houtsoort en de aanwezigheid van penwortel, hartwortel of vlakwortel.

Figuur 2 geeft schematisch weer hoe de biomassa over de boom is verdeeld.



Figuur 2. De biomassaverdeling over de gemiddelde Nederlandse boom. Men kan de verdeling ook anders maken: loof ca. 5%, verkoopbaar hout zonder schors 40% tot 45%, schors 10% tot 15% en overig hout ca. 30%.

De heersende houtschaarste resulteert in pogingen boomkronen en wortels mede te oogsten en te gebruiken voor de vezelverwerkende industrie en wellicht ook voor verwarming en energievoorziening. Deze laatste toepassing kan voor Nederlandse toestanden slechts van ondergeschikt en lokaal belang zijn. Het gaat hierbij om ca. 40% van de totale boommassa. Dat komt overeen met verhoging van het huidige biomassagebruik met ca. 65%.

Aangezien stamhout betrekkelijk weinig voedingsstoffen bevat, zal met de oogst van dat stamhout de vruchtbaarheid van de bodem slechts weinig achteruit gaan. Bovendien ontvangt de bodem aanvulling van voedingsstoffen uit de atmosfeer en door verweringsprocessen. Het oogsten van de genoemde extra 40% van de totale boombiomassa zou op lange termijn wél biologische consequenties kunnen hebben.

Mälkönen geeft in Figuur 3 de distributie van droge stof en voedingsstoffen in de verschillende boomdelen bij de grove den [16].

Uit de figuur blijkt, dat stamhout met schors meer dan 60% van de totale droge stof bevat. Voor de voedingsstoffen ligt dit anders: Van de totale hoeveelheid stikstof in de boom bevat het stamhout met schors slechts 29%. Van de fosfor is dat 23%, van het kalium 30% en van het calcium 47%.

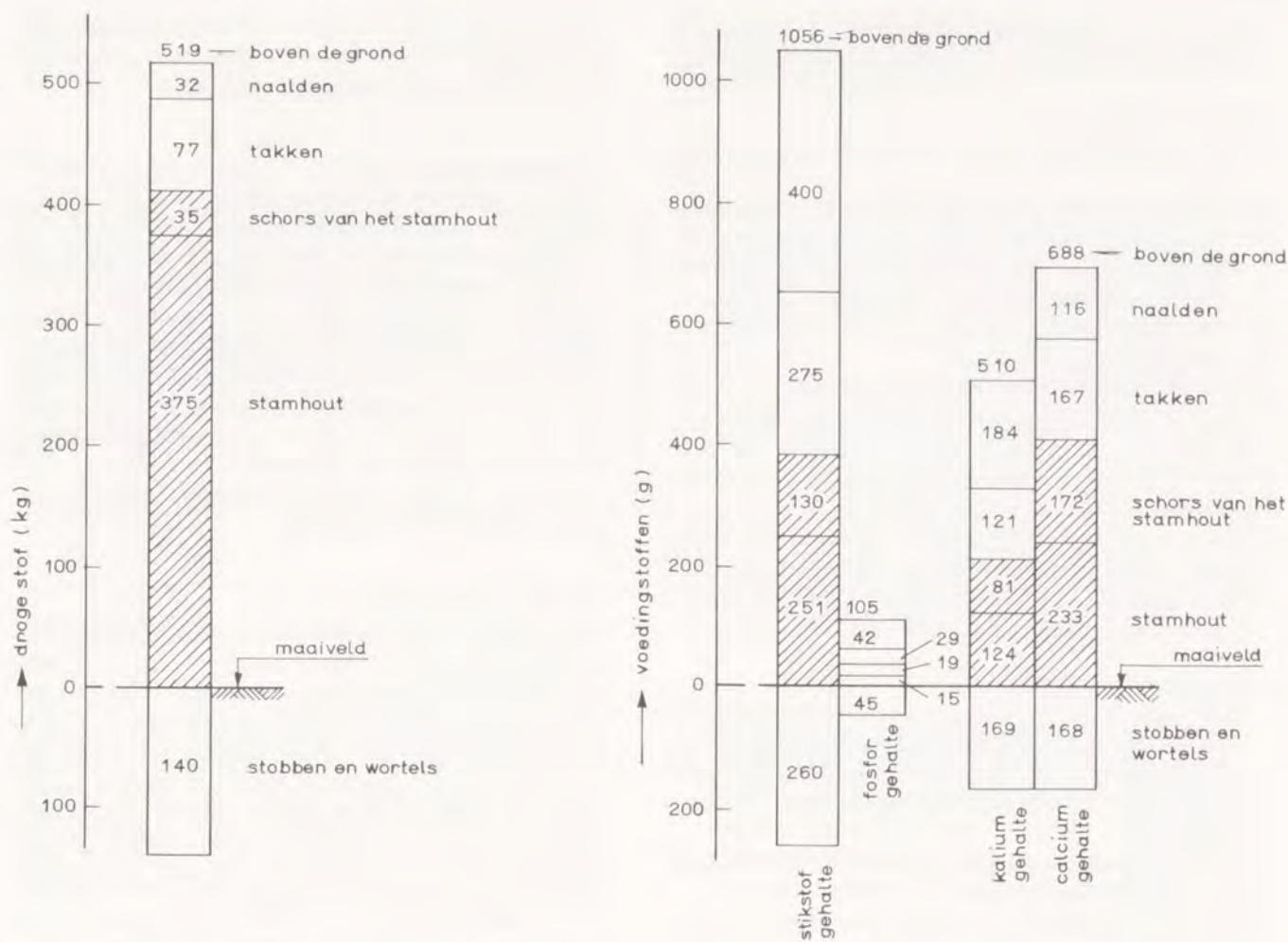
Mälkönen concludeert, dat het stikstofverlies bij dunning van 40 m³/ha in een opstand van 45-jarige grove den in Zuid Finland ongeveer 15 kg/ha bedraagt bij toepassing van het sortimentsysteem (oogst van stamhout met schors) en ongeveer 42 kg/ha bij toepassing van het boomsysteem (oogst van stamhout met schors + kroon). Die uitdunning vindt enkele keren gedurende de omloop plaats.

Bij verjonging van de opstand door middel van eindkap wordt de voedselkringloop plotseling doorbroken. Grote hoeveelheden organisch materiaal en plantenvoedingsstoffen bereiken dan in relatief korte tijd de bodem. Daar de bodemvegetatie niet in staat is de voedingsstoffen onmiddellijk op te nemen, spoelt een deel ervan uit en gaat voor het ecosysteem verloren.

Het verschil tussen sortimentsysteem en boomsysteem qua verlies aan voedingsstoffen ligt volgens Mälkönen in geval van een 70-jarige opstand van fijnspar in Zuid Finland bij eindkap in de orde van grootte van 277 kg stikstof, 32 kg fosfor, 114 kg kalium en 225 kg calcium per ha. Een dergelijk extra verlies als gevolg van toepassing van het boomsysteem zou éénmaal in een rotatieperiode van 70 jaar optreden.

Mälkönen concludeert dat bij toepassing van boom- of totaal boomsysteem de verliezen aan voedingsstoffen gedurende de gehele omloop voor stikstof 2-4 keer, voor fosfor 2-5 keer, voor kalium 1,5-5 keer voor calcium 1,5-5 keer zo hoog zijn als bij de oogst van alleen stamhout met schors.

De oogst van grotere delen van de boom-biomassa is derhalve, zeker op arme gronden, niet zonder risico's voor de bodemvruchtbaarheid. Bij toepassing van dit systeem zouden minstens naalden en bladeren in de opstand dienen achter te blijven. In sommige gevallen zou bemesting moeten worden overwogen.



Figuur 3. Distributie van droge stof en voedingsstoffen in verschillende boomdelen in een 45 jarige opstand van grove den in Zuid Finland [16].

7. Houtoogst- en transportssystemen

7.1. Houtoogst

door prof.ir. M.M.G.R. Bol

De houtoogst wordt in het volgende niet gezien als een beperkt gebeuren waarbij een groeiketen wordt afgebroken, waarin een reductieproces plaatsvindt van boom tot stobbe of nog minder, maar als een proces op continuïteitsbasis, dat een schakel vormt bij de bosverzorging en de bosverjonging en waarbij na een groeiproces van jaren hout vrij komt.

Bij de oogst van hout wordt een aantal fasen onderscheiden – vellen, snoeien, schillen, korten, hakken (chippen) – die op diverse plaatsen, van groeiplaats tot houtgebruiker, kunnen worden uitgevoerd. Deze locaties zijn de volgende:

- stobbe;

- trekkerpad (een tijdelijk pad in de opstand, nabij de stobbe, berijdbaar voor terreinvoertuigen);
- bosweg (permanente weg, berijdbaar voor houttrucks tot 40 ton totaal gewicht), met inbegrip van tijdelijke centrale plaatsen voor houtopwerking met mobiele machines;
- houtwerf (permanente centrale plaats voor houtopslag en houtopwerking met stationair opgestelde machines, meestal buiten het bos gelegen bijv. bij houthandel of verwerkende industrie).

Oogstfasen

De oogstfasen zullen achtereenvolgens de revue passeren. Telkens worden doel, locatie en technieken met verschillende niveau's van mechanisatie aangegeven.

Vellen

Doel: het scheiden van het bovengrondse boomdeel van de stobbe.

Locatie: plaatsgebonden aan de groeiplaats bij de stobbe.

Techniek: zagen (hand- en motorzagen, houtoogstmachines met hydraulische zaag); snijden/knip-

pen (bijl, houtoogstmachine met hydraulische messen of schaar); laser (wellicht in de toekomst).

Snoeien (onttakken)

Doel: scheiden van takken en topstuk van de stam i.v.m.:

- eigenschappen, zoals de andere samenstelling (o.a. cellulosegehalte), afmetingen, gebruiksmogelijkheden (het tak- en tophout heeft doorgaans een lagere economische waarde);
- de invloed op het transport en de transportkosten (volume, gewicht).

Locatie: bij stobbe, trekkerpad, bosweg of houtwerf; meestal bij stobbe (de takken blijven daarbij in de voedselkringloop) of aan trekkerpad of bosweg (homogenere werkomstandigheden en eventuele oogst van tak- en tophout).

Techniek: zagen (motorzagen); snijden (bijl, houtoogst- of opwerkingsmachine met messen); wrijven (houtoogst- of opwerkingsmachine met kettingen, banden); door slag (kettingen) [17, 18].

Schillen (ontschorsen)

Doel: scheiden van hout en schil met het oog op:

- de andere eigenschappen en samenstelling (o.a. cellulosegehalte), gebruiksmogelijkheden (de schil heeft doorgaans een lagere economische waarde);
- verlaging van transportkosten (minder volume en dus minder gewicht; ca. 15%);
- snellere houtdroging (daling van dichtheid van 0,9 naar 0,6) met verlaging van transportkosten;
- grotere mogelijkheden voor watertransport door het uitdrogen voor het vlotten (minder zinkers);
- betere mogelijkheden voor het impregneren met houtverduurzamingsmiddelen;
- minder vervuiling en mechanische slijtage bij bewerking (bijv. in de zagerij);
- verbetering van de boshygiëne (bij kans op aantasting door de dennenscheerder).

Locatie: bij stobbe, trekkerpad, bosweg of houtwerf. Er is een tendens tot het weglaten van deze fase (i.v.m. mogelijkheden van gebruik van ongeschild hout) of tot verplaatsing van deze fase van stobbe naar trekkerpad, bosweg of houtwerf (homogenere werkomstandigheden met betere mogelijkheden tot mechanisatie).

Techniek: biologisch (bacteriën, fermenten, hormonen); chemisch (bijv. natriumarseniet); mechanisch: snijden (schilmessen); fresen; wrijven (schilrotor, schiltrommel); hydraulisch (bijv. met waterstralen).

Korten (uitmeten + korten + sorteren en stapelen)

Doel: verdelen van rondhout met het oog op:

- gebruik als rondhout-sortiment;
- gemakkelijker en goedkoper laden, lossen en transporteren.

Locatie: bij stobbe, trekkerpad, bosweg of houtwerf.

Techniek: zagen (motorzaag, houtoogst- of op-

werkingsmachine met cirkel- of kettingzaag); snijden/knippen (houtoogst- of opwerkingsmachine met hydraulische messen of schaar).

Hakken (chippen)

Doel: verkleinen van boom, stam of sortiment in hakspanen (chips) van bepaalde grootte (10 tot 15 mm; dikte 3 tot 6 mm) voor gebruik als brandstof en in de verspanings- en verzeulingsindustrie.

Locatie: trekkerpad, bosweg of houtwerf. Gebruikelijk is het hakken op de houtwerf van de verwerkende industrie. Een mogelijke ontwikkeling is het hakken op bosweg of trekkerpad vooral bij de oogst van 'green chips' (hakken van hele bomen met kroon, eventueel ook wortels).

Techniek: snijden (schijvenhakkers, spiraal- of trommelhakkers); door slag.

Primair houttransport

De eerste transportfase, soms primair transport genoemd, vindt plaats vanaf de stobbe of nabijheid van de stobbe, langs zeer eenvoudige of toevallige banen (trekkerpaden) of door de lucht (zie par. 7.2.), naar een opslagplaats bij afvoerweg (bosweg), rail of water. Bij het transport door het terrein wordt het hout uitgeslept of uitgereden. De aandrijving hierbij wordt geleverd door paard, trekker of lier. Het primair transport wordt gevolgd door weg-, rail- of watertransport (zie par. 7.3.).

Houtoogstsystemen

De grondslag voor de indeling in systemen is gelegd in 1950 door McColl en Pepler [19]. Een systeem is een samenstel van onderling gerelateerde, individuele componenten (in dit geval de fasen: vellen, snoeien enz.).

Bij de indeling in een systeem spelen de locatie van de fasen en de vorm waarin het hout de bosweg bereikt een rol. Voor de classificatie in houtoogstsystemen zijn vooral de fasen snoeien, korten en hakken van belang.

De volgende houtoogstsystemen kunnen worden onderscheiden (zie Figuur 4):

Sortimenten- of korthoutstelsel

De bomen worden in de opstand bij de stobbe gesnoeid en gekort en arriveren als sortiment aan de bosweg.

- Als sortiment worden voorlopig medegerekend:
- halve bomen (onderstam met zaag of paalhout-sortiment en bovenstam met bijv. sortimenten t.b.v. de vezelverwerkende industrie);
 - houtchips.

Langhoutstelsel

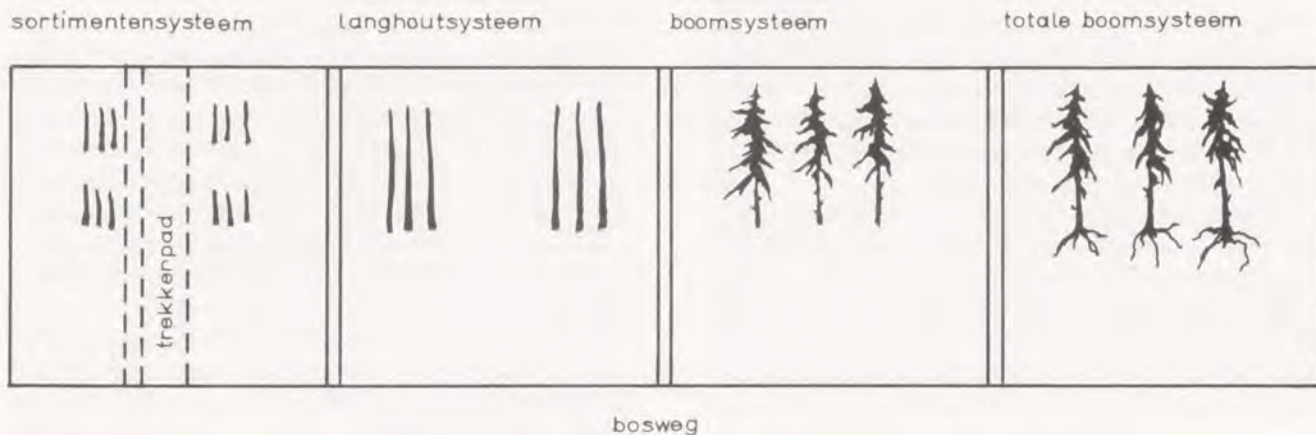
De bomen worden in de opstand bij de stobbe gesnoeid en arriveren als langhout aan de bosweg.

Boomsysteem

De bomen arriveren als bovengronds boomdeel met tak en al aan de bosweg.

Totale boomsysteem (experimenteel)

Gehele bomen inclusief het wortelstelsel worden naar de bosweg vervoerd [20, 21].



Figuur 4. Schematisch weergegeven houtoogstsystemen.

Waardering van houtoogstsystemen

De volgende factoren spelen een rol bij de keuze van houtoogstsystemen.

Maatschappelijke aspecten, zoals natuurbehoud, landschapsschoon, recreatie. Zo is het boomsysteem, met zijn geringe oogst- en opwerkingsactiviteit in het bos, niet nadelig voor het natuurbehoud, behalve gedurende korte tijd door de concentratie van activiteit en afval langs boswegen met zich mee.

Het sortimentsysteem daarentegen brengt veel oogst- en opwerkingsactiviteit in de opstand.

Terrein

- Gesteldheid van het terrein (hellingen, oppervlaktestructuur, draagvermogen en bodemtype) en terreintransportafstanden. Bij gemakkelijke, homogene terreincondities kunnen oogst en opwerkingsactiviteit in de opstand worden geconcentreerd (sortimentensysteem) en kunnen homogene, grotere lasten over langere afstanden in het terrein worden vervoerd.
- Kwetsbaarheid van het terrein. Bij het boomsysteem en het totale boomsysteem treedt in het algemeen de grootste verstoring van bodem en begroeiing op.
- Bodemvruchtbaarheid. Het boomsysteem en ook het totale boomsysteem zullen leiden tot verarming van de bodem door het onttrekken van voedingsstoffen uit takken, naalden en bladeren aan de kringloop. Dit is ook het geval bij het hakken van de hele boom (chippen) in de opstand.

Opstand

- Van invloed zijn vooral de houthoeveelheid per opstand en per hectare, de inhoud per boom, de boombetakking en de beschikbare ruimte voor machines.

Houtgebruik

- Als rondhout of bezaagd hout, dan wel verpaand- of vervezeld hout of beide. Daardoor wordt het aantal verschillende sortimenten per opstand bepaald. Het sortimenten- en het boomsysteem worden bij voorkeur toegepast bij eenvoudige sortimentering. Het langhoutsysteem is algemeen toepasbaar, ook bij grotere diversiteit van sortimenten en bij hogere precisie bij het korten. Bij het langhoutsysteem zullen de stammen tijdens het slepen vervuilen. Dit brengt extra kosten met zich mee als gevolg van extra slijtage van bewerkingsmachines of door de noodzaak van speciale voorzieningen (ontschorsen, reinigen).

Verhouding arbeids- en machinekosten

- Deze verhouding zal bepalend zijn voor het niveau van mechanisatie. Het boomsysteem en het totale boomsysteem zullen in het algemeen kapitaalintensief zijn en weinig arbeid vragen. Bij het sortimentensysteem en het langhoutsysteem zijn diverse mechanisatieniveaus mogelijk.

Machineontwikkeling

- De machine-technische ontwikkeling is bij de verschillende houtoogstsystemen niet in gelijke mate gevorderd.

Naast een algemene, kwalitatieve oriëntatie, zal een kwantitatieve, economisch georiënteerde beoordeling tot de keuze van een passend houtoogst-systeem leiden. Als dergelijke kwantitatieve beoordelingscriteria kunnen dienst doen:

- produktiviteit voor mens en machine;
- kosten per eenheid produkt;
- kapitaalinvestering per eenheid produkt.

Met het oog op natuurbehoud en behoud van bo-

demvruchtbaarheid lijken voor Nederland in het algemeen het sortimenten- en het langhoutsysteem met variërend niveau van mechanisatie van blijven de betekenis. De grote druk op de grondstoffenvoorziening zou er toe kunnen leiden dat ook hier een groter deel van de biomassa wordt geoogst door een deel van de stobbe en een deel van de boomkronen mee te oogsten. De voor de voedselkringloop belangrijke twijgen, knoppen, bladeren, naalden en dunnere wortels zouden dan echter niet moeten worden meegeoogst.

Daarentegen zouden bij aanleg van speciale bosplantages, uitsluitend bedoeld voor houtproductie, het boom- en het totale boomsysteem in aanmerking kunnen komen. Daarbij zouden dan het gebruik van kunstmest en intensieve bewerkingen waarschijnlijk niet achterwege kunnen blijven.

7.2. Primair transport door de lucht

door ir. N.A. den Hartog

Hout uitslepen of uitrijden is alleen mogelijk als het terrein geen al te grote moeilijkheden oplevert. Worden de hellingen van het terrein echter te steil (meer dan 60%), dan is het gebruik van voertuigen zo niet onmogelijk dan toch wel gevaarlijk geworden. Indien op zulke hellingen nog rotspartijen of grote steenmassa's voorkomen, wordt de aanleg van ontsluitingswegen kostbaar en dikwijls niet meer lonend.

Een andere soort hindernis voor terreinvoertuigen wordt gevormd door moerassige en venige terreinen zoals die in de noordelijke streken veel voorkomen. In de koude streken wordt dit soort terreinen in de winter toegankelijk als deze terreinen hard bevroren zijn. Deze weersomstandigheden vergen echter wel veel van mens en machine en werken daardoor kostprijsverhogend. Deze gebondenheid aan een bepaald seizoen met de daarmee gepaard gaande stootsgewijze produktie brengt voor een houtindustrie die van dergelijke arealen afhankelijk is, de noodzaak mee tot voorraadvorming. De personeelsvoorziening in dergelijke onderbroken exploitaties levert eveneens moeilijkheden op. Het vervoer over grote afstand, dat in noordelijke streken grotendeels over de rivieren plaatsvindt, is in de winter gestremd.

De moeilijkheden bij het terreintransport heeft men trachten te omzeilen door vervoerssystemen te ontwikkelen die van het terrein zo veel mogelijk onafhankelijk zijn.

Van die systemen zullen er vier worden besproken: kabelsystemen, ballonsystemen, vervoer met heli-copters en met luchtkussenvoertuigen.

Van deze vier systemen wordt kabeltransport reeds lange tijd toegepast, het ballonsysteem en het heli-coptervervoer worden reeds toegepast, doch kunnen door de hoge kosten slechts in uitzon-

deringsgevallen concurreren met kabelvervoer. Het gebruik van luchtkussenvoertuigen verkeert nog in het experimentele stadium.

Kabelsystemen

Kabelsystemen voor houttransport zijn in de Alpen het eerst ontwikkeld [22]. Aanvankelijk bestonden zij uit een enkele dikke ijzeren draad waarlangs men aan houten haken lasten zoals hooi of brandhout naar beneden liet glijden. Uit dit primitieve begin heeft zich een uitermate grote veelvormigheid van systemen ontwikkeld, waarbij Europa en Amerika en later ook Japan eigen wegen zijn gegaan, aangepast aan houtafmeting, terrein en aansluitende vervoerssystemen.

De enkele ijzeren draad is nu vervangen door kabels, opgebouwd uit draden van hoogwaardig koudgetrokken staal met voldoende soepelheid en een matige treksterkte.

Men onderscheidt meestal draagkabels waarover een beladen wagentje rijdt en trekkabels die het wagentje laten bewegen. Bij deze laatste kabels speelt de soepelheid een grote rol, deze wordt bereikt door de kabel uit een groot aantal dunnere draden op te bouwen. Bij de draagkabels die als rail dienen voor de wagentjes, is de slijtvastheid het belangrijkste.

In de kabelsystemen voor houttransport kunnen worden onderscheiden:

- één kabel (dragend en trekkend) of aparte dragende en trekkende kabels;
- heen en weer gaand of rondgaand kabelsysteem;
- een vrij dragend systeem of een systeem met een over de grond gesleept uiteinde van de stam;
- transport over korte afstand (tot 400 m) of over langere afstand (tot 1200 m);
- laad- en losplaatsen op vaste plaatsen danwel belading over de gehele kabellengte of over een gedeelte daarvan verspreid.

De kabel wordt soms op punten tussen de beide eindwielen in het terrein ondersteund door schoenen die bijv. aan bomen kunnen worden bevestigd. Hierdoor is dit systeem ook toepasbaar in vlak terrein. Bij de kabelbaantypen met één kabel is het nodig het hout aan te voeren naar de laadplaatsen met mankracht, paard of trekker of met een kabelkraansysteem. De losplaats is meestal vast en vormt het aansluitpunt voor verder vervoer. De capaciteit is, vergeleken met wegen, beperkt en de onderhoudskosten zijn hoog.

Kabelkranen kunnen langs het gehele kabeltraject lasten opnemen en afzetten. In dit systeem is een groot aantal variaties ontwikkeld, waartoe ook het overgrote deel van de Amerikaanse 'yarder'-systemen behoren. Het systeem bestaat uit een draagkabel en een trekkabel met slechts één wagentje, dat heen en weer gaat. Hierdoor is de capaciteit beperkt. De losplaats is vaak boven, in het bergstation.

De Europese kabelkranen worden nog onderschei-

den in lange- en korte-afstandkabelkranen. Bij de lange-afstandkabelkranen wordt de last vrij hangend vervoerd, bergop of bergaf. Bij de korte-afstandkranen is alleen vervoer bergop mogelijk. De last sleept dan met het achtereind over de grond. Door de laadhaak zijdelings van onder de draagkabel weg te trekken, kan een strook van ongeveer 20 m aan weerszijden van de kabel worden leeggehaald.

Met de toenemende ontsluiting door middel van parallelle wegen wordt het lange-afstandkabelkraansysteem meer en meer verdrongen door de korte-afstandkranen. Die zijn minder duur in aanschaf en bereiken een hogere produktie.

De korte-afstandkabelkranen in de Alpen zijn vaak voorzien van draagkabels van 12-16 mm diameter en liermotoren van 20-40kW. Aan de westkust van de Verenigde Staten en Canada, waar het hout grotere afmetingen heeft, gebruikt men als regel kleinere overspanningen, kabels van 1¼ inch diameter en motoren tot 800 kW [23].

Ballonsystemen

De ballonsystemen zijn een modificatie van de kabelsystemen [24, 25]. De taak die bij de normale kabelsystemen wordt verricht door de masten en steunpunten, nl. het van de grond houden van kabels en lasten wordt hier door de ballon overgenomen.

Het idee is afkomstig van de Zweedse hoogleraar U. Sundberg, die in zijn proeven gebruik maakte van kabelballons overgebleven uit de luchtverdediging van Londen in de laatste wereldoorlog. Het idee is verder ontwikkeld aan de westkust van de Verenigde Staten. In dit gebied is de houtexploitatie langzamerhand teruggedrongen naar steile, bergachtige, onontsloten gebieden. Oorspronkelijk werden dergelijke gebieden geëxploiteerd door het aanleggen van wegen over de ruggen van het terrein en het slepen van hout naar deze wegen met behulp van kabelsystemen. Uitsleep met kabels in benedenwaartse richting over de bodem is praktisch niet mogelijk, doordat de koppen van de gesleepte stammen zich ingraven en blijven haken achter stobben en stenen en op zijn minst aanleiding geven tot zware erosie. Vandaar de noodzaak tot aanleg van de kostbare rugwegen.

Het ballonsysteem maakt het benedenwaartse vervoer wel mogelijk doordat de stammen geheel vrij van de grond worden getild. Bij deze vervoermethode worden de wegen in het dal aangelegd. Van de verschillende variaties zal er één worden aangeduid. De kabel gaat van een liertrommel op de dalweg, naar een katrol op de bergrug en weer terug naar een tweede trommel van de lier. De ballon zit vast aan een van de kabelparten. De last hangt onder dit bevestigingspunt. Voor de belading wordt het bevestigingspunt tegen de grond getrokken door de rondgaande kabel strak te trekken met beide trommels. Na de belading wordt de kabel ge-

vierd waardoor de ballon de last van de grond tilt. Daarna wordt het gehele systeem van ballon + last door intrekken van de ene en vieren van de andere trommel naar het dal vervoerd, alwaar de last kan worden gelost.

De ballons hebben een inhoud van ongeveer 15.000 m³, zijn met helium gevuld en hebben een hefvermogen op zeehoogte van ruim 11 ton. De maximale uitsleepafstand blijkt ongeveer 1000 m te zijn en wordt voornamelijk beperkt door de capaciteit van de liertrommels. Het terrein mag niet sterk versneden zijn, omdat dit herhaalde verplaatsingen van het systeem vergt. Het systeem is slechts lonend bij een bepaalde minimale houtopstand per oppervlakte-eenheid en is onder normale omstandigheden niet concurrerend met gewone kabelmethoden. Speciale eisen, zoals voorkomen van erosie en het sparen van de ondergroei zijn nu nog bepalend voor de toepasbaarheid.

Helicoptervervoer

Helicopters zijn voor de houtexploitatie slechts economisch toepasbaar waar andere methoden technisch onmogelijk zijn. Zij worden ingezet in onontsloten bergterreinen waar wegaanleg om landschappelijke redenen of ter voorkoming van erosie niet wordt toegestaan of wanneer de tijd voor wegaanleg ontbreekt bij calamiteiten zoals windworp, aantasting door insecten enz.

Proeven met helicopters worden genomen in de Alpen, de Kaukasus en Noorwegen en verder in de Verenigde Staten en Canada. Helicopters van verschillende types werden gebruikt met hefcapaciteiten van 2 tot 9 ton. Door de hoge uurkosten van deze machines (afhankelijk van de grootte \$ 300 tot 2000 per uur), streeft men naar een rondgangstijd van enkele minuten.

De volgende punten zijn van belang:

- transport over korte afstand;
- zo snel mogelijk laden en lossen;
- radiocommunicatie tussen bestuurder en aanhaker;
- het prepareren van de lasten zodat de grootte zo dicht mogelijk bij het maximum draagvermogen komt.

Luchtkussenvoertuigen

Luchtkussenvoertuigen worden niet zoals de voorgaande systemen toegepast in bergterrein, doch op vlakke, moerassige gebieden. De ons bekende proeven zijn gedaan in Canada, waar grote oppervlakten bos op dit soort terreinen aanwezig zijn. Exploitatie 's winters brengt vele bezwaren met zich mee. Deze terreinen hebben 's zomers in ontdooide zomertoestand onvoldoende draagvermogen, zelfs voor rupsvoertuigen. Toepassing van luchtkussenvoertuigen zou exploitatie in de zomer mogelijk maken, zonder de bodem te verdichten of om te woelen. De proeven zijn veelbelovend. Gebruikt is een platform van 3 x 7,5 m met een laadvermogen van ruim 2 ton. Onder dit platform wordt een lucht-

kussen gehandhaafd, afgesloten door een 60 cm hoog schort van nylonweefsel. Met dit platform zijn op een kapvlakte met boomstompen een groot aantal proeven en waarnemingen gedaan aan slijtage van schort en andere onderdelen, effect op de bodem, bodemdruk en rijeigenschappen. De gronddruk bedroeg slechts 360 kg/m². De proeven zullen worden voortgezet.

7.3. Secundair transport

door ir. N.A. den Hartog

In aansluiting op het transport vanuit de opstand naar de verharde weg begint het vervoer over grotere afstanden [20].

Al naar gelang de bestemming en de geografische ligging kan een keuze worden gemaakt tussen vervoer te water, per spoorweg of per vrachtauto of combinaties daarvan.

Het vervoer van rondhout uit het bos naar de houtverwerkende industrie of gebruiker kan over zeer verschillende afstanden geschieden. De plaats van verwerking wordt nl. gekozen hetzij nabij het bos, hetzij nabij de afzetmarkt van het industriële produkt, danwel op een plaats die gunstig is gelegen voor verder vervoer (bijv. een haven). In Centraal Europa zijn veel voorbeelden van de eerste situatie te vinden, terwijl in Scandinavië veel voorbeelden van de laatste oplossing voorkomen. In de tropen wordt het meeste hout als rondhout of als halfprodukt geëxporteerd en pas nabij de afzetmarkt van het eindprodukt verder verwerkt. De plaats van de industrieën is ten dele bepaald door traditie, maar in hoofdzaak door de verhouding van de transportkosten van rondhout en eindprodukt, de beschikbaarheid van arbeidskrachten, hulpgrondstoffen, infrastructuur, de mogelijkheid tot verwerking van afvalprodukten en de nabijheid van de afzetmarkt.

Transport te water.

De oudste wijze van transport uit het bos is die over water. Met weinig middelen kunnen rivieren, meren en zeeën voor dit vervoer bruikbaar worden gemaakt. De stammen kunnen los of tot vloten samengesteld en met behulp van lichters en boten worden vervoerd. Vooral op de rivieren werd op grote schaal gevlot, zowel in de noordelijke naaldhoutgordel als in de tropen. Vloten over zee vond op ruime schaal plaats voor de kust van Zweden en de westkust van Noord-Amerika. Voordelen van dit vervoer zijn de lage kosten, die grotendeel bestaan uit het verloren gaan van hout door zinken of stranden. Een nadeel is de afhankelijkheid van de seizoenen, in de winter bij bevroren rivieren en in de tropen bij droogte is geen vervoer mogelijk. Voor de houtverwerkende industrieën is deze stootgewijze aanvoer zeer bezwaarlijk. Daarnaast ondervindt dit transport meer en meer hinder van

stuwen voor waterkrachtcentrales en van de drukker wordende scheepvaart. Het hout is dikwijls ook lang onderweg. Teakhout gevlot op de rivieren van Thailand en Birma, is soms twee jaar onderweg naar de havensteden.

Deze nadelen hebben tot gevolg dat het vloten op de rivieren meer en meer wordt vervangen door rail- en wegvervoer. In arealen met een slechte infrastructuur, zoals in Siberië en sommige ontwikkelingslanden, wordt het vloten gehandhaafd en vormt daar ook dikwijls de enige mogelijkheid.

Het watertransport evenals het transport per spoor vergt tussentransport van de groeiplaats naar laadplaats, rivier of zeeoever. Daarvoor wordt thans in de regel de vrachtauto gebruikt.

Vervoer over de weg

Naast het watertransport vormt het vervoer over de weg de meest gebruikelijke oplossing voor de afvoer van rondhout uit het bos. In plaats van ossekar en paard en wagen is de vrachtauto gekomen. Een tijd lang hebben railbanen een belangrijke plaats ingenomen, doch de hoge aanlegkosten en de geringe verplaatsbaarheid van de aansluitpunten in het bos hebben de voordelen van lage directe kosten teniet gedaan.

De voordelen van de vrachtauto liggen vooral in het ongebroken vervoer van het bos tot aan de houtverwerkende industrie, de gebruiker, het spoorwegemplacement of de haven.

De ontsluitingswegen binnen het bosareaal kunnen met moderne grondverzetmachines relatief goedkoop worden aangelegd. De hellingen en draaicirkels die met vrachtauto's kunnen worden genomen, maken een goede aanpassing aan het terrein mogelijk.

Vrachtauto's worden speciaal voor houttransport gebouwd. Zo is er de pijptrailer voor langhout, waarbij het chassis uit een enkele pijp bestaat tussen de trekker en de naloperachteras. De stammen worden aan voor- en achtereind op een schamel gelegd en zijn zelfdragend [26].

Wanneer het gehele vervoer van bos naar fabriek gaat over eigen wegen met voldoende draagkracht, maakt men gebruik van zeer grote en zware trucks met een totaal gewicht van 100 ton en meer. Deze zouden niet op openbare wegen worden toegelaten.

Transport per spoor

Het vervoer van rondhout per spoor vindt voornamelijk plaats over grote afstanden. Over afstanden minder dan 100–200 km is de vrachtauto met ongebroken vervoer meestal goedkoper. In de Scandinavische landen heeft het spoorwegvervoer het eeuwenoude watertransport grotendeels vervangen. Daar waar watertransport over grotere afstanden niet mogelijk is, blijft de spoorweg als enige vervoermethode over. Bij voldoende aanbod van rondhout worden voor dit vervoer speciaal aangepaste wagons ter beschikking gesteld, die een snel-

le belading mogelijk maken en een hoog draagvermogen hebben.

Laden, lossen en verpakken

Bij rondhoutvervoer uit het bos bevindt zich het aanbod in weinig geconcentreerde vorm langs de boswegen en de soort vracht wisselt sterk. Dit stelt specifieke eisen aan voertuig en laadinrichting. Er zijn laadinrichtingen op de vrachtauto zelf (hydraulische kraan) en mobiele laadinrichtingen (kranen en hydraulische laadmachines). Het lossen bij de houtverwerkende industrie kan met soortgelijke installaties geschieden. Bij havens en spoorwegemplacementen worden overwegend mobiele inrichtingen gebruikt.

Vanuit de scheepvaartwereld is de doorbraak gekomen naar methoden tot versneld laden en lossen [27]. Men zocht het in de eerste plaats in vergroting van de te vervoeren eenheden. Die blijven door de gehele transportketen als eenheid bestaan. Dat leidde tot het bundelen van zaaghout of plaatmaterialen tot pakketten. Om nat worden, vervuiling en beschadiging te voorkomen, worden deze eenheden vaak verpakt in papier of plasticfolie. Bij sommige produkten wordt een dergelijke eenheid gekoppeld aan een pallet. De grootte van de pakketten of andere eenheden wordt bepaald door het hefvermogen van de laadapparatuur en vorkheftrucks. Men streeft er naar de pakketten in één zending gelijk van afmeting te laten zijn met een gewicht van $\frac{1}{2}$ à $1\frac{1}{2}$ ton. Er is evenwel nog weinig standaardisatie [28].

Een verder gaande vorm van vergroting van eenheden is de container. Deze stelt echter hogere eisen aan de laad- en losapparatuur en aan het aansluitende landvervoer. De voordelen van dit systeem zijn de grote eenheid en de bescherming tegen klimaat, beschadiging en diefstal.

Een nog verder gaande vergroting van eenheden biedt het 'roll on roll off'-systeem. Het laden en lossen gaat hiermee zeer snel.

Een ontwikkeling die beloften inhoudt voor het vervoer van rondhout en houtprodukten uit gebieden met weinig havenfaciliteiten is het Lash¹⁾ of Seabee-systeem. Bij dit systeem hebben de containers de vorm aangenomen van lichters, die beladen aan boord van het zeeschip worden gehesen en in de haven van bestemming weer te water worden gelaten. Dit systeem maakt het mogelijk de lichter diep in het binnenland te laden, vervolgens via rivieren naar de kust te varen en daar zonder grote havenfaciliteiten aan boord van het zeeschip te brengen. Op de plaats van bestemming aangekomen kunnen de lichters weer via rivieren en kanalen diep in het achterland hun lading afleveren.

Geheel los van de voorgaande vervoerssystemen overzee staat het vervoer van hout in de vorm van chips voor de papierindustrie. In Japan zijn speciale schepen ontwikkeld voor de invoer van chips uit het

westen van Canada en de Verenigde Staten, uit Nieuw-Zeeland en Australië. Het laden en lossen geschiedt pneumatisch.

Het transport van produkten uit de houtverwerkende industrie, zoals zaaghout, plaatmaterialen, papier, meubels e.d. stelt minder speciale eisen dan het transport van het zware onhandelbare rondhout.

8. Verwachtingen en toekomstige mogelijkheden

door prof.ir. M.M.G.R. Bol en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns

De verwachting mag worden uitgesproken, dat het bos in de toekomst aan toenemende druk onderhevig zal zijn. Toenemende druk als gevolg van de groeiende wereldbevolking (1976: ca. 4 miljard en 2000: ca. 7 miljard, een verdubbeling ongeveer iedere 30 jaar). Bovendien zal de druk op het bos toenemen door groeiende welvaart.

Dit kan leiden tot een toenemend ruimtelijk beslag ten behoeve van bebouwing, wegen, voedselvoorziening, industrie en handel. Tot de toenemende druk op het bos zullen ook bijdragen de toenemende behoefte aan hout en aan bos-nevenfuncties zoals openluchtrecreatie.

Het wereldhoutverbruik was in 1975: 2,7 miljard m³; met een verdubbeling iedere 10 à 15 jaar.

Reeds meer dan 1 miljard ha bos is in de loop van de tijden als gevolg van menselijk optreden verdwenen. Het zal nodig zijn de resterende ca. 4 miljard ha te beschermen en de toenemende druk te keren, opdat het bos naar kwantiteit en kwaliteit zijn functies, zoals o.a. regulatie van klimaat en waterhuishouding, bodembehoud en leverancier van bosprodukten, zal kunnen blijven vervullen.

Voor bosbehoud en bosbeheer is het in de eerste plaats nodig de bevolking, met inbegrip van bestuurders en politici, mondiaal en nationaal bewust te maken van de onmisbaarheid van bossen voor de samenleving en te doordringen van het belang van goed en deskundig functionerende bosdiensten.

Een van de eerste barrières tegen verdere afbrokkeling van het bosbestand zou moeten bestaan uit het conserveren van natuurlijke boscösystemen van voldoende omvang en schakering, opdat deze systemen als bron van natuurlijke welvaart en als genenbron behouden blijven. Daarvoor zouden niet alleen oerbossen in de tropen in aanmerking dienen te komen, maar ook natuurlijke bossen in andere klimaatzones. Door de Internationale Unie voor het behoud van de Natuur en de Natuurlijke Welvaartsbronnen (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)

¹⁾ LASH = Lighter Aboard SHip

werd in 1974, te Kinshasha in Zaïre, voor het behoud van representatieve bosreservaten een norm gesteld van 10% van het bosareaal in ieder land of in iedere biogeografische regio. In deze 10% dienen alle natuurlijke bosecosystemen representatief voor te komen. Er is nog geen land ter wereld dat dit percentage van zijn bosareaal als bosreservaat heeft ingesteld. De financiering ter instandhouding zou – voor zover die niet door de nationale organisaties kan worden geleverd – mondiaal moeten worden geregeld als een verantwoordelijkheid van de Verenigde Naties. In dergelijke natuurbosreservaten zouden flora en fauna zich zoveel mogelijk ongestoord moeten kunnen ontwikkelen. Het behoud van tropisch regenwoud is een van de meest sprekende voorbeelden hiervan.

Vervolgens is het voor het welslagen van bosbeheer nodig dat maatregelen worden genomen ter regulatie van zwerflandbouw en -veeteelt.

Daarnaast zou het grote areaal bos met meervoudige functie beter dienen te worden benut en beschermd. Binnen dit areaal kunnen de accenten en de prioriteiten van de functies zeer verschillend liggen.

Maatregelen kunnen liggen in het vlak van:

- herbebossing van woeste gronden die vroeger bos hebben gedragen (geschat op $0,6 \times 10^9$ ha).
- verbetering van bestaande bossen, o.a. door betere keuze van de houtsoorten en aangepaste opbouw van de opstand.
- het op verantwoorde wijze exploiteren van niet of slechts gedeeltelijk in exploitatie zijnde bossen ($1,4$ à $1,5 \times 10^9$ ha).
- bebossing van terreinen die recent geen bos hebben gedragen, zoals vroegere landbouwgronden en nieuwe gronden (polders).

In alle gevallen is een sterk beroep nodig op deskundig beheer, d.w.z.

- Beheer dat in de eerste plaats is gericht op duurzaamheid en continuïteit, waarbij lokaal niet meer wordt gekapt dan de jaarlijkse bijgroei. Slechts op die basis is hout een vernieuwbare grondstof. Voor roofofbouw is in dat beleid geen plaats.
- Beheer dat in staat is beheerssystemen te ontwikkelen, die zijn aangepast aan plaatselijk terrein, klimaat en opstand en aan de mogelijkheden van kapitaal en arbeid ter plaatse.
- Beheer waarbij eveneens alle aandacht wordt gegeven aan het duurzaam goed functioneren

van alle nevenfuncties van het bos.

Op dit terrein zal nog veel onderzoek en ontwikkelingswerk moeten plaatsvinden. In ieder geval voor het beheer van het tropisch regenwoud, maar ook voor bosbeheerssystemen elders.

Speciale aandacht verdient ook de aangepaste ontwikkeling van houtoogst- en transportsystemen. Daarbij dient niet alleen rekening te worden gehouden met kostenminimalisatie, maar ook met de instandhouding van bodem, vegetatie en fauna en met de schakelfunctie die de houtoogst bij de bosverjonging vervult.

De ontwikkeling kan zijn gericht op methoden binnen het sortimenten- en langhoutsysteem. Daarbij is toespitsing op de lokale omstandigheden van groot belang.

Bij weinig geaccidenteerde en weinig kwetsbare terreinen zullen in het algemeen terreinvoertuigen worden gebruikt. Nieuwe belangstelling is te verwachten voor mobiele kabel- en ballontransport-systemen in bergachtige terreinen en voor lucht-kussen-voertuigen in moerassige gebieden.

Deze ontwikkelingen zullen er toe kunnen leiden dat bosbeheer, als gevolg van groeiende kwaliteitseisen, duurder gaat worden.

Te verwachten is dat er in de toekomst meer aandacht zal zijn voor een beter gebruik van de grondstof hout. Zo kan worden gedacht aan de mogelijkheid tot beter gebruik van de bosbiomassa door de aanvullende oogst van een deel van de kroon en van ondergrondse boomdelen. Beperkingen liggen hier in de technologische gebruiksmogelijkheden en in de extra onttrekking van organische en minerale voedingsstoffen aan de voedselkringloop. Toepassing van deze aanvullende oogst zou in het algemeen, en zeker op arme groeiplaatsen, beperkt dienen te blijven tot dik takhout en eventueel hout van de stobbe. De ontwikkeling van boom- en totale boomoogstsystemen zou bij een dergelijke situatie kunnen aansluiten.

Tenslotte is er in een aantal landen belangstelling voor het aanleggen van bosplantages met snelgroeiende houtsoorten uitsluitend voor de houtproductie. Het accent zal hier sterk liggen op kostenminimalisatie en produktieverhoging. Derhalve zal de belangstelling voor het oogsten van grotere delen van de biomassa groot zijn, desnoods met gebruikmaking van bemesting.

Hoofdstuk III. Energie- en milieu-aspecten in de bosbouw

In dit hoofdstuk zal de aandacht worden gericht op de bij het bos in het geding zijnde energieproductie en -consumptie, alsmede op de mogelijke milieubeïnvloedingen.

1. Energie in het biologisch assimilatieproces

door ir. J. Lasschuit

De zonne-energie die op een plant terecht komt, wordt voor een deel door de plant benut voor een assimilatieproces waarin de opgenomen energie wordt gebruikt voor de synthese van plantstoffen. Bomen zijn bij het biologisch vastleggen van zonne-energie zeer effectief, dankzij een werkzame hoogte van enige tientallen meters.

Over de zonne-energie die in het biologisch proces wordt vastgelegd, bestaan geen nauwkeurige cijfers. Dit hangt samen met de grilligheid van de natuur en met het feit dat het fysiologisch levensproces van de groene plant niet in finesses bekend en slechts in beperkte mate te beïnvloeden is. Voorts zijn berekeningen onzeker door de invloed van zonnewekken, terwijl de eventuele invloed van de zonnewind¹⁾ op plantengroei onbekend is.

Men kan de invloed van zonne-energie op groene planten bij benadering statistisch constateren en men zou daarnaast liefst kwantitatief willen voorspellen in hoeverre daarin verbeteringen kunnen worden aangebracht.

De straling van de zon is samengesteld uit een breed spectrum van golflengten. Dit spectrum wordt hier in zijn totaliteit gezien, ofschoon planten zeer selectief op verschillende golflengten kunnen reageren.

De zon heeft een massa van ca. 2×10^{30} kg. Daarvan verliest zij $0,13 \times 10^{18}$ kg per jaar door de omzetting van waterstof in helium. Hierbij wordt alzijdig een hoeveelheid energie de ruimte ingestraald van 380×10^{24} J per seconde, waarvan 170×10^{15} J per seconde in de richting van de aarde.

Een plat vlak door het middelpunt van de aarde en loodrecht op de zonnestraling heeft een oppervlak van ca. 127×10^{12} m². Dit vlak zou per m², gemeten buiten de aardatmosfeer, ca. 1300 J per seconde ontvangen, d.i. ca. 1300 W/m².

Dit is de z.g. zonneconstante, die vroeger werd opgegeven als 1,92 cal/cm² min, met variaties tussen 1,9 en 1,95, vermoedelijk veroorzaakt door de

variaties in afstand tussen de zon en de aarde, door haar elliptische baan en door onregelmatigheden op de zon.

Alleen de gebieden tussen de keerkringen bevinden zich regelmatig voor korte tijd loodrecht onder de zon; de streken buiten de keerkringen ontvangen veel minder zonne-energie en anders verdeeld over de dag en het jaar. De gebieden tussen de keerkringen zouden, geen rekening houdende met de absorptie door de atmosfeer, gemiddeld over een jaar ongeveer 410 W/m² stralingsenergie ontvangen. Op een willekeurige breedtegraad zou dit $410 \times \cos(B)$ W/m² bedragen, waarbij B de breedtegraad is.

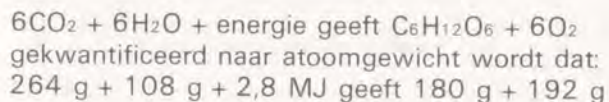
Van praktisch belang is het te weten hoeveel daarvan binnen de atmosfeer op de aarde valt en wat daarvan door de groene planten wordt vastgelegd.

Van de 170×10^{15} W die in de richting van de aarde wordt gestraald, bereikt maar 30% (51×10^{15} W) het aardoppervlak [29]. Deze energie-invang wordt grotendeels gebruikt voor de verdamping van water.

Van het overschot wordt een deel benut bij het assimilatieproces van de groene planten. De planten zijn, zoals reeds vermeld, zeer selectief voor wat betreft de golflengte die zij uit de inkomende straling kunnen gebruiken.

In Nederland, op ca. 52° noorderbreedte, bedraagt de ingevangen zonne-energie aan het aardoppervlak gemiddeld over een jaar ongeveer 100 W/m² [30]. Theoretisch en zonder absorptie in de atmosfeer zou dit ca. 250 W/m² bedragen.

De eenvoudigste chemische reactie voor de vorming van plantenstof (glucose) is:



Volgens bovenstaande formule zou voor de vorming van 1 ton droge stof (gerekend als $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 16×10^9 J nodig zijn. Aannemende dat 1 m³ droog hout $\frac{2}{3}$ ton weegt, is een energie nodig van ca. $10,5 \times 10^9$ J per m³ droog hout.

In feite stopt de vorming van plantenstof niet bij $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ en zal er dus meer energie nodig zijn. Hiervoor bestaan geen berekeningen vanwege de uiteenlopende aard der ontelbare verbindingen in planten. Gezien de verbrandingswaarde van $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ten opzichte van die van de uiteindelijke plantenstoffen mag men veronderstellen dat de

¹⁾ Zonnewind = de stroom van protonen en elektronen die uit de corona van de zon naar buiten verdwijnt.

synthese van $C_6H_{12}O_6$ een belangrijk deel van het energiegebruik vertegenwoordigt. Droog hout heeft een verbrandingswaarde van gemiddeld $180 \times 10^9 J/ton$. De bovengenoemde $10,5 \times 10^9 J/m^3$ geldend voor het equivalent van $C_6H_{12}O_6$ in hout moet daarom worden gecorrigeerd naar ongeveer $11 \times 10^9 J/m^3$ echt hout.

De beide volgende energetische processen in de stofwisseling van planten, zijn evenmin in cijfers uit te drukken:

- Het oppompen van water met de daarin opgeloste stoffen vanuit de bodem naar de bladeren. De afstand bedraagt gemiddeld over alle bomen enige tientallen meters.
- Het transpireren vanuit de bladeren.

Het is niet bekend of bij deze beide processen andere golfengten in het spel zijn dan nodig voor de assimilatie, maar er zijn daarvoor wel aanwijzingen.

De vorming van plantenstof in het assimilatieproces moet voorts in nog meer voorzien dan in de bovengenoemde vorming van $C_6H_{12}O_6$ als tussenstap naar hout. In alle kwantitatieve beschouwingen over houtproductie blijven wortels, dunne stamdelen, twijgen, takken, bladeren, soms ook de schors, vruchten en inhoudsstoffen in het hout buiten de opgaven. De bosbiomassa (incl. struiken, kruiden, fungi en mossen) kan een veelvoud van de houtstof bedragen.

De inhoudsstoffen van sommige houtsoorten (incl. palmen) verdienen de aandacht als potentiële energieleveranciers. Latex, hars, terpentijn en suikers zijn oogstbare produkten die (eventueel na veredeling) voor opwekking van energie kunnen dienen. Dit wordt echter nauwelijks op praktijkschaal toegepast.

Volgens de FAO-gegevens is het jaarlijkse wereldhoutverbruik $2,8 \times 10^9 m^3$. Het assimilatieproces vraagt $11 \times 10^9 J/m^3$. In totaal dus $31 \times 10^{18} J$ voor de droge stof in dat hout. Op hoeveel oppervlak is deze jaarlijkse bijgroei van $2,8 \times 10^9 m^3$ hout tot stand gekomen? Het wereldbos neemt $3,8 \times 10^9$ ha in beslag. Voor de eenvoud is hier aangenomen dat de jaarlijks verbruikte $2,8 \times 10^9 m^3$ hout afkomstig is van $1,9 \times 10^9$ ha. Dat betekent een jaarlijkse bijgroei van ca. $1,5 m^3/ha$. Dit komt overeen met een behoefte aan zonne-energie van ruim $16 \times 10^9 J/ha$ voor houtbijgroei.

Reeds was aangegeven dat gemiddeld $100 W/m^2$ zonne-energie op het Nederlandse bos valt. In Nederland is de houtopbrengst ca. $3,5 m^3/ha$ per jaar. De energie-inhoud van hout is $11 \times 10^9 J/m^3$. Uit deze gegevens kan worden berekend dat 0,12% van de opvallende zonne-energie in bruikbaar hout is terecht gekomen.

Zonne-energie is in het bos niet uitsluitend t.b.v. bruikbaar hout vastgelegd. Wanneer men de biomassa in het bos aanneemt op een factor 3 tot 5 maal de uit het bos gehaalde massa aan bruikbaar hout, dan zou daarmee het gemiddelde assimi-

tieproces een energetisch rendement van 0,4 tot 0,6% hebben behaald.

Verwachtingen

De tot zoverre gegeven beschouwingen over energiegebruik bij plantenassimilatie zouden belangrijk aan waarde winnen als men hieruit een theoretische aanwijzing zou kunnen krijgen voor vergroting van het energetisch rendement.

Wat het bos betreft, bestaat er een (vrijwel ontoegankelijk) onderzoek van de Baltische Rus Kairjoektsjis, die uit zijn bos een meeropbrengst aan massa (dus niet in de eerste plaats kwaliteitshout) kreeg van 20 tot 28%. Hij bereikte dit door individuele boomverpleging en een uiterst gecompliceerde menging van houtsoorten. Onbekend is wat de resultaten zouden kunnen worden in andere klimaatstreken en wat daarvan de meerkosten zouden zijn in vergelijking tot het conventionele bosbeheer.

Op aarde is in de laatste millennia ca. 1 miljard ha bos verdwenen. Deels is de desbetreffende bodem – meestal het vruchtbaarste deel van het oorspronkelijke bos – voor andere doeleinden in gebruik genomen. Zonder in conflict te komen met de landbouw, zou men voorlopig kunnen aannemen dat ongeveer de helft van dat voormalige bosareaal alsnog weer te beplanten zou zijn, met – op de lange duur – een produktie aan droge stof van minstens 1 ton per jaar en per hectare. Daarmee zou dan jaarlijks een energiehoeveelheid van de orde van $10 \times 10^{18} J$ worden vastgelegd in oogstbaar hout.

Met het oog op de hoge kosten, het gebrek aan deskundigen ter plaatse en de voor het slagen noodzakelijke medewerking van de bevolking is het onwaarschijnlijk dat zo'n gigantisch project weldra kan worden ondernomen.

Bovendien zal het vele tientallen jaren tot eeuwen duren voordat deze gronden weer een redelijke bosbegroeiing kunnen dragen.

2. Energiegebruik bij aanleg, verzorging, oogst en transport

door ir. J.W. Aardema

2.1. Energiegebruik bij aanleg, verzorging en oogst

Hoeveel energie en tijd de verzorging van de Nederlandse bossen vergt, hangt o.a. af van het beheerssysteem, de houtsoort en de toegepaste werkmethoden. De studie is beperkt gehouden door, uit de vele in Nederland voorkomende houtsoorten, slechts vier belangrijke soorten naalddhout en één belangrijke soort loofhout ter behandeling uit te kiezen.

De kwaliteit van een bos wordt aangeduid met 5 klassen of boniteiten¹⁾; klasse 1 is zeer goed en klasse 5 is nog maar net bruikbaar. De hier behandelde produktiebossen zijn verondersteld van klasse 3, een gemiddelde boniteit, te zijn. Voorts is verondersteld dat deze bossen zijn geteeld volgens de huidige gangbare systemen. Berekend is hierbij hoeveel energie en werkuren nodig zijn geweest voor de aanleg, verzorging en oogst [31]. De energie en werkuren nodig voor de afvoer van het produkt zijn afzonderlijk behandeld.

Bij de huidige werkmethode wordt de aanleg en verzorging grotendeels met de hand gedaan, het vellen, snoeien en eventueel korten met de motorzaag en de afvoer van het gevelde rondhout met trekkers. Er is een machinale methode in opkomst waarbij zo weinig mogelijk met de hand wordt gedaan en zo veel mogelijk met specifieke bosbouwmachines, zoals bijv. een forwarder of een oogstmachine. In Overzicht 1 en Figuur 1 is dit nader toegelicht. Een groot deel van de basisgegevens hiervoor zijn verstrekt door het Rijksinstituut 'De Dorschkamp' te Wageningen.

Overzicht 1. Gehanteerde werkmethoden bij huidige teelt en oogstsystemen, gegevens per omloop

Naaldhout

– algemeen:

- . herbebossing van een naaldhout-kapvlakte
- . onderhoud boswegen met een trekker
- . aanleg: lariks 3000 st/ha, 3 jarig plantsoen; omloop 36 j vanaf kieming
- douglas 3000 st/ha, 3 jarig plantsoen; omloop 60 j vanaf kieming
- cors.den 4500 st/ha, 3 jarig plantsoen; omloop 69 j vanaf kieming
- grove den 4500 st/ha, 2 jarig plantsoen; omloop 72 j vanaf kieming

– huidige methoden:

- . kapafval stapelen met de hand
- . planten met de hand
- . onkruidbestrijding met bosmaaier (2x)
- . oogst met motorzaag
- . stapelen met de hand
- . afvoer dunningen met trekker + tang
- . afvoer kaalslag met trekker + kraan + wagen

– machinale methoden:

- algemeen
- . kapafval machinaal stapelen
- . chemische onkruidbestrijding

¹⁾ Boniteit = bosbouwkundige term voor kwaliteit van grond of hout.

- . oogst: dunningen:
 - . vellen met veller
 - . snoeien en korten met snoeier en korter
 - . afvoer dunningen (langhout) met trekker
 - . afvoer dunningen (sortiment) met forwarder
- kaalslag:
 - . oogsten met oogstmachine
 - . afvoer sortiment met forwarder

planten:

- . lariks en douglas met de hand
- . cors.den en grove den machinaal

eerste dunning:

- . lariks en douglas motorboogzaag (individuele bomen)
- . cors.den en grove den klepelmaaier (rijen bomen)

Populier

– algemeen:

- . herbebossing van een populier-kapvlakte
- . onderhoud bosweg met een trekker
- . bemesting (indien toegepast) 312 kg kalkammonsalpeter per ha
- . per plant een kunststof stamvoetbeschermer van 60 cm hoog
- . aanleg: 625 st/ha, 1-jarige stek; omloop kort, 16 jaar vanaf stek omloop lang, 31 jaar vanaf stek
- . op snoeien van populier met lange omloop in handwerk

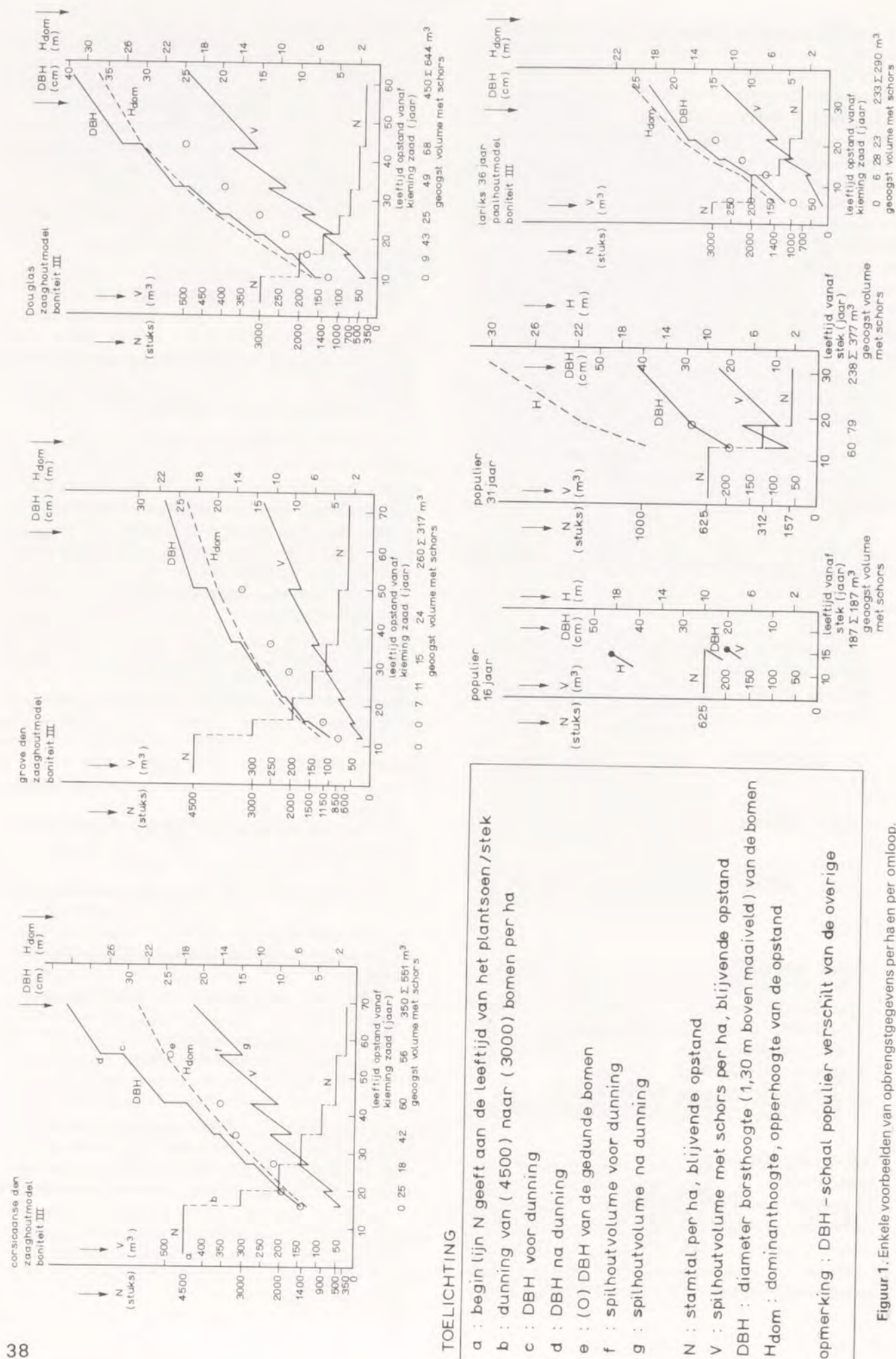
– huidige methoden:

- . kapafval met hand stapelen, uitsluitend korte omloop
- . onkruidbestrijding plantspiegelgewijs met bosmaaier (3x)
- . oogst met motorzaag
- . afvoer sortiment door trekker + kraan + wagen

– machinale methoden:

- . kapafval stapelen met trekker, uitsluitend korte omloop
- . chemische onkruidbestrijding, plantspiegelgewijs (3x)
- . oogst door oogstmachine
- . afvoer sortiment door forwarder.

Bij de populier is er van uitgegaan dat de opbrengst van de wel- en de niet-bemeste opstanden gelijk is. Aangenomen is nl. dat de bemeste populier op minder produktieve gronden staat en de bemesting het verschil in bodemkwaliteit zal goedmaken. Na afloop van een omloop is niet gerekend op het soms toegepaste tijdelijk braak laten liggen van het perceel. Meteen na de oogst in de winter volgt in de lente de beplanting.



TOELICHTING

- a : begin lijn N geeft aan de leeftijd van het plantsoen /stek
 - b : dunning van (4500) naar (3000) bomen per ha
 - c : DBH voor dunning
 - d : DBH na dunning
 - e : (O) DBH van de gedunde bomen
 - f : spilhoutvolume voor dunning
 - g : spilhoutvolume na dunning
 - N : stamtal per ha, blijvende opstand
 - V : spilhoutvolume met schors per ha, blijvende opstand
 - DBH : diameter borsthoogte (1,30 m boven maaiveld) van de bomen
 - H_{dom} : dominanthoogte, opperhoogte van de opstand
- opmerking : DBH -schaal populier verschilt van de overige

Figuur 1. Enkele voorbeelden van opbrengstgegevens per ha en per omloop.

De gegevens over energie en werkuren zijn samengebracht in Tabel 1.

Tabel 1. Energiegebruik en werkuren bij aanleg, verzorging en oogst ¹⁾; uitkomsten per omloop per ha (afgerond).

	lariks, huidig	lariks, machinaal	douglas, huidig	douglas, machinaal	corsicaanse den, huidig	corsicaanse den, machinaal	grove den, huidig	grove den, machinaal	populier korte omloop (16 jr), huidig	populier korte omloop (16 jr), machinaal	populier lange omloop (31 jr), huidig	populier lange omloop (31 jr), machinaal	aandeel kunstmest in gegevens populier
uren arbeid, werkplektijd	465	180	600	250	585	210	430	130	255	130	350	195	14
energie in menselijke voeding, MJ	420	95	550	120	545	65	405	45	235	85	315	130	14
idem, omgerekend naar fossiele energie, GJ	3,4	0,8	4,4	0,9	4,3	0,5	3,2	0,4	1,9	0,7	2,5	1,0	0,1
fossiele energie, GJ	32	59	47	98	47	98	31	60	31	53	45	68	8,8
waarvan direct, %	73	63	72	64	73	65	73	64	44	48	53	53	0
indien populier, onbemest, %									62	58	66	61	
houtoogst met schors, m ³	290	290	645	645	550	550	315	315	185	185	375	375	
fossiele energie per geogste m ³ , MJ	110	205	75	150	85	180	100	190	165	285	120	180	47a 23b
indien populier, onbemest, MJ									120	240	95	160	a. bij b. bij
omgerekend in liters dieselolie per m ³ ²⁾	3,0	5,5	2,0	4,1	2,3	4,8	2,6	5,1	4,4	7,6	3,2	4,8	1,3a 0,6b
indien populier, onbemest									3,1	6,3	2,6	4,2	lange omloop

¹⁾ In deze tabel zijn niet opgenomen: blesen dunningsbomen, opmeten geveld rondhout, transport tussen opstanden onderling, transport tussen opstanden en verzamelplaats en het kweken van het benodigde plantsoen.

²⁾ Als basis is aangehouden 37,4 MJ per liter dieselolie; benzine (35,3 MJ/l) is omgerekend in dieselolie-equivalent.

De menselijke energie in Tabel 1 is de energie die boven het basaal metabolisme is besteed. Hierbij is aangenomen dat handwerk 17 kJ/min vergt en machinale arbeid 4 kJ/min. 17 kJ/min is ongeveer de maximale belasting die een volwassen man gedurende acht uur kan volhouden. Daar handwerk in het bos over het algemeen zwaar tot zeer zwaar werk is, is aangenomen dat de belasting naar dit maximum tendeert. Voor zuiver machinale arbeid is de aangehouden 4 kJ/min te hoog, doch er is aangenomen dat het bedienende personeel ook enig handwerk verricht, zoals bijv. tanken en het verrichten van kleine reparaties.

De gebruikte menselijke energie kan men ook in fossiele energie omrekenen. De mens haalt immers zijn energie uit voedsel en aan dit voedsel is bij de teelt, oogst, transport, geschikt maken voor consumptie e.d. fossiele energie besteed. Hiervoor noemt Leach [32] 9 J fossiele energie en de CNEEMA [33] 5,5 J fossiele energie voor 1 J voedsel. De in Tabel 1 weergegeven omgerekende bedragen op de derde rij zijn gebaseerd op 8 J per 1 J voedsel.

Deze energie moet inderdaad aan de bosbouw worden toegerekend, daar de er mee verrichte nuttige arbeid in het bos heeft plaatsgevonden. Deze

omgerekende menselijke energie is dan ook in Tabel 1 op de vierde rij, fossiele energie, mede opgenomen. Achterwege laten van de omgerekende menselijke energie doet de uitkomsten van de machinale werkwijze slechts zeer weinig afnemen, minder dan 1½%. Voor de huidige methode zijn de veranderingen aanzienlijk groter, afname tussen 7 en 11% voor de onbemeste opstanden; voor de bemeste opstanden ligt dit percentage lager vanwege de hoge energetische waarde van de bemesting. Onder directe energie wordt in deze studie verstaan de in de bosbouw verbruikte brandstoffen, (diesel)olie en benzine, plus de directe en indirecte energie in de toelevering van de brandstoffen, zijnde 10% van de verbruikte brandstoffen.

Bij beschouwing van Tabel 1 dient er rekening mee te worden gehouden dat de volgende werkzaamheden niet zijn opgenomen:

- Het blesen van dunningsbomen, alsmede het opmeten van geveld rondhout. Deze werkzaamheden zijn momenteel nog arbeidsintensief, maar kunnen in de toekomst mogelijk op een andere wijze worden geregeld. De huidige gegevens voor blesen en opmeten zijn apart in Tabel 2 weergegeven.
- Het kweken van het voor de aanleg benodigde

Tabel 2. Uren en energie in bleszen van dunningsbomen en opmeten van geveld rondhout, huidige methode¹⁾; resultaten per ha en per omloop (afgerond).

	lariks	douglas	corsicaanse den	grove den	populier, korte omloop	populier, lange omloop
uren bleszen, werkplektijd	11	19,5	21	13,5	—	—
uren opmeten, werkplektijd	15,5	33	28	17	9,5	19
uren totaal	26,5	52,5	49	30,5	9,5	19
aandeel t.o.v. 'huidige' uren in Tabel 1	6%	9%	8%	7%	4%	5%
energie in menselijke voeding, MJ	27	54	50	31	10	19
idem, omgerekend naar fossiele energie, MJ	215	430	400	250	80	150
energie per geoogste m ³ , omgerekend in liters dieselolie	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
fossiele energie t.o.v. die in Tabel 1, huidig	1%	1%	1%	1%	1%	1%

¹⁾ termen en beperkingen zijn gelijk aan die bij Tabel 1.

plantsoen (het plantsoen is het plantmateriaal, dat uit de kwekerij is verkregen). Gegevens hierover zijn nog niet beschikbaar¹⁾.

- Het transport van mens en materieel tussen de opstanden, alsmede tussen de opstanden en een centraal gelegen verzamelplaats in het bos, waarvan 's-morgens wordt vertrokken en waarnaar 's avonds wordt teruggekeerd. Deze gegevens zijn nl. afhankelijk van de grootte van de opstand, de wijze van transport en de transportafstand. Deze energiepost wordt daarom apart opgegeven in Tabellen 4 en 5.

De in Tabel 1 gegeven volumina in m³ met schors hebben betrekking op de geoogste m³ rondhout. In de uitkomsten behorende bij de populier valt op dat de bemesting (met 312 kg kalkammonsalpeter per ha per omloop) een flinke invloed heeft op de totale hoeveelheid verbruikte fossiele energie. Het hoogste percentage wordt bij populier-huidige methode-korte omloop gevonden; de bemesting vergt daar ca. 30% van de totale hoeveelheid verbruikte fossiele energie. Het overgrote deel van de energie in de bemesting is gebruikt bij de bereiding van de meststof, nl. ca. 8,6 GJ van de 8,8 GJ in de bemesting.

Bij vergelijking van de uitkomsten van de huidige en machinale methoden in Tabel 1 kan worden constateerd:

- dat door overschakeling van de huidige op de machinale methoden het fossiele energiegebruik toeneemt met:
 - ca. 100% bij naaldhout
 - 60 tot 100% bij populier onbemest
 - 50 tot 75% bij populier bemest.

¹⁾ Intussen is komen vast te staan [34] dat het energieverbruik in Tabel 1 als gevolg van het kweken van plantsoen moet worden verhoogd met 0,6 - 7%:

naaldhout
1,9 - 7,9 MJ/m³
populier
1,1 - 2,2 MJ/m³

De toename valt bij bemeste populier lager uit door de hoge constante waarde van de bemesting in beide methoden.

- dat bij overschakeling van de huidige op de machinale methode bij naaldhout en onbemeste populier er een procentuele verschuiving plaatsvindt van de directe naar de indirecte energie. Dit komt omdat bij de machinale methode naar verhouding meer energie wordt gebruikt bij fabricage, onderhoud en reparatie van het benodigde materieel.

Voor de bemeste populier gaat bovenstaande niet op, daar dan de - vrijwel uitsluitend indirecte - energie in de bemesting bij beide methoden moet worden opgeteld. Deze indirecte energie heeft grotere invloed op de minder energie-intensieve huidige methode dan op de machinale methode.

- dat bij overschakeling van de huidige op de machinale methode de hoeveelheid menselijke bosarbeid sterk afneemt, zelfs als de huidige methoden van bleszen en opmeten worden meegeteld. Voor naaldhout is de afname meer dan 50%, voor populier ligt de afname rond de 45%.

De vermindering van de arbeid wordt echter gedeeltelijk opgeheven omdat bij de machinale methode meer arbeid nodig is voor o.a. het fabriceren, onderhouden en repareren van het materieel. Hierbij moet men echter wel bedenken dat de specifieke bosbouwmaschinen buiten Nederland worden gemaakt. Daar bij de machinale methode met duurdere en meer ingewikkelde machines wordt gewerkt, moeten aan het opleidingsniveau van het personeel hogere eisen worden gesteld.

- dat de arbeidsinspanning in het bos bij de machinale methode aanzienlijk geringer is dan bij de huidige methode. Dit wordt veroorzaakt doordat een deel van het zware handwerk wordt vervangen door machine-arbeid.

Interessant is verder een uitsplitsing van de fossiele energie in Tabel 1 over diverse sub-groepen, zie Tabel 3.

Tabel 3. Procentuele verdeling van de fossiele energie uit Tabel 1 over drie sub-systemen.

	lariks, huidig	lariks, machinaal	douglas, huidig	douglas, machinaal	corsicaanse den, huidig	corsicaanse den, machinaal	grove den, huidig	grove den, machinaal	populier, korte omloop, huidig, bemest	populier, korte omloop, huidig, onbemest	populier, korte omloop, machinaal, bemest	populier, korte omloop, machinaal, onbemest	populier, lange omloop, huidig, bemest	populier, lange omloop, huidig, onbemest	populier, lange omloop, machinaal, bemest	populier, lange omloop, machinaal, onbemest
aanleg (incl. voorbereiding)	5	5	4	4	3	6	4	9	40	16	30	16	27	7	19	7
verzorging (incl. onderhoud boswegen)	7	5	7	3	9	7	13	11	6	8	3	3	6	6	4	4
oogst	88	90	89	93	88	87	83	80	54	76	67	81	67	87	77	89

In deze tabel valt op dat het overgrote deel van de fossiele energie naar de oogst gaat.

Buiten de oogst, blijkt de aanleg van populier een aanzienlijk deel van de fossiele energie te vergen. Dit wordt veroorzaakt door de bemesting in deze fase en doordat – vooral bij populier korte omloop – de energetische oogstkosten bescheiden zijn, een gevolg van de bescheiden opbrengst. Opvallend zijn verder in Tabel 3 de hogere waarden voor de verzorging van de grove den. Dit wordt veroorzaakt door de lange produktieduur en de bescheiden opbrengst. De lange produktieduur zorgt ervoor dat het jaarlijkse wegonderhoud relatief belangrijker wordt, terwijl de bescheiden opbrengst leidt tot een procentuele stijging van de overige posten.

2.2. Energieverbruik bij transport over korte afstand

Tot nu toe is uitsluitend gesproken over energie en tijd besteed in de opstand, maar het personeel en het materieel moet worden aan- en afgevoerd. Ook kunnen er gedurende de dag verplaatsingen tussen de opstanden plaatsvinden wanneer het werk in een opstand is voltooid. De hoeveelheid energie en tijd die in deze verplaatsingen zit, hangt af van de grootte van de opstand, de afstand tussen de opstanden onderling, alsmede die tussen de opstanden en de verzamelplaats, en van de wijze van verplaatsing. Tabel 4 geeft een overzicht van de uitkomsten voor het geval dat de machines dagelijks

Tabel 4. Fossiel energieverbruik en benodigd aantal uren bij transport van mens en materieel tussen verzamelplaats en opstand, alsmede tussen opstanden onderling; opstandsgrootte $2\frac{1}{2}$ ha; gegevens per omloop en per ha.

	Huidige methode								Machinale methode							
	machine 's avonds naar:				machine 's avonds naar:				machine 's avonds naar:				machine 's avonds naar:			
	verzamelplaats		opstand		verzamelplaats		opstand		verzamelplaats		opstand		verzamelplaats		opstand	
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	MJ	%	uur	%	MJ	%	uur	%	MJ	%	uur	%	MJ	%	uur	%
lariks	1500	5	29	6	900	3	29	6	2200	4	12	7	1000	2	12	7
douglas	2000	4½	40	7	1200	3	40	7	3750	4	18	7	1200	1½	19	8
corsicaanse den	2000	5	39	7	1100	2½	40	7	4150	4	15	7	1300	1½	16	8
grove den	1350	4½	29	7	800	3	29	7	2300	4	10	8	900	1½	10	8
populier, 16 jaar																
bemest	850	3	17	7	500	2	17	7	900	2	10	8	450	1	10	8
onbemest	850	4	17	7	500	2½	17	7	900	2	10	9	450	1	10	9
populier, 31 jaar																
bemest	1000	2	22	6	650	1½	22	6	1400	2	12	6	750	1	14	7
onbemest	1000	3	21	6	650	2	21	6	1400	2½	12	7	750	1	12	7

I) Verbruikte fossiele energie, in MJ.

II) I in procenten van de bij de aanleg, verzorging en oogst verbruikte fossiele energie, zie Tabel 1.

III) Het aantal arbeidsuren in de verplaatsingen.

IV) III in procenten van het aantal benodigde uren bij aanleg, verzorging en oogst, zie Tabel 1.

worden meegenomen naar de verzamelplaats, resp. voor het geval dat zij altijd in de opstand achterblijven.

De overige veronderstellingen voor Tabel 4 zijn:

- de opstanden zijn alle 2½ ha groot;
- alleen de kosten tussen vertrek uit en terugkeer in de verzamelplaats zijn in beschouwing genomen;
- worden de machines dagelijks meegenomen naar de verzamelplaats, dan rijdt het bij de machine behorende personeel hierop mee;
- de rijtijd van de machines tussen verzamelplaats en opstand, alsmede tussen opstanden onderling, bedraagt 10 minuten per rit;
- personen zonder zelfrijdende machines werken in groepjes van twee man en deze twee personen verplaatsen zich in één personenauto; de afstand tussen verzamelplaats en opstand bedraagt 2 km. Eenzelfde afstand is aangenomen voor transport tussen twee opstanden;
- in het geval dat de machines 's nachts in de opstand achterblijven, wordt het personeel gehaald en gebracht met een personenauto; de te rijden afstand is 2 km;
- de tijd in een verplaatsing is in alle gevallen 15 minuten per persoon per rit.

In Tabel 4 valt op dat bij opstanden van 2½ ha:

- het energieverbruik en het benodigde aantal uren matig tot gering is in vergelijking met dezelfde gegevens bij aanleg, verzorging en oogst in Tabel 1,
- het 's avonds in de opstand achterlaten van de machines energetisch voordeliger is,
- het bij de machinale methode benodigde aantal uren aanzienlijk geringer is dan bij de huidige methode, doch dat de procentuele bedragen t.o.v. aanleg, verzorging en oogst vrijwel gelijk zijn.

Bovenstaande geldt voor opstanden van 2½ ha.

Voor afwijkende opstandsgrootten zullen de gegevens veranderen, doordat de gegevens van de verplaatsingen gedurende de dag veranderen. De kosten daarvan zijn in absolute termen wel gelijk, maar per hectare verschillend. Bij grotere opstanden worden de getallen kleiner, bij kleinere opstanden juist groter. Tabel 5 geeft de veranderingen bij verdubbeling en resp. halvering van het oppervlak van de opstand.

Bij een verdubbeling van het oppervlak blijken energieverbruik en aantal uren per 2½ ha in het algemeen slechts weinig af te nemen. Slechts in het geval van de machinale methode - machines achterblijvend in de opstand - is er sprake van een redelijke procentuele afname. In dat geval is de energie in de verplaatsingen bij 2½ ha reeds zo gering, dat bovengenoemde procentuele afname hierin slechts marginale verandering kan brengen.

Bij halvering van het oppervlak zijn de veranderingen aanzienlijk groter. De tijd neemt met 10 tot 27% toe, het energiegebruik stijgt met 10 tot 60%. De grootste stijging treedt op bij de machinale methode als de machines 's avonds in de opstand achterblijven.

Voor opstanden vanaf ca. 1 ha zijn de energetische kosten in de verplaatsingen t.o.v. aanleg, verzorging en oogst, zie Tabel 1, bescheiden, minder dan 6%. Voordat echter het aandeel van de tijd beneden 6% zakt moeten in de meeste gevallen de opstanden groter dan ca. 5 ha zijn.

De verplaatsingen vergen dus relatief meer tijd dan energie.

Met hulp van bovenstaande gegevens kan een schatting worden gemaakt van het fossiel energiegebruik in het totale Nederlandse opgaande produktiebos. Nederland heeft 206.000 ha produktief opgaand bos met een jaarlijkse bijgroei aan spilhout van 1.230.000 m³ met schors [35]. Wordt uitgegaan van een normaal bos, d.w.z. alle handelin-

Tabel 5. Verandering in de energie (en uren) in de verplaatsingen bij verdubbeling en halvering van het oppervlak van 2½ ha; gegevens per ha en per omloop.

	Verdubbeling						Halvering					
	Huidig			Machinaal			Huidig			Machinaal		
	absoluut MJ	A %	B %	absoluut MJ	A %	B %	absoluut MJ	A %	B %	absoluut MJ	A %	B %
lariks	-50	-3	-6	-150	-7	-15	+200	+13	+22	+600	+27	+60
douglas	-60	-3	-5	-150	-4	-12	+240	+12	+20	+480	+13	+40
corsicaanse den	-50	-4	-5	-160	-4	-12	+200	+10	+18	+640	+15	+47
grove den	-40	-3	-5	-140	-6	-16	+160	+12	+20	+560	+24	+62
populier 16 jaar	-30	-4	-6	-60	-7	-13	+120	+14	+24	+240	+27	+53
populier 31 jaar	-50	-5	-8	-80	-6	-11	+200	+20	+31	+320	+23	+43

A) Procentuele verandering in de benodigde energie t.o.v. Tabel 4, indien materieel 's avonds naar de verzamelplaats gaat. Bovendien geeft A de procentuele verandering in het aantal benodigde transporturen voor zowel het meenemen van de machines naar de verzamelplaats als voor het achterlaten van de machines in de opstand.

B) Procentuele energetische verandering t.o.v. waarden in Tabel 4 voor het geval dat het materieel 's avonds in de opstand achterblijft.

gen zijn elk jaar gelijk in aantal, dan is de kap elk jaar ook 1.230.000 m³. Hiervan zal ca. 1.000.000 m³ werkelijk worden geoogst.

Bij de huidige methode vergt de aanleg, verzorging en oogst per geoogste m³ ca. 100 MJ, terwijl dit voor de machinale methode ca. 200 MJ is. In een normaal Nederlands opgaand productiebos van de huidige omvang vergen aanleg, verzorging en oogst dan jaarlijks ca. 100 × 10⁶ MJ met de huidige methode en ca. 200 × 10⁶ MJ met de machinale methode.

Ten opzichte van de totale Nederlandse energieconsumptie (in 1976 2,8 × 10¹² MJ), is dit slechts ca. 0,004%, resp. 0,007% [36]. De werkelijke jaarlijkse energiekosten voor aanleg, verzorging en oogst zullen voornamelijk afhangen van de oogst, immers deze vergt het overgrote deel van de fossiele energie.

Thans blijft de oogst in het algemeen nog achter bij die in een normaal opgaand productiebos, zodat de hierboven vermelde hoeveelheden voor de huidige energieconsumptie per m³ met schors nog aan de hoge kant zullen zijn.

2.3. Energiegebruik bij transport over lange afstand

Bij de oogst wordt het rondhout langs de bosweg gestapeld. Het hierop volgende afstandtransport vindt in Nederland vrijwel uitsluitend plaats met vrachtwagens. Men verwacht niet dat dit zich in de nabije toekomst zal veranderen. In Tabel 6 zijn de uren en energetische kosten van het afstandtransport met vrachtauto's weergegeven [31]. De uitkomsten berusten op de volgende aannames:

- het afstandtransport vindt plaats door middel van vrachtwagens met een netto laadvermogen van 30 ton;
- het gewicht van het rondhout is de beperkende

- factor voor een lading en de wagen rijdt altijd volledig beladen heen;
- de rit vindt plaats over 300 km, 150 km volledig beladen heen en 150 km leeg terug;
- een rondrit duurt 7 uur;
- bij de indirecte energie is uitsluitend rekening gehouden met de fossiele energie besteed aan het maken, onderhouden en repareren van de vrachtwagens;
- de opstanden zijn dezelfde als die bij aanleg, verzorging en oogst.

Door uit te gaan van volledige beladingen waarbij het gewicht van het verse rondhout de beperkende factor is, wordt in de uitkomsten de volumieke massa van het natte hout weerspiegeld.

Natte populier heeft dus de hoogste volumieke massa en natte grove den de laagste, resp. 0,91 ton/m³ m.s. en 0,70/m³ m.s.

Voor andere afstanden en overigens gelijke omstandigheden, variëren de bedragen evenredig met die in de afstand.

Wordt het energiegebruik in het afstandtransport vergeleken met dat bij de aanleg, verzorging en oogst, dan is het:

- ongeveer gelijk aan de machinale methode (ca. 200 MJ per geoogste m³)
- ongeveer het dubbele van de huidige methode (ca. 100 MJ per geoogste m³).

Bij een normaal Nederlands opgaand productiebos is het huidige jaarlijkse energiegebruik in het afstandtransport 0,2 × 10⁹ MJ.

Gezien het feit dat de houtoogst in het algemeen nog ten achter blijft bij hetgeen haalbaar is, zijn de hier gegeven waarden voor het huidige verbruik nog aan de hoge kant.

Worden aanleg, verzorging, oogst en afstandtransport te zamen genomen, dan vergt dit ca. 0,010-0,015% van ons totale energieverbruik.

Tabel 6. Energie en uren in het afstandtransport¹⁾; gegevens per ha en per omloop (afgerond).

	lariks	douglas	corsicaanse den	grove den	populier 16 jaar	populier 31 jaar
uren (7h x aantal benodigde rondritten)	55	111	99	52	40	80
energie in menselijke voeding, MJ	13	27	24	12	10	19
idem, omgerekend naar fossiele energie, GJ	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
fossiele energie, GJ	58,5	118	104,5	55	42	84,5
waarvan direct (%)	76	76	76	76	76	76
houtoogst met schors, m ³	290	644	551	317	187	377
dichtheid vers rondhout, ton/m ³	0,82	0,74	0,77	0,70	0,91	0,91
fossiele energie per geoogste m ³ , MJ	202	183	189	173	226	224
omgerekend in liters dieselolie per m ³	5,4	4,9	5,0	4,6	6,0	6,0

1) Voor verklaring termen, zie tekst bij Tabel 1.

2.4. Energiebalans

Met behulp van de energieopbrengst en de energieconsumptie kan nu de energiebalans worden berekend voor aanleg, verzorging, oogst en afstandtransport.

Uitgaande van een normaal bos is de jaarlijkse netto opbrengst $1.000.000 \text{ m}^3$, terwijl de nuttige energie in hout met tegen de 50% vochtgehalte per m^3 ca. $8 \times 10^9 \text{ J}$ is. De energetische waarde van de jaarlijkse oogst bedraagt dan ca. $8 \times 10^{15} \text{ J}$. De jaarlijkse energieconsumptie voor aanleg, verzorging, oogst en afstandtransport is berekend op ca. $0,3 \times 10^{15} \text{ J}$ voor de huidige methode en op ca. $0,4 \times 10^{15} \text{ J}$ voor de machinale methode. De verhouding tussen output en input wordt dus ca. 27 voor de huidige methode en 20 voor de machinale methode.

Ook kan de energie in de oogst worden vergeleken met de totale Nederlandse energieconsumptie in 1976 groot $2,8 \times 10^{18} \text{ J}$. De energie in het geoogste rondhout is hiervan slechts 0,3%. Hier moet worden benadrukt dat het huidige beheer van onze bossen niet op een zo hoog mogelijke energieopbrengst is gericht en dat voor speciale energiebossen de getallen in het algemeen gunstiger kunnen zijn. Bovendien zou een deel van wat thans gewoonlijk afval wordt genoemd wel energie kunnen leveren.

Verder is een vergelijking mogelijk tussen het ingestraalde zonlicht en de energie in het geoogste materiaal.

Voor Nederland is de jaarlijkse zonne-instraling $30-35 \times 10^{12} \text{ J/ha}$, terwijl de netto-opbrengst ca. $40 \times 10^9 \text{ J/ha}$ is. De energie in het geoogste materiaal belooft dus gemiddeld 0,13% van de instraling. Wanneer het geoogste materiaal geheel door zon en wind zou kunnen worden voorgedroogd, zou deze berekening niet op 0,13%, maar op ca. 0,16% rendement uitkomen. Wanneer de gehele biomassa van de boom zou worden beschouwd, zou het zonne-instralingsrendement op ongeveer 0,3% uitkomen.

2.5. Conclusies

Het huidige Nederlandse opgaande produktiebos vergt voor de aanleg, verzorging en oogst in de orde van grootte van 0,01 tot 0,02% van de totale Nederlandse energieconsumptie.

De oogst vertegenwoordigt een energetische waarde in de orde van grootte van 0,3% van het totale Nederlandse energiegebruik. Zou hout als energiebron worden gebruikt, dan bedraagt de energieopbrengst 20 à 30 maal de er aan bestede energie.

Het ingestraalde zonlicht levert bij de huidige oogstsystemen een netto rendement van ca. 0,13%.

Mechanisatie van de bosbouw doet het energieverbruik ongeveer verdubbelen.

Bij mechanisatie neemt het indirecte energieverbruik sterker toe dan het directe.

Het oogsten vraagt bij onbemeste opstanden het overgrote deel van de fossiele energie.

De in fossiele energie omgerekende menselijke energie bedraagt bij de huidige methoden van aanleg, verzorging en oogst ongeveer 10% van het totaal. Bij machinale methoden is dit minder dan 2%. In het afstandtransport is de bijdrage van de menselijke energie minder dan 1%.

Het afstandtransport van rondhout vraagt evenveel of meer energie dan aanleg, verzorging en oogst samen.

Het aantal arbeidsuren in de bosbouw daalt sterk bij mechanisering.

Bemesting met stikstof doet het energiegebruik per omloop aanzienlijk toenemen.

Het energiegebruik bij het transport binnen een boscomplex heeft een bescheiden omvang in vergelijking met de energie die tijdens de werkzaamheden in de opstanden wordt gebruikt.

3. Milieu-aspecten bij aanleg, verzorging en exploitatie van bossen

door ir. L.W. Hulshoff Pol

Over het algemeen is de beïnvloeding van het milieu bij aanleg, verzorging en exploitatie van bossen niet groot en uiteraard afhankelijk van het toegepaste beheerssysteem. Bij een goed beheer, dat aansluit op de 'multiple-use'-gedachte en op natuurlijke, ecologische beginselen, zullen houtproductie, recreatieve aspecten en natuurbehoud zo goed mogelijk verzekerd zijn. Ook wanneer houtteelt primair is, dient men rekening te houden met ecologische neveneffecten van het bosbeheer. Men zal de negatieve milieu-aspecten zo veel mogelijk beperken en de positieve bevorderen.

Er zijn een aantal spanningsvelden tussen houtproductie en andere functies van het bos. Deze krijgen in de volgende paragrafen aandacht.

3.1. Milieubeïnvloeding bij aanleg en verzorging

De moderne gemechaniseerde bosbouw is voor de produktie het meest gebaat bij de aanleg van gelijkjarige opstanden van eenzelfde boomsoort (monocultures). Wanneer uitsluitend deze doelstelling wordt nagestreeft heeft dat neveneffecten.

Biologische stabiliteit

Met de aanleg van monocultures wordt een in beginsel soortenarm, instabiel ecosysteem gecreëerd, waardoor de mogelijkheid van massale vermeerdering van enkele, voor het bos schadelijke soorten van het systeem (vooral schimmels en in-

sekten) sterk wordt vergroot [37]. Zo kennen we in Nederland plagen van de lariksbladwesp (*Cephalcia alpina*) van 1941 tot 1950 in de Drentse lariksbossen, de dennebladwesp (*Diprion pini*) in 1950-1951 en meer recent de gewone dennescheerder (*Tomicus piniperda*) vooral na de stormrampen van november 1972 en april 1973 [38]. Ook bleek in de Nederlandse bossen de massale vermeerdering van Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) mogelijk. Deze soort is oorspronkelijk ingevoerd als vulhout ter verbetering van de bodem, maar heeft zich, door zijn sterkte ten opzichte van inheemse bomen en struiken, ontwikkeld tot een plaag. Een overdaad aan *Prunus* is moeilijk te bestrijden en maakt het beheer kostbaar.

Windgevoeligheid

De aanleg van monocultures kan bij hevige storm indirect oorzaak zijn van windworp van de soms door een plaag al verzwakte bomen. De recente stormrampen hebben aangetoond dat een variatie van boomsoorten aanbeveling verdient. In een virtaal bos wordt dan de stormschade zoveel mogelijk beperkt.

Aanleg en plantverband

Aanleg van nieuwe bossen in gelijkvormige vakken met rechte grenzen en in de vakken een aanplant in rechte rijen is voor de houtproductie efficiënt, maar door de geringe afwisseling recreatief en qua natuur onaantrekkelijk. Recreatief gezien zijn de jonge naaldhoutbossen ('dennenakkers') of peppelopstanden weinig aantrekkelijk.

Daarom wordt in Nederland in toenemende mate kritiek geleverd op de aanleg van naaldhoutproductiebossen, ook al omdat deze van nature niet in ons landschap thuis horen. Nederland ligt geografisch in het loofhoutgebied. Toch is er weinig reden onze naaldhoutbossen om te zetten in loofhoutbossen van inheemse soorten. Bij de 50 tot 100 jaar geleden aangelegde naaldhoutbossen blijkt gedurende de omloop een successie van de ondergroei plaats te vinden, die zich soms al in de eerste en zeker in de tweede en volgende generaties voortzet. Oude grove den-bossen en Douglas-bossen kunnen in Nederland dan ook ongeveer dezelfde biologische rijkdom krijgen als in hun meer natuurlijke omgeving in Schotland en Scandinavië en de westkust van Noord-Amerika. Met het stijgen van de leeftijd van de naaldhoutbossen zal de soortenrijkdom en diversiteit en daarmee de stabiliteit (= weerstand tegen plagen) toenemen, zeker wanneer ook variatie in de monocultures wordt ingebracht door aanplant van ander naald- en ook loofhout. Sissingh [39] stelt, dat bosbouwkundig verantwoord aangelegde naaldhoutbossen niet instabieler behoeven te zijn dan min of meer natuurlijke loofbossen (loofbos-restanten).

Bij de aanleg van bossen kunnen een aantal meer specifieke maatregelen oorzaak zijn van een onge-

wenste beïnvloeding van het milieu. Hierbij kan worden gedacht aan:

Bodem bewerking

Vroeger was het in de bosbouw gebruikelijk de bodem, ter voorbereiding van de aanplant van nieuw bos, volledig te bewerken (bijv. diepploegen = ondoorlatende lagen breken, soms ook het ruimen van stenen). Men is hier uit bosbouwkundige overwegingen op teruggekomen. Het bleek, dat de bodembewerking een versnelde mineralisatie van de organische stof in de hand werkte, waardoor, na een voorspoedig begin, op langere termijn de groei stakte door een tekort aan voedingsstoffen [40]. Thans laat men daarom de bodemstructuur zo veel mogelijk intact en werkt men alleen met plantgaten.

Ook uit overwegingen van natuurbehoud is intensieve bodembewerking ongewenst, omdat het een ernstige ingreep in het betreffende ecosysteem inhoudt, waardoor specifieke soorten verloren kunnen gaan. Dit is voorgekomen bij bossen op diep- en minder diepbewerkte gronden op de Veluwe, aan de zuidelijke Veluwezoom en in Drente.

Ontsluiting

Een andere belangentegenstelling tussen hoge houtproductie en natuurbehoud is de mate van ontsluiting van het bos. Voor een economische houtproductie is een goede ontsluiting gewenst. Voor het natuurbehoud is het daarentegen van belang dat er in een bos ook rustgebieden van voldoende grootte zijn, waar de menselijke invloed kan worden geregeld. Dit leidt wel eens tot conflict-situaties. Een oplossing is vaak te vinden door niet alle boswegen permanent voor beheersactiviteit en het publiek open te stellen.

De omloop

De omloop is de periode tussen aanleg en oogst. Deze is afhankelijk van de houtsoort. Bij het bepalen van de omloop kunnen houtproductiebelangen in botsing komen met andere belangen. Uit economische overwegingen zal voor de houtproductie de omloop niet te lang moeten zijn, bijv. 50 jaar. Uit esthetisch, recreatief en natuurwetenschappelijk oogpunt is een langere omloop van bijv. 80 tot 100 jaar veel aantrekkelijker en soms van wezenlijk belang. Bij een lange omloop zullen de belangrijke laatste fasen van een bos – die van het volgroeid zijn en het verval – worden verkregen. Deze fasen worden gekenmerkt door een weelderige ondergroei, zowel door rijping van het ecosysteem als door de toetreding van meer licht. De verval fase wordt speciaal gekenmerkt door een rijke flora van schimmels en paddestoelen, een grote verscheidenheid aan insecten met hun predatoren en veel vogels. Bij een lange omloop is ook een hogere wildstand mogelijk zonder dat dit leidt tot een grotere wildschade.

Bij onderhoud en verzorging moeten er voor een maximale produktie beheersmaatregelen worden genomen, die uit oogpunt van natuur- en milieu-beheer op bezwaren stuiten. De volgende ingrepen worden hier als voorbeeld genoemd.

Inrasteren

Een bosbouwkundige maatregel die tegen de belangen van de natuurbescherming kan ingaan, is het beschermen van jonge aanplant tegen wildschade d.m.v. inrasteren. Zo betekent op de Veluwe de inrastering van de herbepante stormvlaktes een flinke beperking in bewegingsvrijheid van vooral het roodwild, dat vaak toch al weinig voedselgebieden en uitwijkmogelijkheden heeft. In deze gevallen dient in onderling overleg naar voor beide partijen aanvaardbare oplossingen te worden gestreefd.

Bemesten

Bemesten heeft een nivellerende invloed op de specifieke bosvegetaties, vooral die van bossen op voedselarme bodems. Immers de daar thuishorende plantentypes zullen worden verdrongen door planten die thuis horen op rijkere gronden. Daarnaast bestaat het gevaar van eutrofiëring van aangrenzend voedselarm water door uitspoeling van mineralen, hoewel voorlopig onderzoek uitwijst dat dat in het algemeen meevalt. Thans wordt ook in Nederland gedacht aan het lokaal bemesten o.a. met zuiveringsslib. Dit kan in bepaalde situaties een goede oplossing zijn. Voor veel waterzuiveringsinstallaties vormt dit slib een groot probleem. De toepassing als mest en ter verbetering van de bodemstructuur verhoogt de produktie, doch werkt wel verstorend en nivellerend op de bos-ecosystemen. Bovendien heeft dit slib als extra bezwaar dat het giftige stoffen (bijv. zware metalen) kan bevatten. Toepassing moet dus zorgvuldig worden afgewogen.

Chemische bestrijdingsmiddelen

Het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen in de bosbouw is in Nederland zeer beperkt. Er wordt de voorkeur gegeven aan mechanische en biologische bestrijdingsmethoden. De belangrijkste chemische middelen die thans nog worden gebruikt zijn Dalapon (onkruidbestrijdingsmiddel, herbicide) en Gardona (insekticide). Dalapon wordt gebruikt wanneer grasachtige onkruiden zoals kweekgras en witbol moeten worden bestreden.

Gardona wordt gebruikt tegen *Hylobius* (gewone dennesnuitkever) in jonge naaldhoutopstanden op kapvlaktes. Het gebruik van Gardona werd vooral uitgebreid toen enige jaren geleden de stormschade in de bossen aanleiding gaf tot ernstige aantasting door dit insekt. Door 1 à 2 jaar te wachten met het herbepanten van de kapvlakte blijkt het gevaar van aantasting door *Hylobius* veel geringer te zijn. Het gebruik van Gardona zal daarom vermoedelijk afnemen. De invloed van de wachtperiode op de

oogstcyclus wordt min of meer gecompenseerd door de verminderde schade door de kevers. Terreinen die gevoelig zijn voor verwildering kunnen complicaties leveren.

Het herbicide 2,4,5-T werd tot voor kort veelvuldig toegepast bij de bestrijding van Amerikaanse vogelkers. Aan het gebruik van 2,4,5-T kleven echter bezwaren [41, 42, 43], zodat wellicht Glyfosaat of ammonium-sulfamaat de rol van 2,4,5-T zal gaan overnemen.

Ontwatering

Ontwatering voor bebossing heeft vooral vroeger veel natuurlijke rijkdom verloren doen gaan; het blijft ook nu nog een gevaar. Eigenlijk zou geval voor geval moeten worden bekeken en zo beraamd en uitgevoerd, dat wordt voorkomen, dat door te sterk ontwateren een bijzondere flora en fauna verloren gaat.

Dunnen; op snoeien

Dunnen kan bodemverstoring, beschadiging van de vegetatie en verstoring van de fauna tot gevolg hebben, vooral wanneer het dunnen machinaal gebeurt. Bovendien kan de blijvende opstand bij uitslepen worden beschadigd, waardoor schimmelinfectie mogelijk wordt. Het is voorgekomen dat drie jaar na het dunnen bijna $\frac{2}{3}$ van de beschadigde bomen waren aangetast door schimmels. Dit kan een aanzienlijk verlies betekenen.

Bij het op snoeien van jonge opstanden kan, wanneer dat ondoordacht wordt gedaan, een belangrijke dekking en levensmogelijkheid voor de fauna verloren gaan.

Strooiselroof

Strooiselroof is de winning van humusrijke bosgrond voor gebruik in kwekerijen en voor andere doeleinden. Deze winning verstoort in hoge mate het natuurlijke mineralisatieproces, vermindert de bodemvruchtbaarheid en is daardoor schadelijk zowel voor de houtproduktie als voor de natuurlijke waarden van het bos. Het winnen van strooisel wordt daarom van overheidswege tegengegaan.

Verbranden van houtafval

Verbranden van houtafval op kapvlakten in het bos beïnvloedt de bodem en vernietigt ter plaatse veel bodemleven en vegetatie. Binnen een paar jaar blijkt echter een redelijk herstel op te treden, vooral wanneer het verbranden wordt gedaan op geschikt gekozen plekken [44]. Op heuvelachtig terrein wordt het erosiegevaar vergroot. Voorts kan het vuur de groei bevorderen van schadelijke schimmels zoals de koffievuurtjeszwam (*Rhizina undulata*) die, door aantasting van de wortels, naaldbomen kan laten afsterven. Na een droge, warme zomer met veel bosbranden (1976) is het gevaar van zwamaantasting extra groot.

Luchtvervuiling door de rook kan hinderlijk zijn,

maar blijft in de regel beperkt en is in feite weinig schadelijk.

In de Verenigde Staten en Canada is er een groeiende oppositie tegen 'slash- en prescribed burning', dat in deze landen op grote schaal wordt toegepast.

Het overzicht geeft aan dat er heel wat beheersmaatregelen bij bosaanleg en verzorging zijn die, wanneer zij ten behoeve van de houtproductie worden toegepast, schade kunnen veroorzaken aan de biologische waarden van de bos-ecosystemen. Een nadere beschouwing leert dat de meeste van deze maatregelen niet schadelijk behoeven te zijn, mits zij maar met de nodige zorgvuldigheid worden uitgevoerd. Er wordt daarop tegenwoordig – althans in Nederland – meer gelet dan vroeger. Toch is het nodig er steeds op toe te zien, dat slechts die maatregelen worden genomen, die het milieu niet onnodig ongunstig beïnvloeden.

3.2. Milieubeïnvloeding bij houtoogst en terreintransport

Achtereenvolgens zullen worden behandeld de effecten van de houtoogstmethode op de omgeving en de gevolgen van het kappen voor het bos als natuurlijk milieu.

Effecten van de houtoogstmethode op de omgeving
De mate waarin bij houtoogst en terreintransport milieubelasting optreedt, hangt in sterke mate af van de mechanisatiegraad. Is deze laag, dan zal de invloed op het milieu in het algemeen beperkt zijn. Het gebruik van oogst- en opwerkingsmachines brengt echter een verhoogde belasting van het bosmilieu met zich mee, waarvan het gevaar ook in Nederland wordt onderkend [45].

Lawaaiproductie en verontrusting

Het door de oogstmachines geproduceerde lawaai kan, vooral in combinatie met bedrijvigheid, rustverstorend werken op de fauna en hinderlijk zijn voor mensen. Hoewel ervaringen op schietbanen en vliegvelden in Nederland laten zien dat dieren zich aan lawaai schijnen te kunnen aanpassen, is vooral in de nabijheid van dekkingsgebieden voorzichtigheid geboden. In het broedseizoen is het vooral voor kwetsbare vogelsoorten (bijv. havik, buizerd) van belang dat er voldoende rust is. Het voordeel van mechanisering van de houtoogstactiviteiten is overigens dat de verstoring korter duurt. Lawaai en bedrijvigheid kunnen ook strijdig zijn met de recreatieve functie van het bos. Vooral zij die de stilte zoeken, kunnen worden gehinderd. Onderzoek in bossen nabij Stockholm wees echter uit dat, als het bos groot genoeg is, de meerderheid van de bosrecreanten van de bosbouwactiviteiten niets of weinig merken. Motorzagen, bosmaaiers, trekkers en andere machines leveren wel lawaai-overlast aan de bosarbeiders. Langdurige blootstel-

ling kan doofheid tot gevolg hebben. Een onderzoek bij 700 bosarbeiders die met motorzagen werken, wees uit dat 58% aan een duidelijk gehoorverlies lijdt. Uit metingen bij verschillende soorten motorzagen is gebleken, dat een geluidsniveau van gemiddeld 100 decibel voorkomt op 1 m afstand van de bron, terwijl de I.O.S. (International Organization for Standardization) 85 dB als toelaatbaar geachte grenswaarde aangeeft [46]. Bosarbeiders moeten daarom oorbeschermers dragen, want de voornaamste geluidsbron (de zaagtanden) is niet eenvoudig af te schermen.

Bodemverstoring

Gebruik van machines in het bos veroorzaakt vaak verdichting van de bodem. De mate hiervan zal afhangen van de weersomstandigheden en de bodemsoort. Op vochtige tot natte, zandige tot ziltige leemgronden is de schade volgens De Vries [47] meestal al aangericht na één rit en neemt na meerdere ritten niet meer toe. Op droge gronden is minder schade te verwachten. Smalle banden zullen bij gelijk gewicht meer schade aanrichten dan brede banden of rupsbanden. Onderzoek wijst uit dat bodemverdichting leidt tot verminderde groei bij jonge aanplant en – onder extreme omstandigheden – tot een slechtere groei bij de blijvende opstand. Natuurlijk herstel kan 18 tot 40 jaar duren. In de bergen in Noorwegen zijn nog paden te herkennen die al 200 jaar niet meer in gebruik zijn. Door het gebruik van zware oogstmachines kunnen boswegen worden beschadigd. Bovendien kan de bosgrond zodanig worden omgeploegd dat het bodemprofiel wordt verstoord en een versnelde mineralisatie van de ruwe humus in de bovenste bodemlaag plaatsvindt. Dit zal tot een verarming van de bodem leiden met nadelige gevolgen voor vegetatie, ecosystemen en houtproductie.

In Nederland is erosie van weinig betekenis, maar in bergachtige streken moet daarmee bij het kiezen van de houtoogstmethode rekening worden gehouden. Zo is gevonden dat de door sleepsporen veroorzaakte kanaaltjes één van de belangrijkste oorzaken van erosie vormden. Ook bandensporen kunnen geulen veroorzaken, die bevorderend werken op de erosie. Op steile hellingen verdienen dan ook die houtoogstsystemen de voorkeur, waarbij zo min mogelijk transport over de grond plaatsvindt (bijv. luchttransport met behulp van kabels of ballons). Erosie leidt tot ernstige vormen van afspoeiing van vruchtbare grond, tot verlies van waterbergend vermogen van het bosgebied en door het afstromen van vuil water in beken, rivieren of meren, tot een voor vissen en ander waterleven schadelijke watervervuiling. Bovendien kan het meegevoerde slib door bezinking elders, bijv. in stuwmeren of irrigatiekanalen, ernstige gevolgen hebben. Met snelle herbebossing dient men erosie zo veel mogelijk te voorkomen.

Beschadiging van de opstand

Machinaal oogsten en dunnen leidt vaak tot stam- en wortelschade. Dit kan rot door schimmelaantasting tot gevolg hebben. Wortels die wat verder van de stam zijn verwijderd, zijn minder gevoelig, maar beschadigingen aan of vlak bij de stam zijn gevaarlijk. Het gemechaniseerde oogsten dient, bij gevaar voor beschadiging, bij voorkeur in de rustperiode van de boom plaats te vinden, omdat in die tijd de bast minder los zit [47]; daardoor is de weerstand tegen beschadiging groter.

Milieuverontreiniging

Hierbij kan worden gedacht aan luchtverontreiniging door de uitlaatgassen van de bosbouwmachines en aan bodemverontreiniging door aardolieproducten als gevolg van lekkages of onachtzaamheid met brandstof [47]. Dit is van zeer gering belang. Verder kan worden genoemd de afval die door de bosarbeiders wordt achtergelaten.

Schade aan flora en fauna

Het is duidelijk dat zware machines in het bos grote schade aan vegetatie en de daarvan afhankelijke fauna kunnen aanrichten. Schade kan ook al worden aangericht wanneer niet met grote machines, maar bijv. met trekkers hout uit het bos wordt geslept.

Plaatsen met een bijzondere flora zullen daarom moeten worden ontzien. Daarvoor is in de eerste plaats nodig dat de gegevens omtrent groei- of vindplaatsen bekend worden gemaakt. Het gaat altijd om zeldzame gevallen op kleine oppervlaktes. Het is daarom bijna altijd mogelijk ongewenste verliezen te voorkomen. Doordat de bijzondere aard van het perceel bij de beheerders niet bekend was, is de enige groeiplaats in Nederland van Eenzijdwendig wintergroen (*Pirola secunda*) verloren gegaan. Zo ook de enige groeiplaats van de Berendruif op de Veluwe nabij Ugchelen en één van de beste groeiplaatsen van de Grote Wolfsklauw in het Nationale Park 'de Hoge Veluwe'.

Effecten van het kappen

De gevolgen van kaalkap van grote oppervlaktes bos voor de omgeving vormen een belangrijk discussiepunt. Vooral in de Verenigde Staten en Canada, maar ook in Europa, wordt hier veel aandacht aan besteed. In het algemeen geldt dat hoe groter de oppervlakte is die wordt gekapt, des te groter is de beïnvloeding.

Houtoogst door middel van kaalkap heeft effect op micro- en makroklimaat. Op kapvlaktes komen grotere schommelingen in lucht- en bodemtemperatuur voor dan in niet-gekapt bos. Overdag kunnen vooral in de organische bovenlaag van de bodem hoge temperaturen worden gemeten [44]. Dit kan nieuwe groei van jonge aanplant op de kapvlakte bemoeilijken. Op kapvlaktes is er bovendien een vergroot gevaar voor nachtvorst. Kap van bos veroorzaakt door het wegvallen van de beschaduwing

een stijging van de watertemperatuur van de bosbeken. Zo vond men bij een onderzoek in het westen van de Verenigde Staten een stijging van bijna 8°C. Zulke temperatuurverhogingen hebben een ongunstige invloed op de fysische, chemische en biologische processen in de beken. Dit probleem is vrij eenvoudig te vermijden door stroken langs de beken niet te oogsten.

De windsnelheid neemt toe op de kapvlakte en kan 5 tot 10 maal groter worden dan in het bos. Verder vindt er een radicale verandering plaats van het lichtregime.

Macroklimatologisch gezien, lijkt grootschalige kaalkap tot kouder en droger weer in het bosgebied te leiden [44].

Kaalkap heeft invloed op de bodem. Door het wegvallen van de transpiratie van het bos neemt het vochtgehalte in de bodem toe. Gecombineerd met bodemverdichting door zware machines kan dit leiden tot wateroverlast. Op heuvelachtig terrein ontstaat een verhoogde waterafvoer met en kans op erosie en overstromingen. Uit bodemkundig onderzoek blijkt dat er op deze manier een aanzienlijke uitspoeling van mineralen (Na, Mg, Ca, K en NO₃) kan ontstaan. Dit leidt tot een verarming van de bosgrond en in het ontvangende water tot ongewenste eutrofiëring.

Het bodemleven van een kapvlakte wordt over het algemeen gestimuleerd. Hoewel schimmels vrij ongevoelig lijken, nemen vooral bacteriën en wormen in aantal toe [44]. Hierdoor zal een versnelde mineralisatie van organische stof in de bodem kunnen plaatsvinden.

Door het toenemen van temperatuur, lichtinval en straling en het afnemen van de afhankelijkheid van diep grondwater zullen op een kapvlakte typische kapvlakteplanten een kans krijgen die in een bos niet of weinig voorkomen. Behalve dat er een dichtere bodemvegetatie zal ontstaan, zal ook het aantal plantensoorten toenemen, zoals bijv. te zien is in Tabel 7, ontleend aan gegevens van Hooven [48]. Opvallend is de stimulerende invloed van houtafvalverbranding op de kapvlakte.

Tabel 7 Invloed van kaalkap van een Douglasopstand op het aantal plantensoorten [48].

voor de kap	aantal plantensoorten		
	1e jaar na kap	2e jaar na kap	3e jaar na kap
na kap zonder houtafvalverbranding op de kapvlakte	36	49	75
na kap met houtafvalverbranding op de kapvlakte	79	93	107

In het algemeen zullen, vooral door het verhoogde voedselaanbod dat de kapvlakte-flora biedt, ook diersoorten in aantal toenemen [44]. Reeën en herten en vooral aardmuizen (*Microtonus* sp.) zullen op kapvlaktes voorkomen. Meerdere kleinere op-

pervlakten (niet meer dan 0,5% van het totale bosoppervlak) lijken hiervoor gunstig te zijn [49]. Dit geldt ook voor vogels, die voelen zich veelal aangetrokken tot bosranden en minder tot grote open stukken.

Jonge aanplant op kapvlaktes ondervindt dan ook vaak wildschade. Begint na herbepanting het bos zich geleidelijk te sluiten, dan zal de vegetatie van de kapvlakte langzaam worden vervangen door een hernieuwde groei van de voor het bostype specifieke levensgemeenschappen.

Bossen met grote kapvlaktes zijn voor recreatie minder aantrekkelijk, vooral wanneer de kapvlaktes ook nog zijn ingerasterd. Prick [50] pleit daarom voor groepsgewijze uitkap van twee tot een achtvorm gekoppelde ellipsen van 10 bij 15 m, om meer visuele afwisseling in het bos te bewerkstelligen.

Bij minder drastische vormen van houtkap, zoals strooksgewijze of groepsgewijze uitkap, dunnen, of oogsten volgens het plentersysteem, is de beïnvloeding in wezen dezelfde, doch omvang en intensiteit van de beïnvloeding is in het algemeen geringer.

Toekomstperspectief

Het toenemende houttekort, mede als gevolg van een toenemend houtverbruik in ontwikkelingslanden, kan tot bedenkelijke ontwikkelingen leiden. In de eerste plaats door de groeiende vraag naar tropisch hout. Daarnaast zullen, bij doorzetten van de trend van het oogsten van een steeds groter deel van de boom, mogelijk te veel voedingsstoffen aan de bodem worden onttrokken. Compensatie van dit verlies door bemesting brengt het gevaar van ongewenste neveneffecten met zich mee.

Gelukkig valt er bij de houtexploitatie een toenemende zorg voor beperking van de neveneffecten van de houtoogst te constateren. Dit zal hopelijk leiden tot de ontwikkeling van nieuwe, kleinschaliger, milieuvriendelijker oogstmethodes.

3.3. Milieubeïnvloeding bij afstandstransport en houtopslag

De milieubeïnvloeding die optreedt bij transport van hout naar de houtwerf en bij de opslag aldaar, is van vrij geringe betekenis.

Transport over de weg geeft indirect aanleiding tot luchtvervuiling door uitlaatgassen. Wanneer ter verkrijging van een betere bereikbaarheid wegen in een bosgebied worden aangelegd, zal dat bezwaren kunnen meebrengen voor het natuurbehoud. Aan het transport en bewaren van hout in water, dat in Scandinavië en Noord-Amerika veel wordt toegepast, kleven de volgende bezwaren.

Uit de stammen komen oplosbare tannines en lignine-achtige verbindingen vrij, die het water bruin verkleuren [51]. Deze stoffen kunnen vooral bij opslag van stammen in het water een geleidelijke verslechtering van de waterkwaliteit veroorzaken.

Het zuurstofverbruik neemt nl. toe als gevolg van de bacteriële afbraak van deze stoffen. Verder kan er schuimvorming optreden. Zeewater beïnvloedt de snelheid van uitloging waarschijnlijk niet. Wel is een verminderde verkleuring geconstateerd doordat tannine en lignine-achtige verbindingen worden neergeslagen door twee-waardige kationen in het zeewater [51].

Tijdens transport en opslag in het water zal schors kunnen loslaten en op de bodem bezinken. Bacteriële afbraak van deze schors kan tot een plaatselijk zuurstoftekort leiden, terwijl het stinkende zwavelwaterstofgas, als eindprodukt vrij kan komen. De concentratie van zwavelwaterstof in de lucht die als giftig moet worden beschouwd, wordt gewoonlijk niet bereikt. De schorslaag op de bodem kan aanleiding geven tot een overvloedige groei van de bacterie *Spaerotilus* sp. [52]. Dit alles heeft een nadelige invloed op het bodemleven, zowel in zoet water als langs de kust in de zee [52, 53]. Opslag op het land kan volgens een droge of een natte methode plaats vinden.

Bij droge bewaring wordt getracht het spinhout beneden het vezelvezadigingspunt¹⁾ te laten komen, opdat schimmels en insecten geen levenskansen hebben. Vaak vindt een aanvullende chemische behandeling plaats. Als spuitmiddel (zowel als fungicide als insecticide) wordt wel gebruikt het giftige pentachloorfenol (PCP). Door de goede oplosbaarheid in water van PCP bestaat bij bespuiting het gevaar van vergiftiging van het bodemleven. Eenmaal in het hout opgenomen PCP loogt slechts weinig uit.

Beregenen van opgeslagen hout heeft tot doel door een hoge vochtigheid van het hout er voor te zorgen dat insecten en schimmels door zuurstofgebrek niet tot ontwikkeling kunnen komen. Beregenen kost veel water. Wanneer men uitgaat van 30 mm per dag, dan is voor een stapelplaats van 10.000 m³ met een oppervlakte van 0,75 ha op een zomerdag gedurende 15 uur 15 m³ per uur nodig [54]. Wordt dit water uit de bodem opgepompt, dan zal dit gaan ten koste van het grondwater, al zal een gedeelte van het water terug stromen.

Houtopslag kan plaatselijk tot bodemverdichting leiden. Dit komt vooral voor bij tijdelijke houtopslag in het bos (bijv. na stormschade). Deze lokale verdichtingen geven in het algemeen geen reden tot klachten.

4. Integratie van energie- en milieuaspecten met het totale bosbeheer

door prof.ir. M.M.G.R. Bol en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns

Waar hier wordt gesproken over integratie, zal het duidelijk zijn, dat de blik is gericht op bos met meer-

¹⁾ vezelvezadigingspunt = het vochtgehalte waarbij geen vocht meer wordt opgenomen in de vezelwand (ca. 30%).

voudige functie, dus niet de bosreservaten en de bosplantages.

Het is van wezenlijk belang dat bij het totale bosbeheer de energie- en milieu-aspecten zo worden geïntegreerd, dat de verschillende functies van het bos zo goed mogelijk tot hun recht komen.

Het gaat er bij het bosbeheer om, de vastgelegde zonne-energie zo volledig mogelijk en zo goed mogelijk te benutten. Het bos speelt echter ook een rol als regulator van klimatologische-, bodemkundige en hydrologische factoren en van leverancier van natuur en landschap.

Bij het beheren van de natuurlijke welvaartsbronnen van het bos moet men er naar streven niet meer te oogsten dan er bijgroeit. Dan blijft het bos als geheel ook voor de toekomst in stand. Bovendien zou het oogsten moeten geschieden zonder dat het milieu en andere bosfuncties onaanvaardbaar worden geschaad.

Uit het bosbeheer van verschillende landen blijkt dat het mogelijk is aan deze eisen te voldoen. Helaas is dat nog niet altijd en overal het geval. Er is al erg veel bos verloren gegaan en de dreiging van verdere ontbossingen lijkt in verscheidene landen helaas nog onafwendbaar. Op maximale productie gerichte aanleg en oogstsystemen hebben al te vaak onherstelbare schade aan het milieu toegebracht en ook daarvan is het einde nog niet in zicht. Regeringen en andere verantwoordelijke instanties worden zich meer en meer bewust van deze situatie. In verscheidene landen wordt door bescherming van de bestaande bossen en door herbebossing gestreefd naar herstel van bos. De bosbouw wordt daar doordacht gericht op verantwoorde oogst en gebruik en op het daarbij behouden van milieuwaarden [55].

Er zijn helaas nog vele landen, waar deze gedachten nog niet in praktijk worden gebracht. Er zijn echter duidelijke aanwijzingen dat er in dit opzicht mondiaal een ontwikkeling ten goede aan de gang is. Deze studie is daarvan een bescheiden element. De schrijvende consequenties van onvoldoende deskundig bosbeheer, meestal beheer zonder oog voor het integratie-principe, zijn ter sprake gekomen op het 8e Internationale Bosbouw Congres te Jakarta (zie voor een samenvatting [56]).

In verband met het bovenstaande worden het energieverbruik en de milieubeïnvloeding bij aanleg, verzorging en oogst hier nader bezien.

Het energiegebruik in het bosbeheer is bescheiden. In Nederland (met bijna 8% bosoppervlak) bedragen de energetische kosten van bosaanleg, verzorging en oogst (inclusief afstandtransport) $0,3-0,4 \times 10^{15} \text{ J}$ per jaar, afhankelijk van de mate van mechanisatie. Dit is ruwweg 0,01 tot 0,02% van de totale Nederlandse energieconsumptie. Dat gebruik lijkt gerechtvaardigd voor de verkrijging van grondstoffen uit het bos.

Mechanisatie doet het energiegebruik toenemen, maar het bosbeheer werkt daardoor veel economi-

scher dan wanneer uitsluitend met menselijke of dierlijke energie zou worden gewerkt. Transport vergt een flink deel van de gebruikte energie.

Analyse van het energiegebruik biedt mogelijkheden om te komen tot energiebesparing. Dit draagt er toe bij dat zoveel mogelijk vastgelegde zonne-energie ter beschikking komt ten koste van zo min mogelijk energie, vooral zo min mogelijk fossiele energie. De moderne bosbouw streeft dit na door middel van weldoordachte beheersmaatregelen. Die hebben niet slechts betrekking op planning en bosinrichting, maar ook op soortenkeus, plantverband, onderhoud en kap.

Het gebruik van mechanische hulpmiddelen bij aanleg en instandhouding van bossen is overigens ook uit sociale overwegingen niet weg te denken [55]. Humanisering van lichamelijk zware en gevaarlijke bosarbeid zal in de toekomst veel aandacht vergen.

De invloed van bosbeheer op het milieu kan ten goede of ten kwade zijn. Door bij elke handeling tevens de gevolgen voor het gehele ecosysteem te overwegen, zal aan het milieu zo weinig mogelijk afbreuk worden gedaan. Wanneer er bij aanleg, verzorging en oogst van bos geen rekening wordt gehouden met milieuwaarden, kan er veel en wellicht onherstelbaar, verloren gaan. Het is mogelijk door daarop gericht beheer milieuwaarden te behouden. Er zijn voorbeelden waar bosbeheer dat leren wil trekken van natuurlijke bosccosystemen, voordelen heeft boven een beheer waar dat niet het geval is. Men kan daarbij denken aan het zo veel mogelijk gebruiken van ter plaatse thuishorende boomsoorten en aan het streven naar gemengde opstanden in plaats van naar monocultures. Dit laatste geldt vooral voor monocultures van exotische soorten. Het inbrengen van loofhout in naaldhoutaanplanten is daar een Nederlands voorbeeld van. Gemengde bossen hebben meer weerstand tegen plagen, zijn minder windgevoelig en zijn mede daardoor relatief gemakkelijk beheerbaar, soms echter minder gemakkelijk oogstbaar.

Bosaanleg in gelijkvormige rechthoekige vakken is geen noodzaak. Een weldoordacht vakkenpatroon zonder lange rechte boswegen en paden is voor landschap en recreatie aantrekkelijk. Grootte, vorm en houtsoortensamenstelling van de opstand hoeven geen essentieel nadeel te hebben voor een efficiënt beheer [55]. Vanzelfsprekend worden de kosten wel beïnvloed.

Biologische rijkdom kan worden verkregen door lange omlopen van 80-100 jaar of meer in het bosplan op te nemen, al is het slechts op een beperkte oppervlakte. Daardoor treedt een rijping van de boslevensgemeenschappen op, die bij kortere omlopen niet kan worden gerealiseerd. Dit beginsel wordt al hier en daar toegepast en er zou in de toekomst nog meer aandacht aan moeten worden besteed.

Het bodemoppervlak moet in het algemeen zo min mogelijk worden verstoord, want dat leidt o.a. tot

versnelde mineralisatie van organische stof in de bodembovenlaag. Veranderen van het bodemprofiel door het keren van bodemlagen bij ploegen, of bodemverdichting dienen zo veel mogelijk te worden vermeden. Daarmee kan het bosbeheer in hoge mate meewerken aan het behouden van natuurwaarden en biologische rijkdom.

Deze aanpak heeft ook bosbouwkundige voordelen. Er wordt evenwel nog te vaak geen rekening mee gehouden en dan komt er van een ecologisch gericht beheer niet veel terecht.

Op vergelijkbare manier moeten alle andere bosbouwkundige ingrepen worden getoetst, zoals soortenkeus, plantverband, ontsluiting, onderhoud, faunabeheer, eventuele plaagbestrijding, dunnen en vellen. De wijze van oogsten is van bijzonder grote invloed op het milieu, vooral op de planten- dierenwereld van het bos. Grote kaalslagen en kapvlakten werken verarmend, het gebruik van machines met grote bodemdruk is ongunstig voor het herstel van evenwichten in bodem en de ondergroei.

Alle maatregelen en hun invloeden zijn eerder in dit hoofdstuk besproken. Nadere beschouwing van genoemde ingrepen laat zien, dat vrijwel alle bosbouwkundige maatregelen die voor een goed bosbeheer nodig zijn, zodanig kunnen worden uitgevoerd, dat het milieu niet noemenswaardig wordt geschaad.

Niet mag worden verheeld, dat dergelijk, op meer-voudige functie vervulling gericht bosbeheer in sommige gevallen kostenverhogend zal werken. Schaalverkleining en diversiteit zijn daarvan voorbeelden. In andere gevallen zal kostenverhoging niet optreden of beperkt zijn.

De planning kan dan zo worden gemaakt dat de boswerkzaamheden buiten kwetsbare perioden worden uitgevoerd, dus buiten natte perioden voor bodems gevoelig voor bodemverdichting, buiten het voorjaar i.v.m. beschadiging van begroeiing en de broedperiode van zeldzame vogels. Een ander

voorbeeld is een gerichte bosontsluiting: de afweging van permanente boswegen tegen tijdelijke ontsluitingswegen.

Er is een ontwikkeling te verwachten in de vorm waarin technische hulpmiddelen zullen worden toegepast. De technische operaties in een biologische omgeving zullen beter op elkaar moeten worden afgestemd. Het gaat daarbij niet alleen om materiële produktie, maar ook om instandhouding en verbetering van de biologische omgeving. Dat vraagt de ontwikkeling van aan de omstandigheden aangepaste methoden en machines, met als gebruikscriteria o.a. grootte en gewicht, energiegebruik, intensiteit van berijding, aanwezigheidsduur en kosten [55].

Een dergelijke integratie kan evenwel alleen worden verkregen, wanneer de bosbouwers en vooral de bosbeheerders zich op deze integratie willen instellen en voor de problemen een open oog hebben. Dat is voor vele bosbouwers geen probleem, omdat zij van nature en door ervaring de waarde inzien van een bosbeheer dat nauw aansluit bij natuurlijke of half-natuurlijke bosecosystemen.

Andere personen en instanties die met deze materie te maken hebben, zijn evenwel nog onkundig van deze aspecten en van de mogelijkheden en voordelen van een integratie. Voor deze categorieën zal voorlichting en opleiding van alle betrokkenen, van beheerder tot trekkerchauffeur, nodig zijn om te bereiken dat integratie vanzelfsprekend wordt. Dat leidt dan uiteindelijk tot een totaal bosbeheer, waarin alle denkbare functies van het bos in al hun veelzijdigheid volledig tot hun recht zullen kunnen komen.

De kostenverhogingen die ontstaan als gevolg van de algemene, maatschappelijke wenselijkheid van geïntegreerd en gekwalificeerd beheer zouden ook uit de algemene middelen dienen te worden bestreden.

Hoofdstuk IV. Gebruik van hout

1. Hout als grondstof

door ir. N.A. den Hartog

1.1. Inleiding

Hout wordt door de plantensoort 'boom' opgebouwd om te fungeren in het geheel van het lichaam der plant.

De stam, die hoofdzakelijk uit hout is opgebouwd, draagt de kroon. Die bestaat uit een takkenstelsel en gebladerte. Door de kroon hoog op te heffen, schakelt de boom een aantal concurrenten uit in de strijd om het voor de assimilatie nodige licht. Door dit hoog opheffen van de kruin nemen de buigmomenten in de stam en in de verankering aan de grond toe, afhankelijk van de kracht die door de wind op de kroon wordt uitgeoefend. Ook loopt de stam bij het opgroeien van de kruin toenemend gevaar te knikken. De boom reageert op de eerstgenoemde belasting, door bij het naar boven groeien van de kroon de stam tegelijkertijd in de dikte te laten groeien. Daartoe worden nieuwe houtlagen ringvormig om het bestaande hout afgezet. Globaal kan worden gezegd dat de weerstandsmomenten van de doorsneden op elke hoogte van de boom worden aangepast aan de daar optredende maximale buigmomenten. De plant voelt blijkbaar waar de optredende spanningen de breukgrens gaan naderen en reageert met het afzetten van nieuwe lagen houtcellen.

De maximale winddruk is sterk afhankelijk van de grootte en vorm van de kroon en van de plaats waar de boom groeit: sterk blootgesteld, vrijstaand of beschut in een bos tussen andere bomen in. Plotse overgang door het uit een opstand wegkappen van de buren, kan tot gevolg hebben dat door de sterkere windbelasting de breukgrens van de vezels aan de buitenzijde wordt overschreden. Er treden dan stuik- en trekbreuken op, of de boom wordt in zijn geheel omgeworpen. De boom die alleen stuik- of trekbreuken heeft opgelopen, tracht te herstellen door deze plaatsen in versterkte mate te overgroeien met nieuw weefsel. Aan de buitenkant van de stam is dit te zien als een aantal ring- of halvemaanvormige verdikkingen, dikwijls op korte afstand boven elkaar gelegen.

Het knikgevaar heeft de plant reeds grotendeels opgevangen door het over een grote doorsnede gespreid gebruik van sterktegevend materiaal. Het sterktegevend materiaal in bomen wordt gevormd door de houtvezels. Dit zijn buisvormige cellen met toegespitste einden en dikke celwanden. Afhankelijk van de houtsoort, variëren de lengte, de wand-

dikte en het aandeel van de vezels in de totale houtmassa. Deze factoren beïnvloeden dan ook sterkte, elasticiteit, hardheid en dichtheid van een houtsoort.

Naast de dragende functie in de levende boom, heeft hout nog een functie als transportleiding van water met de daarin opgeloste bodemzouten.

Bovendien dient hout nog als opslagplaats voor assimilatieproducten. Het zouthoudende water wordt door de wortels uit de bodem opgenomen en in hoofdzaak door de bladeren in de kroon gebruikt. Het gaat hierbij om aanmerkelijke hoeveelheden. Een ha beukenbos verbruikt in de zomer per dag ongeveer 30 m³ water waarin 30 kg aan zouten is opgelost.

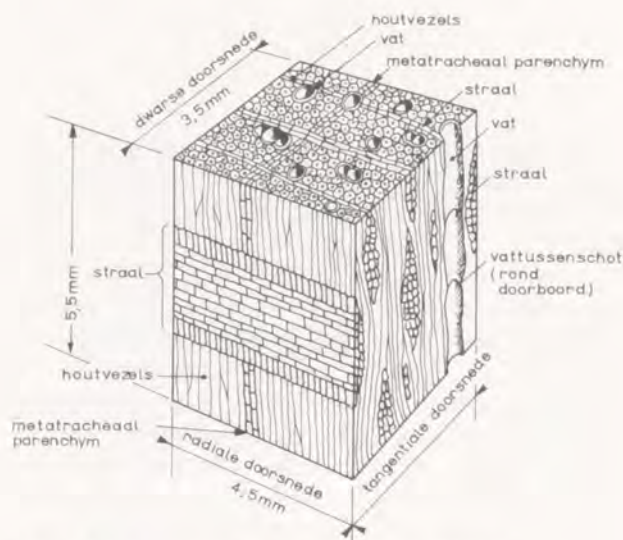
Dit transport vindt bij loofhout en bij naaldhout door verschillend gebouwde, aparte weefsels plaats. Bij loofhout bestaat het systeem uit z.g. vaten. Deze vaten zijn opgebouwd uit vatleden, korte cellen die op elkaar aansluiten. De onderlinge tussenwanden zijn kort na de celopbouw opgelost en op deze wijze worden doorgaande buizen van aanmerkelijke lengte gevormd. Zodra de tussenwanden zijn opgelost en de buis zijn functie kan aanvangen, sterven de cellen. Naast en in de omgeving van deze vaten blijven wel levende cellen aanwezig [57].

Bij bepaalde boomsoorten, zoals de wilg, kan een groot gedeelte uit vaten bestaan. Dit wordt in extreme mate bij lianen gevonden, waarbij het water soms over enige honderden meters moet worden vervoerd van wortel naar bladerkroon, zodat speciaal weefsel nodig is.

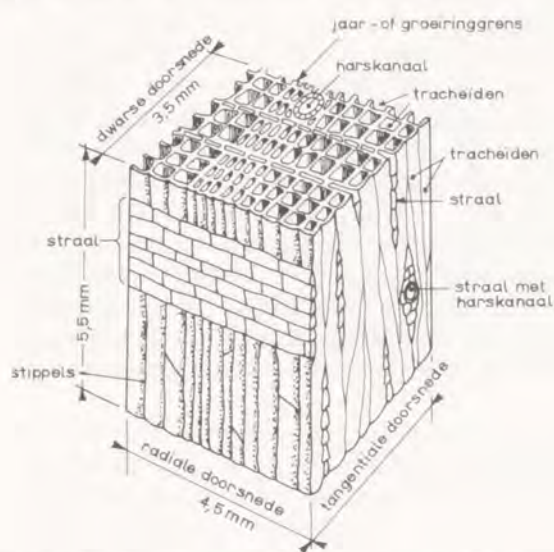
Bij naaldhout, dat qua soort veel ouder en over het algemeen veel minder gedifferentieerd is dan loofhout, is nog geen speciaal vatweefsel aanwezig. Het watertransport wordt hier verzorgd door de z.g. vezeltracheïden die bovendien een sterktefunctie hebben. Deze vezels zijn aanmerkelijk langer dan de vatleden in het loofhout en vormen geen open, doorgaande verbinding tot een pijp. Als voorbeeld is hier de bouw van loofhout en naaldhout in Figuur 1a en b gegeven.

De tracheïden zijn met elkaar verbonden in de lengterichting van de stam via kanaaltjes, stippels genaamd, die in het midden zijn afgesloten door het stippelsluitvlies. Deze stippels vormen ook verbindingen met de ernaast gelegen cellen en maken daardoor stofoverdracht in dwarsrichting mogelijk. Water kan met de erin opgeloste zouten door de stippelsluitvliezen passeren, lucht en dampbellen echter niet.

In het loofhout zijn eveneens stippels aanwezig, namelijk tussen de op dezelfde hoogte in de stam gelegen vatleden. Daarnaast zijn stippels aanwezig naar andere soorten cellen; zij vormen dan verbin-



Figuur 1a. Bouw van loofhout (naar Japing [58]).



Figuur 1b. Bouw van naaldhout (naar Japing [58]).

dingen in dwarse richting waardoor ook hier dwarstransport van water en opgeloste zouten mogelijk wordt [59, 60].

De weerstand die het watertransport ondervindt is diensgevolge bij naaldhout groter dan bij loofhout. Dit komt tot uitdrukking in de snelheid waarmee het water doorstroomt en dat varieert van ongeveer 1 m/h in naaldhoutsoorten, via 1–40 m/h bij loofhoutsoorten tot zelfs 150 m/h bij lianen. Als motor voor het watertransport fungeert de verdamping via de huidmondjes in de bladeren. Het kan voorkomen dat de waterdraad in de vaten en tracheïden door drukverschillen breekt. Dan vult het vat zich met lucht. Om te voorkomen dat deze lucht embolie zich naar de andere vaten verbreidt, wordt het getroffen vat afgegrensd, doordat de levende buurcellen de stippelsluitvliesen laten uitstulpen in het uit te schakelen vatlid, totdat dit met deze uitstulpsels (thyllen) is verstopt geraakt en afgesloten. Bij de vezeltracheïden is het gevaar van lucht embolie minder groot, omdat de gasbel de stippelsluitvliesen niet kan passeren.

Soortgelijke processen van afgrensdeling vinden plaats bij de overgang van spint- naar kernhout. Zoals later zal worden behandeld, is het spint de zone waarin levende cellen voorkomen en is het kernhout de zone waarin geen levende cellen meer aanwezig zijn. Bij deze overgang zorgen de nog levende cellen ervoor dat de nog niet afgegrensdelde vaten en tracheïden worden afgesloten [61].

Genoemd proces is ook van technisch belang bij later gebruik van het hout. Deze afsluitingen bemoeilijken vochtbewegingen in het hout, zoals die o.a. bij droging van het hout en bij het impregneren met verduurzamingsmiddelen een rol spelen. Ook de waterdichtheid van bijv. houten vaten wordt bepaald door de al of niet aanwezigheid van door thyllen verstopte celvaten. Europees eiken is om deze reden wel geschikt voor waterdichte toepassingen, de in ons land groeiende Amerikaanse eikensoort niet, evenmin als beuken.

Naast de reeds genoemde functies heeft het hout nog een taak: de opslag van voedingsstoffen. Voor de behandeling hiervan zij verwezen naar de literatuur [61]. Volstaan wordt met het volgende. Het vervoer van voedingsstoffen van het blad naar beneden vindt plaats door de bast. In de bast bevinden zich de zeefvaten, die een vergelijkbare functie hebben als de vezeltracheïden in het hout. De motor voor dit transport van oplosbare zetmeelsoorten en suikers in benedenwaartse richting moet worden gezocht in de verschillen in concentratie. Het transport van de voedingsstoffen in dwarse richting van de bast naar het hout vindt plaats door de stralen. Een straal is een weefselsoort die van het boommerg tot in de bast loopt. Deze stralen zijn opgebouwd uit prismavormige, dunwandige cellen met levend protoplasma en celkern. Dit celtype, parenchym, vindt men, behalve in de mergstralen, ook verdeeld tussen de vaten, vezeltracheïden en vezels in het hout in voor iedere houtsoort typerende groeperingen. Het vormt het levende element in het nog levende gedeelte van het hout, het spint. De taak bestaat hoofdzakelijk uit transport, opslag en regeling van levensfuncties. Door de dunne wanden van dit celtype lopen stipelkanalen met dunne sluitvliesen, die dit weefsel geschikt maken voor transport van opgeloste voedingsstoffen onder invloed van het protoplasma. Vanuit de stralen worden de voedingsstoffen van parenchymcel naar parenchymcel doorgegeven en daar opgeslagen, voor zover niet gebruikt voor opbouw in het spint.

De opslag van voedingsstoffen, die dus alleen in het levende deel van de stam, het spint, plaats heeft, is ook van belang voor de gebruiker van houten producten. Deze opgeslagen voedingsstoffen, suikers, zetmeel, eiwitten, vitaminen, vormen vanzelfsprekend ook een gunstige voedselbron voor schimmels en insecten. Hieruit is, althans gedeeltelijk, de gevoeligheid van spint voor aantasting te verklaren.

Als afsluiting van deze inleiding moet nog nader op de anatomische bouw van het hout worden ingegaan.

De kiemplant die later tot boom zal uitgroeien, vormt aanvankelijk nog geen houtige weefsels. Pas nadat de kruidachtige stengel zich heeft ontwikkeld, gaat de plant er toe over de weefseltypen te vormen die samen hout worden genoemd. In dit stadium vormt zich ringvormig rond de stengel een weefseltype, het cambium, dat in staat is nieuwe cellen te vormen. Vanuit deze ring worden naar binnen cellen afgezet die tot houtcellen zullen uitgroeien. Naar buiten toe zet deze cambiale ring cellen af die tot bastweefsel uitgroeien. Iedere cambiumcel in de ring zet daarbij een eigen radiale rij cellen af naar binnen zowel als naar buiten. Door het naar binnen afzetten van houtcellen verschuift de cambiale ring steeds verder naar buiten. De omtrek van de ring moet hierbij ook groter worden, hetwelk geschiedt door deling van de cambiumcellen in tangentiële richting. Het bastweefsel wordt bij deze groei steeds verder naar buiten gedrukt en moet daarbij ook in omtrek toenemen. Voor deze toename zorgen bepaalde weefseltypen in de bast. De bastlaag neemt niet voortdurend in dikte toe zoals het hout, doordat de buitenlaag in de vorm van korsten en platen voortdurend verweert, afslijt en wordt afgestoten.

Door deze wijze van groei vormen de door het cambium gevormde cellen aanvankelijk radiale rijen, zowel in het hout als in de bast. Door uitgroei vooral van de vaten in een richting dwars daarop wordt deze rechtlijnigheid later verstoord, doordat de vaten de naburige cellen wegdrücken.

De celdelingen in het cambium vinden plaats volgens een bepaald ritme dat aan de seizoenen is gebonden.

Zowel in loof- als in naaldhout begint de activiteit van het cambium in het vroege voorjaar, kort voor het uitlopen van de blad- en de eindknoppen. Er worden in deze periode cellen gevormd met dunne celwanden, een grote celholte en grote afmeting in radiale richting. De tangentiële afmeting van alle cellen blijft over de gehele groeiperiode vrijwel gelijk. Bij sommige houtsoorten, zoals eik en es, wordt in het vroege voorjaar een band van grote, wijde vaten gevormd over een bepaalde dikte. Daarna worden plotseling in veel geringer aantal kleinere vaten gevormd. Beide soorten vaten liggen ingebed in andere weefsels, zoals vezels, houtparenchym en stralen. Wegens deze opvallende banden van grote vaten, die in iedere jaarring terugkeren, worden deze houtsoorten kringporig genoemd.

Bij de niet-kringporige houtsoorten, de verspreidporige, komen dergelijke grote en plotselinge verschillen in diameter en aantallen van de vaten niet voor. Tegen de zomer nemen de celafmetingen in radiale richting geleidelijk af, terwijl de celwanddikte geleidelijk toeneemt.

Bij het einde van het groeiseizoen stopt ook de activiteit van het cambium. De laatst gevormde cellen zijn zeer smal in radiale richting, maken een platte indruk, en bezitten zeer dikke celwanden. Wanneer in het volgende voorjaar het cambium de activiteit hervat met de vorming van wijde dunwandige cellen, is het contrast met de laatste cellen in het voorgaande jaar zeer groot. Hierdoor wordt de jaarringgrens geaccentueerd.

In die tropische gebieden waar sterke seizoenwisselingen ontbreken, kent het cambium nauwelijks rustperiodes en variaties in celbouw. Het hout dat onder deze omstandigheden wordt gevormd, toont dan ook niet de cyclische variaties in celvorm zoals boven omschreven, zodat jaarringen en jaarringgrenzen ontbreken.

Binnen iedere jaarring is het hout opgebouwd uit verschillende weefsels zoals vaten, vezels, parenchym en stralen. Al deze verschillende weefsels zijn afgeleid uit het cambium, dat zelf niet gedifferentieerd is, met uitzondering van die cellen waaruit de stralen ontstaan. Voor een behandeling hiervan zij verwezen naar de literatuur [60, 62]. Het aandeel van iedere weefselsoort is typerend voor de houtsoort. Er bestaat in deze verdeling en groepering een enorme variatie. Enkele voorbeelden worden hierna gegeven.

De houtsoort balsa (*Ochroma lagopus*) is waarschijnlijk de lichtste houtsoort die er bestaat (dichtheid ca. 0,16). Het weefsel bestaat vrijwel geheel uit dunwandig parenchym, vezels ontbreken nagenoeg. Het hout is daardoor weinig sterk. Het na de oogst met lucht gevulde dunwandige parenchym verleent aan het hout goede warmte-isolatie eigenschappen.

Wilgenhout (*Salix spec.*) en ook vele lianensoorten vormen een ander uiterste. Deze houtsoorten bestaan overwegend uit vaten. Ook hier is het aantal vezels beperkt en is de sterkte gering.

Weer een ander uiterste wordt gevormd door de houtsoorten die voornamelijk uit dikwandige vezels bestaan met daartussen enkele nauwe vaten en wat parenchym en die daardoor een dichtheid hebben van meer dan 1. De sterkte- en hardheidscijfers bereiken in deze houtsoorten de hoogste waarden.

Verschiedende weefselcombinaties kunnen combinaties van eigenschappen geven. Dit levert een enorm scala van mogelijkheden.

De afmetingen van cellen variëren aanzienlijk met de houtsoort. De vezellengte van naaldhoutsoorten ligt tussen ongeveer 1 mm en ruim 7 mm, die van loofhoutsoorten tussen 0,5 en 2,5 mm. Bij de belangrijke Pinus-, Picea- en Abiessoorten liggen deze lengten tussen ongeveer 1,5 en 4,5 mm.

Deze grotere lengte van de naaldhoutvezels bepaalt de aantrekkelijkheid van deze houtsoorten voor de papierindustrie. Daar komt nog bij dat vezels meer dan 90% van de

naaldhoutmassa uitmaken en bij loofhout slechts ruim 50%. De rest bestaat daar uit nog kortere cellen.

De diameters van de vezels liggen bij naaldhout ongeveer tussen 10 en 70 micrometer en bij loofhout tussen 10 en 60 micrometer.

De naast de vezels vooral in het loofhout voorkomende celtypen hebben in de lengterichting altijd aanmerkelijk kleinere afmetingen dan de vezels ($1/2$ tot $1/12$ van de lengte).

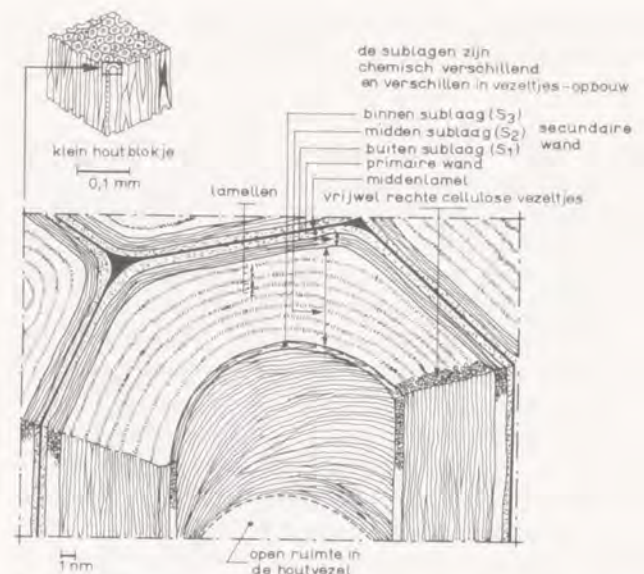
De diameters van de niet-vezelcellen wijken weinig af van die van de vezels, met uitzondering van de diameters van vatleden die ook binnen de houtsoort enorm kunnen variëren. Bij eik bijvoorbeeld kunnen de afmetingen liggen tussen 10 en 400 micrometer. Bij de meeste andere houtsoorten is de spreiding kleiner.

Als afsluiting van de globale bespreking van de bouw van het hout wordt de cel, de bouwsteen, afzonderlijk besproken. Als voorbeeld is hier de bouw van een vezel gekozen, het element dat voor de sterkte-eigenschappen het belangrijkste is.

Een houtvezel bestaat uit een langwerpige prismatische middengedeelte en twee langgerekte toegespitste einden. De wand omgeeft een holte waarin zich bij de levende cel het protoplasma en de celkern bevinden. De wand van deze cel is opgebouwd uit twee wandlagen, de primaire en de secundaire, waarvan de laatste eigenlijk nog weer in drieën moet worden onderverdeeld. Tussen twee buurcellen is nog een gemeenschappelijke laag aanwezig, de middenlamel.

Bij de vorming van de houtvezel uit de cambiumcel, wijken vorm en lengte weinig af van de andere typen cellen die uit gelijksoortige cambiumcellen worden gevormd. De celwand bestaat dan nog slechts uit de primaire wand. Die wand is in dit stadium opgebouwd uit een los, weinig dicht geraamte van cellulose, ingebed in pectine-achtige stoffen. Tijdens de groei van de cel beginnen de beide eindspitsen zich sterk te verlengen en dringen zich daarbij tussen de cellen van de laag boven en onder de vezel in kwestie. Daarnaast groeit het prismatische middenstuk nog in radiale richting. De celwand is nog elastisch en kan door tussenvoegen van netwerkelementen en pectinewandstof meegroeien. Pas wanneer de cel is volgroeid, worden de secundaire wandlagen tegen de primaire wand, die slechts 0,1 tot 0,2 micrometer dik is, afgezet, zie Figuur 2.

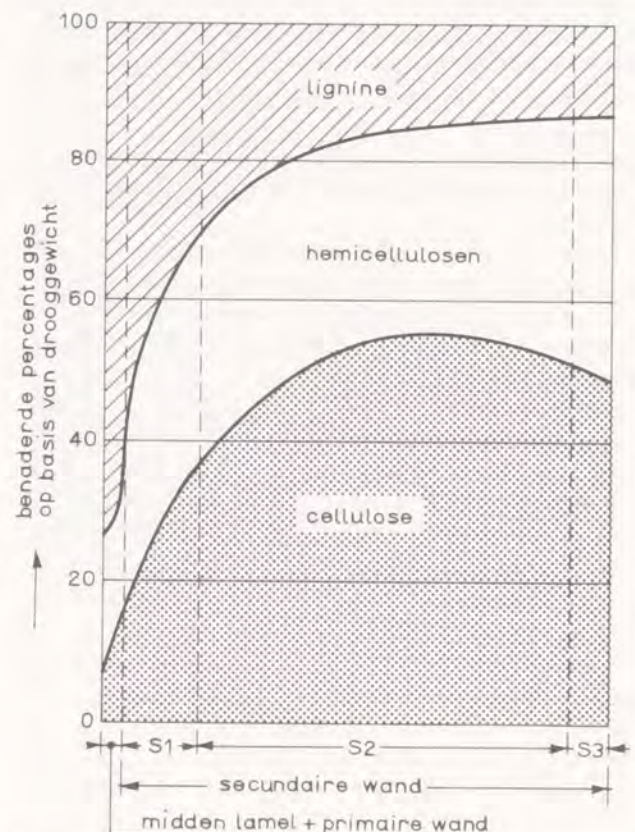
Deze groei van de primaire wand en het afzetten van secundaire lagen geschiedt door het protoplasma dat overal tegen de wand aanligt. De secundaire lagen worden veel dikker en dichter en zijn ook van een veel nauwer en vaster cellulosegeraamte voorzien dan de primaire wand. Deze lagen zijn dan ook bepalend voor de sterkte van de celwand. In de drie sublagen S1, S2 en S3 van de secundaire laag is de S2 de dikste en belangrijkste,



Figuur 2. Bouw van de wand van een houtvezelcel (naar Knigge [63]).

de S1 is dun en de S3 is dun en ontbreekt bij sommige houtsoorten. Bij de zware houtsoorten is de S2 zo dik, dat in het midden van de cel de celholte zeer klein is geworden. De vezel is dan nagenoeg massief geworden en daardoor zeer sterk.

De chemische samenstelling van de verschillende wandlagen is in Figuur 3 weergegeven.



Figuur 3. Verdeling van de belangrijkste chemische componenten in de verschillende celwandlagen van naaldhout (naar Panshin en De Zeeuw [64]).

Wanneer een cel is uitgegroeid wordt de pectine uit de middenlamel en de primaire wand voor een groot deel vervangen door lignine. Lamel en wand bereiken uiteindelijk een gehalte van 70% lignine, de rest bestaat dan half om half uit cellulose en hemicellulose.

In de secundaire wand neemt het cellulosegehalte naar het midden van deze laag toe van ongeveer 30% in de S1 naar een maximum in het midden van de S2 van 55% en daalt daarna iets naar de S3 tot wat minder dan 50%. Het ligninegehalte neemt daarentegen van buiten naar binnen af.

De gegeven getallen geven de orde van grootte aan, zij verschillen van houtsoort tot houtsoort en zelfs binnen een houtsoort [64].

1.2. Fysische eigenschappen

Inleiding

In deze paragraaf wordt een aantal fysische en technische eigenschappen besproken die de basis vormen voor diverse toepassingen en die de keuze van houtsoorten voor bepaalde toepassingen bepalen.

Tussen de vele eigenschappen bestaat samenhang.

Bepalend in deze is de celwand, die, wat samenstelling uit cellulosen en lignine betreft, van houtsoort tot houtsoort niet veel verschilt. Het aandeel echter van de celwand in het totale houtvolume varieert zeer sterk. Er zijn houtsoorten met dunwandige cellen en een grote celholte en houtsoorten met zeer dikke celwanden en een kleine celholte. Hoeveelheid en structuur van de verschillende weefsels die in hout aanwezig zijn, hebben ook invloed op de eigenschappen van hout [59, 60, 62, 63, 65].

Dichtheid

Het begrip dichtheid, ook wel volumieke massa genoemd, wordt tegenwoordig gebruikt in plaats van het vroegere begrip soortelijk gewicht. Het is de verhouding tussen de massa van een stuk hout en het volume, beide gemeten bij een bepaald vochtgehalte. De dichtheid wordt uitgedrukt in kg/m^3 .

Opgave van het vochtgehalte is nodig omdat hout, zoals in de volgende paragraaf zal worden besproken, beneden een bepaald vochtgehalte bij vocht afgifte krimt en bij vocht opname zwelt. Naast gewichtsverandering treedt dus ook volumeverandering op.

Om een vergelijkingsbasis te verkrijgen, wordt de dichtheid dikwijls opgegeven bij een vochtgehalte van 0%, 12% of 15%. De eerste waarde is die van volkomen droog hout en heeft hoofdzakelijk wetenschappelijke waarde. De meeste sterktecijfers voor hout worden opgegeven bij een vochtgehalte van 12%. De gemiddelde waarde van het vochtgehalte van lucht droog hout in gebouwen is 15%. Omrekening van de dichtheid bij het ene vochtge-

halte naar die bij een ander vochtgehalte is mogelijk.

Naast het begrip dichtheid wordt het begrip dichtheidsgetal gebruikt. Hieronder verstaat men de verhouding tussen de massa van geheel droog hout en het volume in natte toestand.

Bepalend voor de dichtheid zijn het materiaal van de celwand en het volume van de poriën. De celwand bestaat in hoofdzaak uit cellulose, lignine en hemicellulosen. Uit onderzoek van P.H. Hermans (1949) bleek dat cellulose met een gemiddelde kristallisatiegraad een dichtheid heeft van $1.553 \text{ kg}/\text{m}^3$ [59]. Hoogkristallijne cellulose heeft een nog hogere dichtheid. Lignine heeft daarentegen een lagere dichtheid dan cellulose, nl. $1.410 \text{ kg}/\text{m}^3$ (Stamm en Hansen 1937). De hemicellulosen tenslotte hebben een dichtheid van $1.500 \text{ kg}/\text{m}^3$. De onderlinge verhouding van deze bouwstenen bepaalt tenslotte de dichtheid van de wandmassa, die volgens diverse auteurs uitkomt op ongeveer $1.500 \text{ kg}/\text{m}^3$ [59]. Zoals gezegd, bestaat er geen groot verschil tussen de houtsoorten wat betreft de verhoudingen van cellulose, lignine en hemicellulosen in de celwand. Tropische houtsoorten neigen tot een wat hoger ligninegehalte, dus een wat lagere dichtheid van de celwandstof. Daarnaast bevatten sommige houtsoorten een hoog percentage kleurstoffen, tot 30% van het gewicht, die de dichtheid verhogen [58].

De dichtheid van een houtsoort wordt bepaald door de hoeveelheid celwandstof per volume-eenheid, of, anders gezegd, van het poriëngehalte. Hier liggen de grote variaties die de natuur ons in de houtsoorten biedt.

Aan de ondergrens ligt bijvoorbeeld het balsahout met een dichtheid van $180 \text{ kg}/\text{m}^3$ (bij 12% vocht). Dit hout bevat overwegend zeer dunwandig parenchymweefsel met grote celholten. De veel gebruikte houtsoorten vuren en grenen met dichtheden van $420 \text{ kg}/\text{m}^3$, resp. $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ liggen laag en eiken en beuken met $800 \text{ kg}/\text{m}^3$, resp. $790 \text{ kg}/\text{m}^3$ liggen hoog in een middengroep. Extreem hoge waarden worden gevonden bij een aantal tropische houtsoorten zoals letterhout, pokhout en grenadille met dichtheden van omstreeks $1.200 \text{ kg}/\text{m}^3$. Deze houtsoorten bestaan overwegend uit zeer dikwandige vezels met nauwe celholten.

Doordat de dichtheid samenhangt met de celwanddikte en het percentage vezels in het hout bestaat in het algemeen een duidelijk verband tussen dichtheid en sterkte, vooral druksterkte, buigsterkte en hardheid. Hoe zwaarder de houtsoort, des te hoger zullen in het algemeen de sterktecijfers zijn. Eveneens bestaat er een verband tussen krimp- en zweleigenschappen. In het algemeen kan worden gezegd dat de houtsoorten met een lage dichtheid minder krimpen en zwellen dan de zware houtsoorten. Zie ook Tabel 1. De dichtheid bepaalt ook de bewerkbaarheid en de ontvlambaarheid. Zware houtsoorten zijn in het algemeen moeilijker te be-

werken en minder ontvlambaar dan de lichtere houtsoorten.

Er bestaat overigens een ruime variatie in vrijwel alle eigenschappen van hout, zelfs al binnen de stam. Voorts zijn die eigenschappen afhankelijk van plaats, grondsoort en klimaat waar de boom is gegroeid.

Binnen een stam worden in de regel in de zone rondom het hart of de kern van de stam cellen afgezet die korter zijn en dunnere celwanden hebben dan vergelijkbaar hout dat zich meer aan de buitenkant van de stam bevindt. Dit hout rondom de kern is dus lichter en minder sterk dan hout dat meer naar buiten is gelegen.

Daarnaast speelt binnen een jaarring de verdeling tussen het dunwandige voorjaarshout en het dikwandige zomerhout een rol. Bij naaldhout, met uitzondering van douglas en larix, neemt het percentage dikwandig zomerhout bij een toenemende jaarringbreedte af. Bij douglas en larix neemt het aandeel aan zomerhout eerst toe en daarna af. Kringporig loofhout (eik, es, iep) volgt een tegengesteld patroon. Bij toenemende jaarringbreedte neemt het percentage zomerhout en daarmee de sterkte toe. De verspreidporige loofhoutsoorten (beuk, esdoorn, berk, populier) vertonen dit niet [63]. Naaldhout met smalle jaarringen is dus zwaarder dan naaldhout met brede jaarringen; bij kringporig loofhout is het omgekeerde het geval, terwijl bij verspreidporige houtsoorten de dichtheid weinig afhankelijk is van de jaarringbreedte.

Een houtsoort vormt het zwaarste hout bij optimale groei, dus in het centrum van zijn verspreidingsgebied. Naar de randen toe, zowel aan de koudegrens als aan de warmtegrens, heeft het hout een lagere dichtheid.

Relaties tussen hout en water

De aanwezigheid van water in hout beïnvloedt een aantal belangrijke eigenschappen en toepassingsmogelijkheden. Hiervan enkele voorbeelden. Hout kan, zowel in verse toestand als dood, relatief grote hoeveelheden water bevatten; lichte houtsoorten zelfs meer dan het eigen droge gewicht. Met dit hout vervoert men dus tevens een grote hoeveelheid water. Sommige houtsoorten met een dichtheid tussen 0,7 en 0,9 zijn slechts in droge toestand enige tijd vlotbaar. Bij weinig ontsloten gebieden kan dit van groot belang zijn. Wanneer het vochtgehalte beneden een bepaalde grens toeneemt nemen alle sterkte-eigenschappen, met uitzondering van de taaiheid, af. De harde, zware houtsoorten zijn met het droger worden van het hout steeds moeilijker te bewerken; de hardste zijn in droge toestand vrijwel niet te verzagen.

De onaangenaamste eigenschappen van hout, krimp en zwel, zijn een gevolg van veranderingen in het vochtgehalte.

Hout met een vochtgehalte van minder dan 20% wordt niet aangetast door schimmels en ook niet

door de meeste soorten houtaantastende insectenlarven.

Het vochtgehalte wordt uitgedrukt als een percentage van het gewicht van het volkomen droge hout. In het laboratorium wordt dit gehalte bepaald door het hout te wegen, in vochtige toestand en nadat het in een oven bij ongeveer 103°C tot constant gewicht is gedroogd.

In de praktijk gebeurt de meting in de regel met elektrische vochtigheidsmeters. Daarmee wordt de elektrische weerstand van het hout gemeten. De uitkomsten moeten worden gecorrigeerd naar houtsoort en temperatuur.

Plaats van het water in het hout

Het water kan op twee wijzen in hout worden aangetroffen: als vrij water hoofdzakelijk in de celholten en als gebonden water in de celwanden.

Op het vrije water werken alleen capillaire krachten. Het kan zich gemakkelijk verplaatsen bij verschil tussen capillaire kracht en dampspanning in het hout.

Het gebonden water zit in de celwand als een hydratatie¹⁾ van de vrije hydroxylgroepen van cellulose, hemicellulose en lignine. In de celwanden is nl. een uitgebreid poriënsysteem aanwezig van capillairen van 1 tot 10 nm diameter, met voor de cellulose een oppervlakte van $0,6 \times 10^6 \text{ mm}^2 \text{ per mm}^3$ (volgens Kollman [59]). Het hout kan op deze wijze worden opgevat als te zijn opgelost in water in de vorm van een colloïdchemisch gel (Skaar [66]). Het bezit dan ook de volgende zes eigenschappen van een gel:

1. Een gel is hygroscopisch. Hout tracht in evenwicht te komen met het vochtgehalte van de omringende lucht. Een verandering daarvan doet het vochtgehalte in het hout veranderen tot het nieuwe evenwicht is bereikt. Dit evenwicht is afhankelijk van de temperatuur.
2. Een gel zwelt bij vochtopname meer dan het volume opgenomen water. De swelling kan anisotropisch zijn, d.w.z. niet in alle richtingen gelijk. Bij vochtafgifte vindt krimp plaats.
3. Een gel oefent kracht uit indien de swelling bij het opnemen van water wordt verhinderd. Bij verhindering van swelling wordt minder water opgenomen.
4. Een gel bezit een zekere mate van vastheid en kan statische afschuifkrachten opnemen.
5. Een gel vertoont, in tegenstelling tot een echte oplossing, een bovengrens voor wateropname en swelling bij blootstelling aan een met water verzadigde atmosfeer.
6. Een gel vertoont hysteresisverschijnselen bij de waterabsorptie en -afgifte, d.w.z. de lijnen die het evenwichtsvochtgehalte van het hout aan-

¹⁾ Hydratatie = het zich omkeerbaar binden van watermoleculen aan moleculen of ionen.

geven bij een bepaalde relatieve luchtvochtigheid zijn verschillend voor een toenemend luchtvochtgehalte en afnemend luchtvochtgehalte.

Bij de hydratatie van het water aan de wanden van de capillairen komt energie vrij. Deze energie moet echter ook weer worden opgenomen als men het hout wil drogen.

Bij het opnemen van water aan de wanden van de nauwe capillairen worden deze capillairen verwijd en uitgerekt. Tegen deze uitrekking biedt het omringende weefsel weerstand. Op een zeker ogenblik zal er een evenwicht ontstaan tussen de krachten die het water aantrekken (in de tweede of volgende laag van de wand af gerekend) en de krachten van het wandweefsel dat zich tegen verdere uitrekking verzet. Het punt waarbij dit evenwicht wordt bereikt en waarbij geen water meer in de wand wordt opgenomen heet het vezelverzadigingspunt. Meer water kan dan alleen nog maar in de celholte en in de intercellulaire kanalen worden opgenomen.

Dit vezelverzadigingspunt ligt, afhankelijk van de houtsoort, tussen 22 en 35% vocht; het is gebruikelijk te rekenen met 30%.

Tussen 0% en het vezelverzadigingspunt heeft het water invloed op krimpen en zwellen, sterkte-eigenschappen, bewerkbaarheid enz. Boven deze grens veranderen, behalve het gewicht, de eigenschappen niet meer.

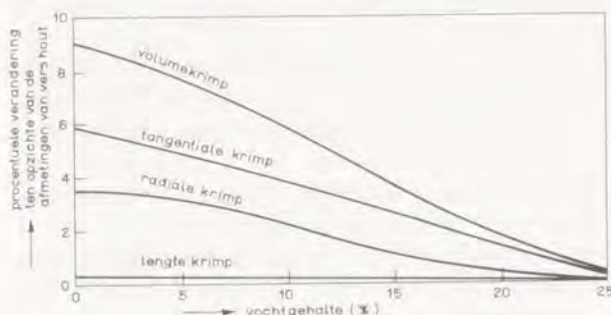
Beneden het vezelverzadigingspunt vertoont hout hygroscopische eigenschappen. Het tracht voortdurend in evenwicht te komen met het relatieve vochtgehalte van de omgevende lucht. Blijft dit relatieve vochtgehalte langere tijd constant, dan bereikt het hout een daarbij behorende evenwichtstoestand. Dit evenwichtsvochtgehalte is afhankelijk van de houtsoort en van de temperatuur. Verandert de relatieve vochtigheid van de lucht, dan tracht het hout deze verandering te volgen; het nieuwe evenwicht wordt echter steeds met enige vertraging bereikt.

Wanneer in een stuk hout verschillen in vochtgehalte bestaan, zal er door deze vochtgradiënt een transport van water op gang komen. Is water als vloeistof aanwezig, dan zal dit via de vaten en van cel tot cel via de stippels door capillaire kracht worden verplaatst. Waterdamp vindt zijn weg via diffusie door de celwanden. Het transport in de lengterichting van het hout vindt 12 tot 15 x sneller plaats dan dwars op de lengterichting. Overigens heeft in de meeste toepassingen het hout een grotere afmeting in de lengterichting van de vezel, zodat het grootste watertransport toch in de dwarsrichting plaats vindt vanwege de korter af te leggen weg. Het watertransport is door de verschillende wegen die het water kan volgen zeer complex. Dat komt door het grote aantal variaties in lengte en diameter van capillairen, stippels, stippelsluitvliesen en -poriën, transport in vloeibare en in gasvormige toestand en combinaties van beide.

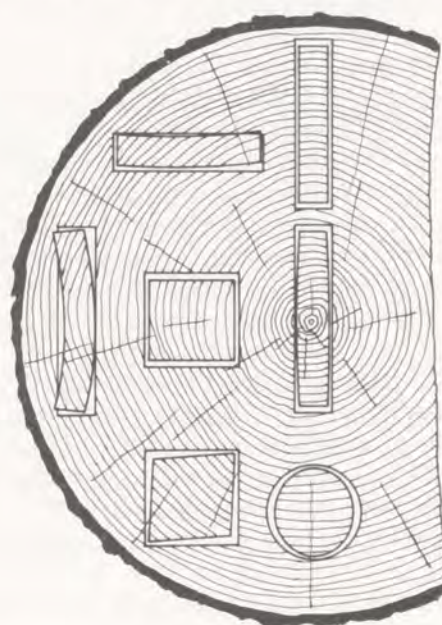
De watertransportwegen worden gebruikt bij het drogen van hout, het impregneren met verduurzamingsmiddelen en bij chemische omzettingen waarbij men chemicaliën in het hout laat dringen.

Krimpen en zwellen

Zoals in het voorgaande vermeld, vertonen gels en dus ook hout het verschijnsel, dat zij bij wateropname zwellen en bij waterafgifte krimpen [59, 60]. Dit proces verloopt zodanig, dat bij een bepaald vochtgehalte een bepaalde afmeting hoort. Dit proces vindt plaats tussen 0% en het vezelverzadigingspunt (ca. 30%). Op deze maximaal gezwollen toestand worden dan ook de krimpercentages betrokken. In de lengterichting krimpt hout in de regel weinig, in radiale richting meer en in tangentiële richting ongeveer het dubbele van de radiale krimp (zie Figuur 4). Dit anisotrope gedrag geeft aanleiding tot vervormingen en spanningen bij verandering van vochtgehalte (zie Figuur 5).



Figuur 4. Krimp van zes Noordamerikaanse houtsoorten (naar Panshin en De Zeeuw [64]).



Figuur 5. Krimpen en zwellen van hout (naar US Forest Products Laboratory, 1955).

De mate van krimpen en zwellen is afhankelijk van de dikte van de celwanden. Hoe dikker de celwanden en hoe groter de dichtheid (hoe zwaarder het hout), des te sterker krimpt en zwelt het hout. Deze

regel gaat echter niet altijd op: houtsoorten met een betrekkelijk hoge dichtheid zoals teak en mahonie krimpen aanmerkelijk minder dan hun gewicht zou doen verwachten. Aan die eigenschap hebben deze en soortgelijke houtsoorten mede hun gebruiksmogelijkheid te danken.

In de praktijk is het krimpen en zwellen een van de onaangenaamste eigenschappen van hout. Het hinderlijkste komt dit naar voren bij houtsoorten met een groot verschil tussen tangentiële en radiale krimp. Deze vervormen het meest en trekken krom en scheluw.

Bekende gevolgen zijn het klemmen van deuren en ramen, het opentrekken van naden enz., afhankelijk van het weer. Tegenmaatregelen zijn het gebruik van weinig werkende houtsoorten, toepassing van triplex en spaanplaat (die geen uitgesproken vezelrichting en daardoor weinig zwel en krimp in een bepaalde richting hebben) en het vooraf drogen van het hout tot een vochtigheidsgraad midden tussen de uiterste waarden die het hout op de plaats van gebruik zal aannemen. Daarnaast kan men het hout zo goed mogelijk van de lucht afsluiten door laklagen zodat het hout de periodieke wisselingen in vochtgehalte slechts vertraagd kan volgen.

Bij het verzagen van vers, nat hout moet men rekening met krimp houden. Men moet de maten ruim nemen opdat na droging, de houtdelen de vereiste maat zullen hebben. Bij de paragraaf over houtveredeling zal worden beschreven hoe op andere wijze het werken kan worden beperkt.

Thermische eigenschappen

Warmteuitzetting

De thermische uitzetting is ook anisotroop. De uitzetting in de richting dwars op de vezel is ongeveer 10 x zo groot als die in de lengterichting. De uitzetting wordt in de regel overgecompenseerd door de krimp die ontstaat door het afstaan van vocht aan de warme omgevingslucht. De krimp overtreft verre de thermische uitzetting.

Warmtegeleiding

De geringe geleidbaarheid van warmte of, omgekeerd, het goede warmte-isolatievermogen is een veel toegepaste eigenschap van hout. De combinatie van goede sterkte-eigenschappen met een goed isolatievermogen was lange tijd het grote voordeel van hout ten opzichte van andere bouwmaterialen.

De geleiding van warmte wordt gedefinieerd als de hoeveelheid warmte die per seconde door een kubus met ribben van 1 m vloeit bij een temperatuurverschil tussen voor- en achterwand van 1 K. Ook dit is een anisotrope eigenschap. De warmtegeleiding in de vezelrichting is ongeveer twee maal zo groot als die in tangentiële en radiale richting. De warmtegeleiding is verder afhankelijk van de dichtheid van de houtsoort en van het vochtgehalte. Het

nagenoeg rechtlijnige verband met de dichtheid is begrijpelijk. De lucht in de poriën heeft nl. een ca. 14x lagere warmtegeleiding dan de houtstof waaruit de celwanden zijn opgebouwd. Water heeft een tweemaal zo grote warmtegeleidbaarheid als de celwanden, zodat het warmtegeleidingsvermogen aanmerkelijk afneemt als door drogen het water in het hout wordt vervangen door lucht.

Van een aantal bouwmaterialen is hieronder de warmtegeleidbaarheid opgegeven.

Materiaal	dichtheid kg/m ³	Warmtegeleidbaarheid bij 20° C in W/m.K
Balsa	160	0,06
Vuren, grenen, dennen	400	0,10
Beuken, eiken	700	0,16
Zachtboard	250	0,065
Hardboard	700	0,19
Triplex	700	0,16
Baksteen metselwerk	700-1600	0,8-1,9
Grindbeton	1800-2500	0,9-2,9
Glas	2500	0,8
Staal	7850	52
Aluminium	2800	200
Glasvezelwol	186	0,04
Lucht	1	0,025
Water	1000 bij 20° C	0,58

Hout als bouw materiaal geeft door de goede warmteïsolerende eigenschappen een grotere behaaglijkheid zowel in het koude als in het warme jaargetijde. Houtbouw resulteert meestal in een lager energiegebruik voor de verwarming. Dit is een van de redenen waarom in de noordelijke landen de meeste bouw in hout is uitgevoerd [67, 68, 69]. Houten vloeren en wanden voelen niet koud aan. Bij deze laatste eigenschap speelt ook de geringe warmtecapaciteit van hout een rol. Op deze zelfde eigenschap berust het gebruik van hout voor handvatten en zelfs het gebruik van de lucifer.

Brandbaarheid

Hout is brandbaar. De ontbrandingstemperatuur is ongeveer 270°C. Of en hoe snel deze temperatuur wordt bereikt hangt af van de hoeveelheid warmte die van buiten wordt toegevoerd en de mate waarop warmte aan de oppervlakte van het hout wordt geaccumuleerd.

Deze accumulatie wordt verder bepaald door de mogelijkheid van afvoer van warmte naar binnen en de grootte van het betreffende houtstuk. Kleine stukken hout met scherpe uitstekende kanten ontbranden gemakkelijk, omdat slechts een geringe warmtetoevoer voldoende is om plaatselijk de ontbrandingstemperatuur te bereiken. Maatregelen ter voorkoming van brand zijn dan ook het glad af-

werken van het hout en het afronden van hoeken en kanten. Wordt de ontbrandingstemperatuur bereikt onder afsluiting van zuurstof, dan worden door houtontleding gassen gevormd en begint de destructieve distillatie of pyrolyse. Bij het vergassingsproces vormt zich aan de buitenkant van het hout een koollaag, die aan de buitenkant relatief langzaam verbrandt en zich naar binnen uitbreidt. Deze koollaag isoleert het binnenste van het houtstuk tegen de hitte van buiten en sluit het binnenste af van de luchtzuurstof. Het is aan deze koollaag te danken dat houtconstructies van voldoende dikte bij een brand in een gebouw lang draagkrachtig blijven, langer dan staalconstructies. De tegenwoordig veel toegepaste gelijkde houten spanten hebben in dit opzicht reeds vele malen hun betrouwbaarheid bewezen. Hetzelfde geldt voor massieve houten deuren, die bovendien bij brand niet in het kozijn vastklemmen.

De uitbreiding van de vlammen over de oppervlakte van hout kan worden vertraagd door behandeling met brandvertragende middelen zoals ammoniumfosfaat. Deze middelen bevorderen de vorming van de beschermende koollaag of van een isolerende schuimlaag.

Hout als brandstof

In de eerste hoofdstukken is reeds vermeld dat ruim de helft van al het hout dat op de wereld wordt gekapt, wordt gebruikt als brandstof, zowel voor gebruik in de huishouding als ook industrieel.

Door de stijgende prijzen en de dreigende schaarste van fossiele brandstoffen bestaat er nu een toenemende belangstelling voor hout als energiedrager. Dit geldt in de eerste plaats voor de houtverwerkende industrieën, die afvalhout, zaagsel en schaafkrullen kunnen stoken voor het drogen van hout, ruimteverwarming en eventueel de opwekking van elektriciteit.

De geschiktheid van hout als brandstof berust op verbrandingswaarde, ontstekingseigenschappen en brandeigenschappen. De onderste verbrandingswaarde¹⁾ van volkomen droog hout ligt op ongeveer 18 MJ (4500 kcal) per kg. In dit opzicht verschillen de houtsoorten onderling weinig. Houtsoorten met een hoog ligninegehalte of een hoog gehalte aan harsen, vetten of suikers, hebben een iets hogere waarde, houtsoorten met een hoog gehalte aan looistoffen of minerale bestanddelen een geringere waarde. Veel belangrijker is het vochtgehalte. De onderste verbrandingswaarde van vochtig hout is niet onaanzienlijk lager dan die van droog hout. Dit is een van de belangrijkste oorzaken dat hout in de industrie betrekkelijk weinig als brandstof wordt gebruikt. Voor gebruik als huisbrandstof wordt vers gekapt hout eerst langdurig gedroogd (in de Alpen 2 jaar). Voor industrieel gebruik wordt

het meestal voorgedroogd met afvalwarmte uit de verbrandingsinstallatie.

De voorkeur voor loofhout boven naaldhout is voor een belangrijk deel ontstaan doordat brandhout in de regel per inhoudsmaat wordt verkocht en niet per gewicht. Het zware loofhout levert per inhoudsmaat meer energie.

Lichte houtsoorten, dus met grotere celholten, bereiken – vooral als ze veel hars bevatten – gemakkelijker de ontstekingstemperatuur dan de zware, dichte houtsoorten. Zoals reeds gezegd, speelt hierbij ook de afmeting een belangrijke rol, hoe fijner opgespleten des te gemakkelijker de ontsteking. De typische brandeigenschappen van hout zijn de gasontwikkeling en de brandsnelheid. Gasontwikkeling begint bij een temperatuur van ca. 150°C en neemt daarna snel toe. Hout heeft een hoge brandsnelheid met een sterke warmtestraling van de rode vlammen. Het vrijwel ontbreken van zwavel en fosfor en de geringe as- en slakkenvorming kan voor bepaalde toepassingen van betekenis zijn.

Door de sterke gasontwikkeling kan een gedeelte van de gassen onverbrand of gedeeltelijk verbrand ontsnappen. Het verbrandingsrendement is dan laag en er is gevaar van condensatie van teerachtige producten in de schoorsteen. Dit gevaar kan worden verminderd door de luchttoevoer in twee stappen te laten verlopen. De lucht wordt in beperkte mate toegevoerd aan de brandstof. Die gaat dan vergassen. Door aan de gassen in beperkte overmaat voorverwarmde secundaire lucht toe te voegen, verbranden die dan volledig. Door de warmtestraling is het niet nodig dat de verbrandingsgassen direct in contact komen met de water- of stoompijpen. Bij het open haardvuur speelt de warmtestraling een belangrijke rol.

Voor de bereiding van ruw ijzer uit ijzererts en houtskool is het van belang dat hout geen zwavel en fosfor bevat. Deze elementen maken ijzer en staal nl. bros. De goede naam van het Zweedse staal is grotendeels te danken aan het feit dat het ruw ijzer vroeger met houtskool werd bereid.

In vele ontwikkelingslanden wordt houtskool zeer veel in het huishouden gebruikt. Houtskool heeft een veel hogere verbrandingswaarde dan hout (luchtdroog 27 tot 31 MJ/kg) en het brandt met een intensieve niet-roetende vlam.

Een nadeel van het gebruik van hout als brandhout is de slechte hanteerbaarheid en de noodzaak de vuurhaard vaak bij te vullen. Bij grotere installaties, zoals die o.a. in de Scandinavische landen en Zwitserland in gebruik zijn bij scholen, ziekenhuizen enz. heeft men dit nadeel ondervangen door het hout te verspanen. Daardoor wordt het mogelijk de vuurhaard van een bunker uit automatisch van brandstof te voorzien [60, 70].

Sterkte-eigenschappen

In het voorgaande hebben wij gezien dat er een nauwe correlatie bestaat tussen sterkte-eigen-

¹⁾ Onderste verbrandingswaarde = de verbrandingswaarde zonder de condensatiewarmte van het bij de verbranding gevormde water.

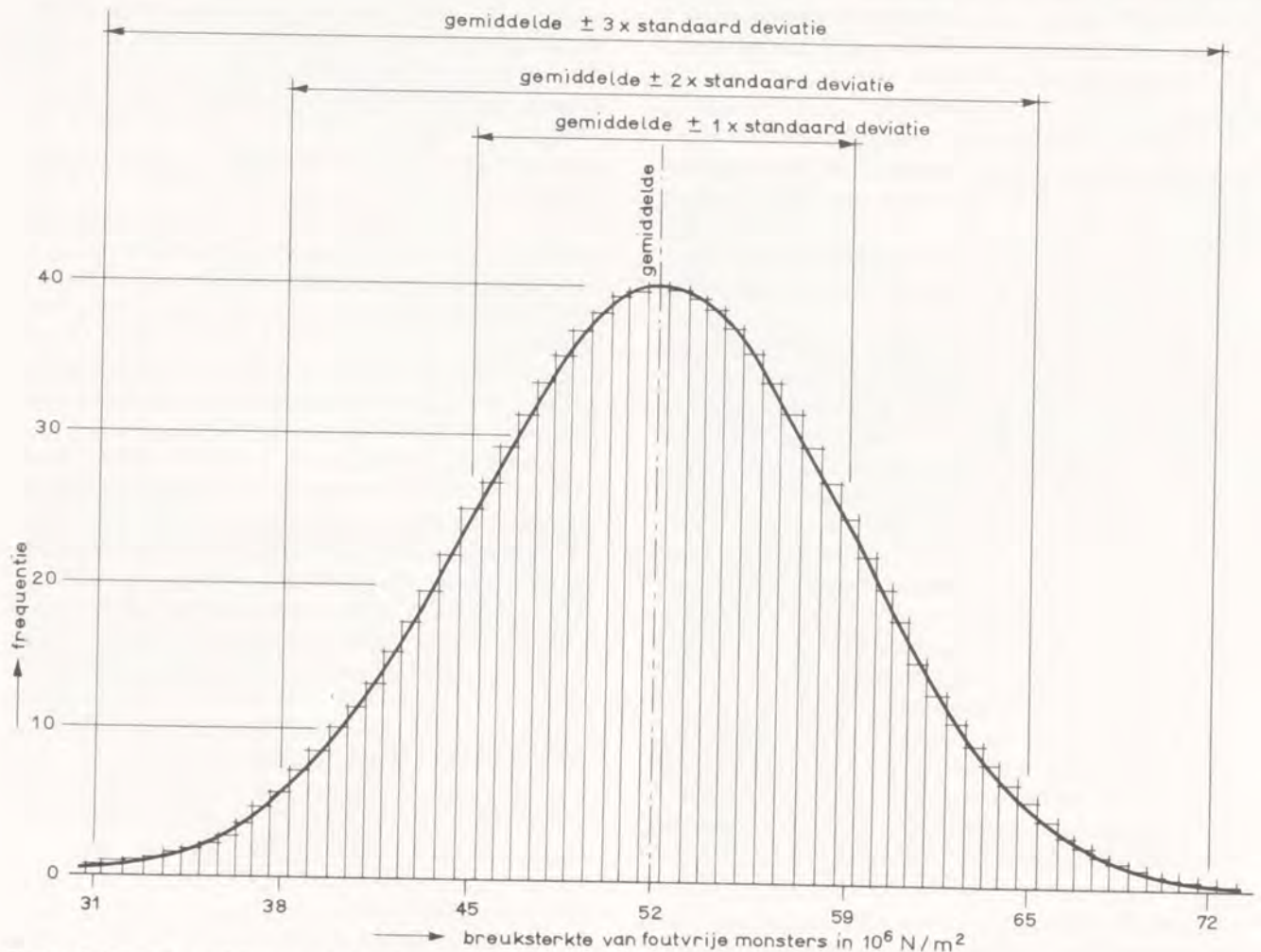
schappen en dichtheid. De zwaardere houtsoorten zijn zwaar door hun dikke celwanden en nauwe cel-lumina, bevatten minder poriën en zijn dus sterker. Wij hebben eveneens gezien dat het vochtgehalte een sterke invloed uitoefent. Bij dalend vochtgehalte nemen de meeste sterkte-eigenschappen in grootte toe.

Hout is daarbij ook anisotroop. De trek- en druksterkten zijn in de lengterichting aanmerkelijk groter dan in de richting dwars op de vezel. Tussen beide richtingen in vindt een geleidelijke overgang plaats. De grootste moeilijkheid is echter dat de eigenschappen van dit organische materiaal binnen wijde grenzen kunnen variëren, zelfs voor één houtsoort; men kan haast spreken van individualiteit. De cijfers variëren van boom tot boom afhankelijk van de groeiomstandigheden en zelfs binnen een boom afhankelijk van de plaats in de stam. Als voorbeeld van dit laatste kan de vorming van juveniel hout genoemd worden. Dit is hout dat dicht bij de kern van de boom is gevormd door het dan nog jonge cambium. Dit hout is korter van vezel, lichter en dunwandiger dan het later gevormde hout en is dus minder sterk. Naast deze variabiliteit worden nog belangrijke afwijkingen in sterkte veroorzaakt door fouten en gebreken die normaal in hout voorkomen, zoals noesten, scheef verloop van de vezels

t.o.v. de asrichting, scheuren en aantastingen door schimmels of insecten.

Sterkteproeven van hout worden in een laboratorium altijd gedaan met foutvrije monsters. De uitkomsten van een dergelijke reeks proeven vertonen in het ideale geval en bij een groot aantal monsters een beeld als in bijgaande Figuur 6.

Een dergelijke variatie in eigenschappen maakt het materiaal minder geschikt voor berekende constructies. Om risico van breuk te voorkomen zal de berekening moeten uitgaan van de geringste sterkte. Het sterkere materiaal zal dan echter ver beneden zijn sterkte worden belast. Dat betekent materiaalverspilling en een onnodig groot gewicht van de constructie. In de concurrentiestrijd met andere bouwmaterialen vormde deze onzekerheid, naast onbekendheid van andere eigenschappen, een groot nadeel. Een oplossing van dit variabiliteitsprobleem, inclusief de afwijkingen veroorzaakt door aanwezige gebreken, wordt gezocht door het hout te verdelen in een aantal kwaliteitsklassen met specifieke grenzen. Hiermee wordt een sortering op sterkte (stress-grading) bereikt. De indeling van een stuk hout in een bepaalde klasse geschiedt in de meeste landen door keuring op het oog en aan de hand van dichtheid en gebreken zoals noesten, scheef draadverloop, scheuren, rotplekken enz.



Figuur 6. Normale verdeling van de breuksterkte van 1000 foutvrije houtmonsters.

Tabel 1. Enkele eigenschappen van een aantal houtsoorten [59, 60 en 62]. Cijfers gebaseerd op een vochtgehalte van 12%

	Dichtheid kg/m ³	Volume- krimp van nat tot ovendroog %	Elastici- teitsmodu- lus in 10 ⁹ N/m ²	Buigsterk- te in 10 ⁶ N/m ²	Druksterk- te in 10 ⁶ N/m ² evenwijdig aan vezel	Druksterk- te in 10 ⁶ N/m ² loodrecht op vezel	Schuif- sterkte in 10 ⁶ N/m ²	Hardheid (Janka) in 10 ³ N evenwijdig aan vezel
Dennen	450	11,5	10	74	45	—	7	3,0
Amerikaans grenen	620	12,8	14	103	59	8,4	10,5	4,2
Europees grenen	520	12,1	12	100	55	7,7	10	3,0
Western hemlock	480	12,4	10,5	71	44	4,8	8	4,3
Vuren	470	11,9	11	78	50	5,8	6,5	2,7
Europese lariks	590	11,4	14	99	55	7,5	9	3,8
Oregon pine	510	11,9	11,5	79	47	6,5	8	3,2
California redwood	390	7,7	8	58	37	4,5	6,5	3,2
Azobé	1100	16,4	24	246	109	17,5	15	13,4
Beuken	720	17,9	16	123	62	9,5	8	7,8
Eiken	690	12,2	11,5	88	61	11,0	11	6,5
Essen	680	13,1	13,5	120	52	11,0	13	7,6
Iepen	680	13,2	11	89	56	10,0	7	6,4
Mahonie	600	8,6	8	65	50	10,0	10,5	7,0
Teak	670	9,4	13	148	72	26,0	8,5	4,5

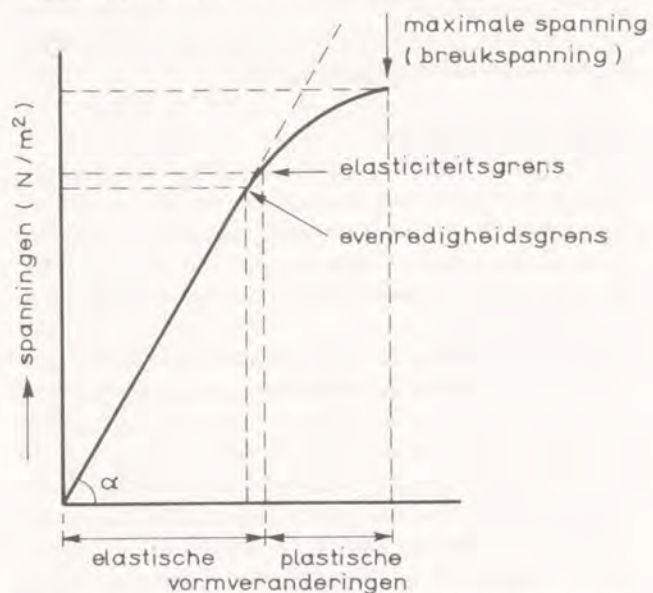
Voor Nederland is dit vastgelegd in de norm NEN 3180 (KVH 1970). Daarin worden twee klassen onderscheiden: standaard bouw hout en constructie hout. In de norm NEN 3852 (onderdeel van de Technische Grondslagen voor de berekening van bouwconstructies TGB 1972-Hout) worden voor een aantal houtsoorten de bij deze klassen behorende toelaatbare spanningen vermeld voor verschillende droogteklassen (vochtpercentagegroepen). In de Verenigde Staten en in Australië zijn machines ontwikkeld ter vervanging van de toch wel subjectieve keuring op het oog. Bij deze machines worden de houtstukken van een bepaalde maat stuk voor stuk getest en geclassificeerd naar elasticiteitsmodulus. Deze machines reageren echter niet op schoonheidsfouten, zodat een keuring op het oog toch nog nodig blijft.

De onderlinge verhouding van druk-, trek-, buig- en afschuifsterkte en elasticiteitsmodulus verschilt sterk met de houtsoort. Sommige houtsoorten die hoge druk en trek cijfers hebben, vertonen betrekkelijk lage buigsterkte cijfers. De afschuifsterkte is dan laag, doordat bepaalde weefsels in het hout in bepaalde overlans gerichte vlakken van het hout voorkomen.

Evenals andere materialen vertoont hout een vormverandering bij belasting. Bij geleidelijke toename van belasting neemt de vormverandering aanvankelijk nagenoeg evenredig met de belasting toe tot aan de zogenaamde evenredigheidsgrens. Daarna neemt de vormverandering sterker dan evenredig toe, totdat de breukgrens is bereikt. In Figuur 7 is het vormverandering van een proefbalkje onder belasting aangegeven. Sommige houtsoorten blijven na het passeren van de breukgrens in staat nog belasting op te nemen.

Tussen de evenredigheidsgrens en de breukgrens

wordt de elasticiteitsgrens gepasseerd. Wanneer beneden deze grens de belasting wordt weggenomen, keert na enige tijd het hout weer in zijn oorspronkelijke vorm terug. De oppervlakte onder de getekende curve geeft de arbeid aan die het proefstuk in staat was op te nemen en is daarmee een maat voor de combinatie van taaierheid en sterkte.



Figuur 7. Verband tussen spanning en vormverandering bij belasting van hout.

Kenmerkend voor hout is dat bij schokbelastingen veel hogere spanningen worden verdragen dan bij statische belastingen. In gebieden waar regelmatig aardbevingen voorkomen, is dit een belangrijk voordeel gebleken (o.a. bij de aardbeving in Alaska, 1964).

Een indruk van de orde van grootte van de diverse sterkte cijfers geeft Tabel 1.

Door onderzoek en de inventiviteit van vele houtconstructeurs zijn in de laatste decennia de beperkingen van hout als constructiemateriaal opgeheven. Hout is daarmee een modern en volwaardig bouw materiaal geworden [58, 67, 69, 71, 72]. Behalve aan een diepergaande kennis van de eigenschappen van hout is de vooruitgang te danken aan verbeterde lijmen, verbeterde verbindingsmiddelen en betere constructietechnieken. Met gelijmde vingerlassen is het mogelijk geworden houten elementen van praktisch onbeperkte lengte te vervaardigen. Deze lassen worden o.a. toegepast in gelamineerde spanten, waarbij verder door het op elkaar lijmen van een groot aantal lagen ook een praktisch onbeperkte dikte van spant of ligger kan worden verkregen. Een voordeel van deze constructiewijze is nog dat het materiaal homogener is geworden, fouten en gebreken zijn verdeeld over de gehele doorsnede en niet meer geconcentreerd. Het is mogelijk gebleken spanten met een overspanning van 120 m te bouwen.

Lijm wordt eveneens toegepast in schaaldaken; constructies bestaande uit een dunne dragende schaal. Verbeterde verbindingsmiddelen hebben vakwerkconstructies in vele vormen mogelijk gemaakt. Zeer gedurfde houtconstructies zijn dikwijls te vinden in tentoonstellingsgebouwen zoals op de Expo's in Brussel en Montreal en op de Olympiade in München.

Een voordeel van hout is dat het, bij hetzelfde gewicht, qua druk- en treksterkte staal kan overtreffen.

1.3. Chemische eigenschappen

Chemische samenstelling

De drie belangrijkste chemische bouwstenen van hout zijn cellulose, hemicellulosen en lignine. Naast deze drie bestaat er nog een groot aantal secundaire componenten, weliswaar met een kleiner aandeel, maar vaak wel karakteristiek voor een bepaalde houtsoort.

Het gehalte aan cellulose varieert van 40 tot 50 gewichtsprocenten van het ovendroge hout, het gehalte aan hemicellulosen schommelt tussen de 20 en 35% en het ligninegehalte ligt tussen 15 en 35%. In de gematigde streken heeft naaldhout een hoger ligninegehalte (27 tot 33%) dan loofhout (19 tot 24%), terwijl het tropische loofhout weer rijker is aan lignine en het naaldhout uit de gematigde streken nagenoeg evenaart.

De samenstelling van de hemicellulosen wijkt bij loofhout eveneens af van die bij naaldhout. Het gehalte in loofhout ligt dikwijls hoger dan in het naaldhout.

Het gehalte aan secundaire componenten kan van enkele procenten tot een hoogste waarde van ruim 30% oplopen.

De cellulose vormt het geraamte van de celwand en bepaalt daarmee (en doordat het nagenoeg de helft van de totale massa van het hout uitmaakt)

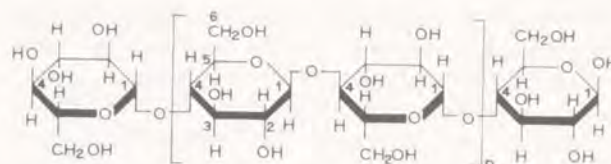
voor een belangrijk deel de eigenschappen van het geheel. Dit geraamte ligt ingebed in de massa van hemicellulosen en lignine.

Hieronder volgt een korte bespreking van eigenschappen van de belangrijkste elementen. Voor een diepgaande behandeling wordt verwezen naar de literatuur [59, 60, 70, 73, 74].

Cellulose

Cellulose is een in het plantenrijk zeer veel voorkomende verbinding.

Meestal komt het voor in gezelschap van lignine en hemicellulosen zoals in hout, een enkele keer komt het nagenoeg puur voor zoals in de katoenvezel. Als structuur wordt aangenomen dat het een polymeer is op basis van bèta-D-glucopyranose (D-glucose), dat via 1, 4' glucoside verbindingen tot rechte ketens is opgebouwd. De lengte van de keten is variabel, met een polymerisatiegraad tussen 5.000 en 10.000. De cellulose van verschillende plantaardige herkomsten blijkt steeds dezelfde opbouw te vertonen. De totale lengte van een dergelijke keten is 2,5 tot 5 nm. Het cellulosemolecuul vormt een lint dat door zijn koolstofbindingen sterk is. Het vertoont samenhang in de lengterichting en de talrijke hydroxylgroepen geven gelegenheid tot bindingen met andere ketens. Zie Figuur 8.



Figuur 8. Cellulose, opgebouwd uit D-glucose-resten.

Met röntgendiffractiemethoden is aangetoond dat de cellulosemoleculen in de levende plant zijn samengevoegd tot langgerekte bundels die een kristallijn karakter hebben: de elementaire fibrillen. Deze bestaan uit ongeveer 40 moleculen en hebben een gemiddelde diameter van 3,5 nm. In de celwand worden uit deze elementaire fibrillen en uit niet-kristallijn geordende cellulosemoleculen langgerekte bundels gevormd, de microfibrillen. Deze microfibrillen zijn rechthoekig van doorsnede, met afmetingen van 5–10 nm bij 10–30 nm en een lengte van enkele micrometers. Deze microfibrillen zijn daarom zichtbaar te maken met de elektronenmicroscop.

Het typische in de structuur van de microfibrillen is dat in deze langgerekte bundels afwisselend zones voorkomen die kristallijn en niet-kristallijn zijn. In het kristallijne gebied liggen celluloseketens en de elementaire fibrillen dicht tegen elkaar, zijdelings gebonden door hydroxylgroepen en door Van der Waalskrachten. In het niet-kristallijne gebied liggen de ketens veel losser, zodat poriën tussen de elementaire fibrillen voorkomen. Deze poriën kunnen zijn gevuld met lignine en hemicellulosen of kunnen open blijven. In het laatste geval kan daar

water binnendringen en daarmee aanleiding geven tot zwel- en krimpverschijnselen.

De microfibrillen liggen zij aan zij ingebed in een matrix van hemicellulosen en lignine en vormen op deze wijze de lagen waaruit een celwand is opgebouwd. Door de lange celluloseketens en de elementaire fibrillen, die ook nog weer zijdelingse bindingen hebben, kan het weefsel trekkrachten opnemen; de opgevulde matrix verhindert het zijdelings uitbuigen bij drukkrachten. In dit gehele celwandweefsel is tussen de verschillende fibrillen en tussen de lagen een fijn verdeeld netwerk van holten aanwezig, waar water en andere vloeistoffen kunnen binnendringen.

De cellulose zelf is een materiaal dat chemisch goed stabiel is en moeilijk wordt aangetast, zelfs niet door salpeterzuur, kali- of natronloog en vele andere zuren, basen en oplosmiddelen. Het kan worden opgelost in koperammoniumhydroxyde, geconcentreerd waterig zinkchloride, 70% zwavelzuur, 40% zoutzuur, en in enkele andere middelen. Doordat het in de celwand in de lignine is ingebed wordt het extra moeilijk aangetast. Bij de chemische verwerking van hout op cellulosevezel is deze stabiliteit een voordeel. Voor chemische processen waarbij de cellulose moet worden opgelost, is het nadelig en wordt het proces bemoeilijkt.

Hemicellulosen

De hemicellulosen vormen met de cellulose en de pectine het polysacharide deel van de celwand. Een exacte definitie van hemicellulosen is moeilijk te geven. In de regel definieert men ze als dat gedeelte van de polysachariden in hout dat zich (grotendeels) laat oplossen in verdunde basen en dat gemakkelijk hydrolyseert in verdunde zuren tot eenvoudige suikers en daarvan afgeleide zuren. De hemicellulosen kunnen worden onderscheiden in twee hoofdgroepen met ieder een groot aantal varianten. De ene groep, die van de xylanen, is ontstaan door polymerisatie van de anhydrische vorm van pentosen (vijfwaaardige suikers). De tweede groep is op soortgelijke wijze opgebouwd uit hexosen (zeswaardige suikers), zoals glucose en mannose. Hemicellulosen zijn opgebouwd uit matig vertakte ketens. De ketenlengten van de hemicellulosen zijn beperkt tot 150 tot 200 suikerbouwstenen. Dit is zeer klein in vergelijking met de cellulose. De hemicellulosen van loofhout en die van naaldhout zijn verwant, doch niet gelijk. Die van loofhout zijn veel soortenrijker en de soorten zijn gecompliceerder van bouw door grotere aantallen zijketens. Bij loofhout overwegen de pentosen, bij naaldhout overwegen de hexosen.

In tegenstelling tot loofhout, laten de hemicellulosen uit naaldhout zich niet met verdunde alkali uit het hout oplossen. Pas nadat de lignine is verwijderd, bijvoorbeeld met behulp van een zure chloriet oplossing, is het mogelijk met kaliumhydroxyde de hemicellulosen toch in oplossing te brengen.

Lignine

Lignine is het element dat bepalend is voor houtige planten. De naam is afgeleid van het latijnse 'lignum' (= hout). Lignine wordt ook door zaadplanten, varens en mossen gevormd, zonder de vorming van cellulose en hemicellulosen [75].

De lignine is in de celwand het bindmiddel voor de vorming en de versteviging van het cellulosegeeraamte, lignine werkt tevens waterafstotend. Doordat lignine en cellulose zo nauw contact met elkaar hebben en het ene element het ander als het ware omgeeft, is het moeilijk een van beide in oplossing te brengen zonder het andere te beschadigen. Men is het er nog niet over eens of in het hout misschien ook nog chemische bindingen tussen beide elementen bestaan. Lignine blijkt een kleurloze, volkomen amorfe substantie te zijn. De volgens de Björkman-methode met ethanol uit hout opgeloste lignine heeft een moleculair gewicht van ca. 11.000; de ontledingsprodukten van totale lignine duiden op veel hogere waarden. De oorspronkelijke in het hout aanwezige lignine is thermoplastisch. Van deze eigenschap wordt o.a. gebruik gemaakt bij de vervaardiging van hardboard. Deze plaatmaterialen worden vervaardigd zonder toevoeging van lijm. De lignine zorgt, als een soort natuurlijke lijm, voor de binding van de vezels tot een vaste plaat.

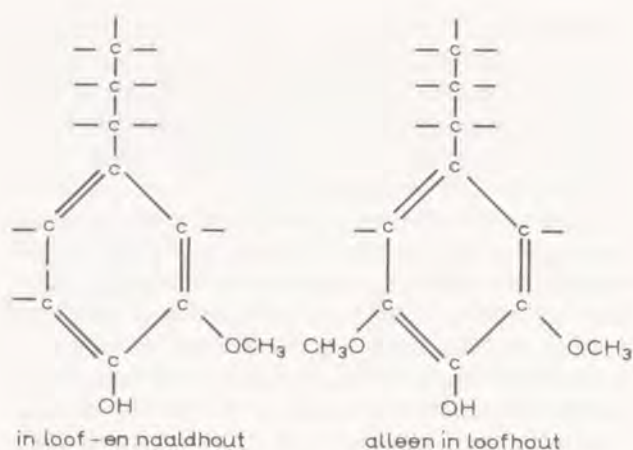
Het meeste structuuronderzoek is verricht aan naaldhoutlignine omdat in de afvaloplossing van de houtpulpbereiding volgens zowel het sulfaatprocédé (black liquor, Schwarzlauge) als het sulfietprocédé (white liquor, Sulfitablauge) een enorm reservoir aan grondstof voor verwerking tot chemicaliën aanwezig is. Naar schatting was in 1976 op de wereld in deze afvaloplossingen ongeveer 60-65 miljoen ton organisch materiaal aanwezig, waarvan 50-60% uit chemisch veranderde lignine bestond.

Uit de sulfietafvaloplossing worden al op kleine schaal produkten gewonnen; de afvalloog van het sulfaatprocédé, dat op het ogenblik het meest in de wereld wordt gebruikt, wordt grotendeels ingedikt en verbrand, zodat de organische bestanddelen als grondstof voor chemische omzettingen verloren gaan.

Het onderzoek naar de structuurformule van lignine heeft een groot aantal onderzoekers jarenlang bezig gehouden. Tussen naaldhout- en loofhoutlignine bestaat duidelijk verschil. Beide zijn vermoedelijk opgebouwd op basis van propylbenzeen (= fenypropaan) tot een sterk vertakt driedimensionaal polymeer. Naaldhout wordt gekenmerkt doordat aan de benzeengroep één methoxylgroep ($\text{CH}_3\text{O}-$) is gekoppeld tot de guaiacylgroep. Loofhout wordt gekenmerkt doordat in ongeveer dezelfde hoeveelheid als de guaiacylgroep, de syringylgroep met twee methoxylgroepen aan de benzeengroep voorkomt (zie Figuur 9).

Secondaire componenten

Deze bestanddelen behoren tot zeer verschillende



Figuur 9. Structuurbasis van lignine. De open bindingsplaatsen geven aan waar andere groepen of waterstofatomen zijn opgenomen bij de opbouw van het complexe ligninemolecuul.

groepen en kunnen zowel afkomstig zijn uit de celwanden als uit de celholten.

Onder deze componenten zijn er die as veroorzaken. Bij de houtsoorten uit de gematigde streken is dit niet meer dan 0,1 tot 0,5% van het ovendroog gewicht. In de tropen komen houtsoorten voor met een aanmerkelijk hoger gehalte. Ca-, K- en Mg-carbonaten, -fosfaten en -silicaten vormen in de regel het belangrijkste bestanddeel (ca. 70%) van het asgehalte. Bij sommige tropische houtsoorten komt ook silicium voor, met gehalten van meer van 0,5%. Deze houtsoorten maken zagen en schaven snel bot. Is bij een dergelijk gehalte de silicium ook nog regelmatig verdeeld over het hout, dan is het hout bestendig geworden tegen de paalworm in zee- en brakwater. De schelpjes waarmee deze wormen zich in het hout willen ingraven, stompen namelijk af op de harde kiezelkristallen.

Belangrijke nevenstoffen worden gevormd door de polyfenolen en de harsachtige stoffen. Tot deze laatste behoort de terpentijn, die door stoomdistillatie uit hout kan worden gewonnen, terwijl tot dezelfde groep de tall-olie behoort die uit de afvalloog van het sulfietpulpproces wordt verkregen en de colophonium. Tot de polyfenolen behoort een grote groep van o.a. kleur- en looistoffen die onder het onderwerp bosbijprodukten (Hoofdstuk II) zijn behandeld. De gehalten aan kleur- en looistoffen kunnen hoge waarden bereiken. Het Braziliaanse quebrachohout is een belangrijke looistofleverancier door zijn gehalte aan looistof van 20 tot 25%. Het Surinaamse walaba hout bevat ruim 30% extraheerbare kleurstof [58]. Vele van deze stoffen zijn vergiftig voor schimmels en insecten en bepalen daarmee de duurzaamheid van de houtsoort. De kleurstoffen geven de diverse houtsoorten hun kleur en daarmee in vele gevallen de mate van aantrekkelijkheid. Hetzelfde kan worden gezegd van sommige geurstoffen, waaronder etherische oliën, die daarnaast ook nog giftig zijn voor houtaantasters. Voorbeelden van deze geurstoffen zijn die van kamferhout, sandelhout, ceder, sigarenkist-

jeshout (Cedrela) en potlodenhout (Libocedrus en Juniperus) [62].

Bij de verwerking van bepaalde houtsoorten, bijvoorbeeld bij het zagen en vooral ook het schuren, kunnen sommige inhoudstoffen aandoeningen veroorzaken bij daarvoor gevoelige personen. De aandoeningen kunnen variëren: irritatie van de slijmvliezen, aantasting van de huid, hoofdpijn en hartkloppingen. Om deze redenen moeten sommige houtsoorten worden uitgesloten van verwerking, tenzij bepaalde voorzieningen worden getroffen.

Vele van de hierboven genoemde stoffen hebben een ingewikkelde structuur; bijna al deze stoffen bestaan niet uit één chemische verbinding, doch uit een mengsel van chemisch nauw verwante structuren [60].

Mogelijkheden van chemische verwerking van hout

Er zal beknopt worden ingegaan op de mogelijkheden van verwerking van deze zichzelf vernieuwende grondstoffenbron voor chemicaliën. Dit kan van belang worden omdat de huidige belangrijkste bron, aardolie, zal gaan afnemen. Hout en steenkool zullen te zijner tijd op zijn minst een gedeelte van de chemische grondstoffen voor de chemische industrie moeten gaan leveren en de chemische industrie zal zich geleidelijk op deze nieuwe basis moeten gaan richten. De olieprijs zullen echter nog sterk moeten stijgen voordat deze een directe aanleiding tot genoemde verandering zullen zijn. De diverse produkten die chemisch uit hout kunnen worden vervaardigd, berusten alle op min of meer vergaande ontleding van de grotendeels polymere bouwstenen van hout.

Het vrijmaken van de cellulose vindt plaats door oplossing van de bindende lignine. Het produkt, de houtpulp, is grondstof van de papierindustrie, de rayonindustrie, voor de vervaardiging van cellulosefoliën (cellofaan), voor 'non woven' textielachtige foliën en cellulosederivaten. Als afvalstof ontstaan daarbij oplossingen van lignine en hemicellulosen, waarvan sommige nu reeds worden verwerkt. Over andere mogelijkheden is nog veel onderzoek gaande.

De eigenlijke chemische ontleding wordt thans hoofdzakelijk op drie manieren bewerkstelligd, door pyrolyse, door hydrolyse met zuren van de cellulose en de hemicellulosen en door enzymatische afbraak van het polysaccharide deel.

Bij de pyrolyse, die nader zal worden behandeld in paragraaf 5, wordt het hout verhit onder afsluiting van de lucht. Naast houtskool (vooral uit de lignine) ontstaat er een groot aantal gasvormige produkten. Uit het condenseerbare deel van deze gassen kunnen produkten zoals methanol, aceton, azijnzuur en teer worden gewonnen. Het vluchtige deel kan worden verbrand of als brandstof voor gasmotoren dienen. In de Tweede Wereldoorlog werd van dit laatste op ruime schaal gebruik gemaakt voor de

aandrijving van auto's (de houtgasgenerator). Door het condenseerbare deel over gloeiende houtskool te leiden kan dat worden gekraakt tot o.a. waterstof en koolmonoxyde, waarmee de opbrengst aan brandbare gassen verder wordt opgevoerd. Na de oorlog zijn deze procédés verder ontwikkeld.

De hydrolyse met zuren van de cellulose en hemicellulosen zal nader worden besproken in paragraaf 4. Deze hydrolyse berustte oorspronkelijk op twee in Duitsland voor en tijdens de Tweede Wereldoorlog ontwikkelde procédés; deze werden echter later in andere landen zoals de V.S. en vooral in de U.S.S.R. en Japan verder uitgebouwd en verfijnd. Bij het ene procédé (Bergius-Rheinau) wordt de hydrolyse uitgevoerd met 40 procentig zoutzuur, bij het andere procédé (Scholler-Tornesch) geschiedt de hydrolyse met verdund zwavelzuur bij hoge temperatuur (140–180°C) en onder druk. Het rendement van beide procédés ontloopt elkaar niet veel. Uit 100 kg hout wordt 50–53 kg suiker gewonnen, alsmede ca. 30 kg lignine. De suikers worden vergist tot alcohol en geproduceerde gist kan als eiwitbron in veevoeder dienen. Na de oorlog bleken geen van deze industriën te kunnen concurreren met de riet- en bietsuikerindustrie. Uit autarkische overwegingen bleven Japan en vooral de Sovjet Unie de produktie en het onderzoek op grote schaal voortzetten.

De enzymatische hydrolyse is van later datum. Tegen het eind van de zestiger jaren werd met onderzoek begonnen o.a. in Canada, V.S., Japan, Zweden en Duitsland. Dit is nog steeds aan de gang. De enzymen die cellulose tot suikers afbreken, worden o.a. ontleend aan de bacterie *Trichoderma viridis*. In de V.S. is men reeds tot semi-industriële produktie gekomen. Er moet echter nog wel een aantal problemen worden overwonnen voordat toepassing op commerciële basis mogelijk zal zijn. Een van deze problemen is hoe de uit deze processen overblijvende lignine doelmatiger kan worden gebruikt (dit geldt ook voor hydrolyse met zuren). Uit de structuur van lignine volgt dat daaruit de volgende verbindingen zouden kunnen worden losgemaakt: fenolen, cyclohexanol, methanol en aromaten. Van deze groep zijn de fenolen waarschijnlijk het belangrijkste (fenol, cresol, pyrocatechol, ethylfenol, propylfenol enz.) als bouwstenen voor een groot aantal verbindingen.

De cyclohexanolen zouden kunnen worden verwerkt tot lichte en zwaardere oliën. Methanol is een bekend basisprodukt. De aromaten zouden kunnen worden omgezet tot verbindingen als vanilline, vanillinezuur, p-hydroxybenzoezuur, syringa-aldehyde, coniferyl-alcohol enz. Daarmee zouden vele produkten van de huidige chemische industrie kunnen worden vervangen. Helaas is het nog niet mogelijk deze verbindingen in enigzins zuivere vorm te verkrijgen. Men krijgt altijd een mengsel van nauw verwante, moeilijk te scheiden stoffen. De

toekomst zal moeten leren of voor deze problemen langs chemische of fysische weg of misschien langs microbiologisch-enzymatische weg oplossingen kunnen worden gevonden.

1.4. Verbetering van eigenschappen

Op allerlei wijzen wordt getracht het natuurprodukt hout beter geschikt te maken voor gebruik. Voor een aantal toepassingsgebieden zullen worden besproken:

- verbetering van de vorm;
- vermindering van het krimpen en zwellen;
- verbetering van een aantal sterkte-eigenschappen.

Verbetering van de vorm

In de ronde vorm van de stam is hout slechts beperkt bruikbaar, bijv. als heipaal, mast of paal. Verbindingen zijn moeilijk te construeren. Als afsluitend materiaal is het minder geschikt, al is de blokhut daarop een bekende uitzondering.

Het verzagen tot rechthoekige balken en planken is een eerste stap tot verbetering. Uit balken en planken kan men niet slechts houtconstructies maken, maar ook afdichtingen, zoals vloeren, wanden en beschietingen.

Een verdergaande verfijning vormen de verschillende soorten platen, zoals triplex-multiplex, vezelplaat en spaanplaat. Deze zijn zeer geschikt als afdichtmateriaal. Overal waar vraag was naar een vlak materiaal van flinke afmetingen, hebben deze materialen hun weg gevonden.

Een geheel andere verbetering van vorm is die waarbij hout wordt gebogen. Voorbeelden zijn ribben voor boten, hockeysticks, tennisrackets, handvatten voor wandelstokken en paraplu's, meubelonderdelen, duigen, vaten en spanten in grote overspanningen. Het hout kan worden gebogen in de massieve vorm of als gelaagd materiaal.

Om hout in massieve vorm te kunnen buigen, moet het gezond, rechtdradig en vrij van noesten zijn. Loofhout laat zich in het algemeen beter buigen dan naaldhout; vooral beuk, es, berk en eik zijn geschikt. Het hout moet voor het buigen worden gestoomd bij ongeveer 100°C gedurende 1 uur per duim (2,5 cm) houtdikte. De Weense meubelmaker Thonet was de eerste die ontdekte dat de buitenbocht van het materiaal in lengte gelijk moest blijven en dat de hele vervorming moest plaatsvinden door instuiking van de binnenbocht. Hij bereikte dit – en de techniek is in feite niet veranderd – door het te buigen stuk hout op te sluiten tussen twee eindstukken, die op afstand worden gehouden door een meebuigende metalen band langs de buitenbocht. Wanneer daarna het gebogen houtstuk wordt gedroogd en afgekoeld, behoudt het zijn gebogen vorm. Deze uitvinding was destijds de basis voor de industrie van gebogen Thonet meubelen [63]. Minder lang geleden heeft men getracht massief hout langs chemische weg te plastificeren, o.a. met

een geconcentreerde ureumoplossing of met vloeibare ammonia. Met beide middelen is het hout zeer plastisch te maken. Commerciële toepassing met deze middelen is nog niet gevonden [70].

Gebogen gelamineerd hout berust op de mogelijkheid lagen finer of dunne planken zonder voorbewerking tot zekere kromtestraal bij kamertemperatuur te buigen. De lagen of planken worden van lijm voorzien en gebogen op elkaar geklemd. In deze gebogen toestand hardt de lijm uit, zodat de gebogen vorm behouden blijft. Sommige lijmsoorten hebben voor uitharding echter wel warmte nodig. Gebogen hout behoudt zijn sterkte doordat geen vezels worden doorgesneden. Verder is er geen verlies door bewerkingsafval, de oppervlakte van het materiaal blijft glad en heeft weinig verdere bewerking nodig.

Vermindering van krimpen en zwellen

Deze lastige eigenschap is op verschillende manieren te beperken. In de eerste plaats door de keuze van de houtsoort.

Verdere beperking is mogelijk met triplex en multiplex. Door dunne lagen finer met de vezelrichtingen onderling loodrecht op elkaar te lijmen wordt de sterke krimp dwars op de vezelrichting afgeremd door de geringe krimp in de lengterichting van de buurlagen. Op deze wijze krijgt men een homogener produkt met gereduceerde krimp- en zweleigenschappen. Om scheluwtrekken te voorkomen, moet multiplex uit een oneven aantal lagen bestaan. De boven en onder de middelste laag gelegen fineerlagen houden elkaar dan in evenwicht. Een nog sterkere homogenisering heeft plaats gevonden in vezelplaat en spaanplaat. De vezels en de spaanders hebben geen bepaalde voorkeursrichting meer, maar komen willekeurig naar richting verspreid in de plaat voor.

De hierna te behandelen methoden om krimp en zwel tegen te gaan hebben een meer fysisch-chemisch karakter. Daarbij zijn in principe twee wegen mogelijk. Men kan voorkomen dat het hout water opneemt en daarmee de oorzaak van het krimpen en zwellen weg nemen of men kan het krimpen en zwellen binnen de celwand verhinderen, ongeacht de luchtvochtigheid.

Om te voorkomen dat het hout water opneemt, kan men het materiaal uitwendig of inwendig afdekken met verf en vernis en met waterafstotende middelen. Moderne vernissen en verven op alkydbasis, vooral wanneer aluminium als pigment wordt gebruikt, zijn bijna volledig waterdicht. Dit betekent dat, zij het zeer vertraagd, toch vocht opname plaatsvindt. Bij een langdurig verblijf in een omgeving met een hoger luchtvochtgehalte dan waarmee het hout in evenwicht is, zal het hout toch zwellen; omgekeerd zal het bij een laag luchtvochtgehalte krimpen. Bij een snel wisselend luchtvochtgehalte werkt deze verf vertragend; de schommelingen worden gedempt. Dit geldt zolang er geen scheurtjes in de verflaag ontstaan, bijv. doordat de

verflaag het herhaalde krimpen en zwellen van het onderliggende hout niet meer heeft kunnen volgen of door verwerking van de verflaag.

Inwendige afdekking van het hout kan geschieden met waterafstotende middelen, zoals bepaalde harsen, paraffine of drogende oliën, opgelost in een organisch middel, bijv. terpentijn. Meestal wordt aan deze middelen nog een verduurzamingsmiddel zoals pentachloorfenol toegevoegd. Deze middelen kunnen het hout niet zo volledig afdichten als uitwendige verflagen dat doen. In de praktijk dringen deze middelen op het radiale en tangentiale vlak slechts enkele mm's in, in de vezelrichting enkele cm's. Op deze wijze kunnen zij het binnendringen van vocht en daarmee het krimpen en zwellen slechts oppervlakkig verhinderen: zij beschermen wel de aan de oppervlakte gelegen verflagen tegen scheurvorming.

Men heeft ook getracht de hygroscopische eigenschappen van de houtvezel zelf te veranderen. Een effectieve methode is de langdurige verhitting. Bij een verhitting tot 255°C gedurende 24 uur, onder afsluiting van lucht, bereikt men een reductie van het krimpen en zwellen van 40%. Helaas gaat deze behandeling gepaard met belangrijke verliezen aan sterkte en vooral aan weerstand tegen afslijten (90%) zodat deze methode praktisch niet wordt toegepast [59].

Een andere methode zou zijn de polaire -OH groepen opzij van de cellulose ketens, die verantwoordelijk zijn voor de aantrekkingskracht op water, met waterstof te reduceren. Helaas worden andere elementen van de bouwstenen van hout ook door hydrering veranderd. Volgens een andere chemische methode tracht men met formaldehyde bepaalde dwarsverbindingen tot stand te brengen tussen de moleculen die een celwand opbouwen. Dergelijke dwarsverbindingen belemmeren de wateropname. Met de middelen die tot nu toe zijn beproefd, is het resultaat weinig afdoende. Bij katoenvezel en ook in papier voldoet deze methode al beter.

Meer effect wordt bereikt met middelen die het krimpen en zwellen van de celwandmassa verhinderen. In principe wordt dit bereikt door het hout in maximaal gezwollen toestand te dompelen in een geconcentreerde waterige oplossing van een chemische verbinding met zeer grote moleculen. Deze moleculen diffunderen dan in het hout tot in de fijne kanaaltjes tussen de fibrillen en micellen in de celwand. Door de concentratie buiten het hout op peil te houden kan een nagenoeg volledige vervanging van de watermoleculen in deze kanaaltjes worden bereikt. Krimpen is daarna niet meer mogelijk doordat de grote moleculen deze kanaaltjes volledig opvullen. Tot nu toe is polyethyleenglycol met een moleculair gewicht van ca. 1.000 in een 30%-ige oplossing het meest effectief gebleken. Ook hier dringt deze stof gemakkelijker binnen in de vezelrichting dan dwars er op. Bij grote voorwerpen duurt het lange tijd voordat een volle-

dige indringing is bereikt. Daarom wordt deze methode voornamelijk toegepast voor kleine kunstvoorwerpen.

Deze methode is ook zeer geschikt voor restauratie van houten voorwerpen die lange tijd onder water hebben gelegen. Een bekend voorbeeld is de restauratie van het Zweedse oorlogsschip *Wasa*, dat op zijn 'maiden trip' in 1628 kapseisde en zonk in de baai van Stockholm en in 1961 werd gelicht. De behandeling met een polyethyleenglycol-oplossing van dit eikenhouten schip met grenen masten duurt reeds jaren lang in de verwachting daarmee toekomstige scheurvorming en krimp te voorkomen.

Een verwante mogelijkheid is dat men een in water oplosbaar geschikt monomeer, precondensaat of voorpolymeer in het hout laat diffunderen en het dan door verwarming of bestraling in tegenwoordigheid van een geschikte katalysator laat polymeriseren; fenolformaldehyde wordt het meest toegepast. Ook hier gaat de binnendringing het beste in dunne voorwerpen. Indien dikkere voorwerpen moeten worden behandeld, worden deze liefst opgebouwd uit lagen finer die van te voren zijn geïmpregneerd. In de Amerikaanse literatuur is dit materiaal bekend onder de naam 'Impreg'. Het wordt o.a. toegepast voor de persvormen voor carosse-riën in de autoindustrie.

Door de behandeling met polyethyleenglycol veranderen de sterkte-eigenschappen van het hout slechts weinig; de behandeling met fenolformaldehyde veroorzaakt een gering verlies in treksterkte, een toename van de druksterkte en geen verandering in de buigsterkte. Beide behandelingen maken het hout veel duurzamer doordat er voor een groot aantal bacteriën en schimmels te weinig water in zit.

Impreg is duidelijk beter bestand tegen hoge temperatuur dan gewoon hout. Bij proeven bleek het 50 cycli van verhitting tot 205°C en afkoeling zonder enige schade te verdragen [73].

Een nadeel voor een aantal toepassingen is het grote verlies in taatheid en slagsterkte.

Verbetering van de sterkte-eigenschappen

Een aantal sterkte-eigenschappen kan worden verbeterd door het hout met bepaalde middelen te impregneren en deze middelen daarna te laten uitharden. Zo'n verbetering wordt ook bereikt door het hout te verdichten, maar zodanig dat de vezelstructuur niet wordt beschadigd. Beide methoden kunnen worden gecombineerd. Doorgaans worden hardheid en druksterkte het meest beïnvloed.

Een van de eerste middelen waarmee voor dit doel werd geïmpregneerd, was een metaallegering van bismuth, lood en tin, met een smeltpunt lager dan 100°C.

Op deze wijze geïmpregneerd hout is toegepast in schroefaslagers van Duitse schepen in de Tweede Wereldoorlog ter vervanging van pookhout.

Verdichting van het hout bestaat voornamelijk uit het grotendeels dichtdrukken van de celholten. Dit is zonder schade aan de vezels slechts mogelijk indien het hout eerst voldoende plastisch wordt gemaakt door een combinatie van hoge vochtigheid en hoge temperatuur en enkele chemicaliën.

Om terugveren naar de oorspronkelijke vorm te voorkomen, is het nodig de verdichting uit te voeren bij het vochtgehalte dat het materiaal later bij gebruik zal gaan aannemen. Het plastisch maken moet dan voornamelijk in een temperatuurverhoging worden gezocht. Ook hieraan zijn echter grenzen gesteld. Bij verhitting boven 160°C zal, vooral bij aanwezigheid van zuurstof het hout reeds aanmerkelijk aan taatheid verliezen. Een gunstig temperatuurgebied ligt tussen 125° en 160°C, aangezien de lignine reeds boven 125°C sterk plastisch wordt. Om de verdamping van vocht uit de kopse einden te voorkomen, moet de druk, voordat het kookpunt van water is bereikt, snel worden opgevoerd tot de halve eindwaarde. Daardoor wordt het vocht grotendeels ingesloten. Daarna kan de temperatuur worden opgevoerd tot boven de 125°C en de druk worden opgevoerd tot de einddruk van $15 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, die afhankelijk van de houtdikte voldoende lang wordt aangehouden (minstens 30 min. voor duims hout). Het hout moet hierbij ook zijdelings worden opgesloten om uitwijken in deze richting te voorkomen. Na de verdichtingsperiode moet het hout onder druk afkoelen tot beneden de 100°C om vervorming te voorkomen. Loofhout voldoet voor deze bewerking beter dan naaldhout. Men bereikt met dit proces dat de dichtheid wordt verdubbeld tot een maximum van 1,3–1,4 t/m³. De meeste sterktewaarden zijn eveneens nagenoeg verdubbeld met uitzondering van de buigslagsterkte die ongeveer gelijk blijft. Het materiaal laat zich mooi glanzend afwerken en met metaalbewerkingsgereedschappen (afgesteld op lage snijsnelheden) snijden, boren en frezen.

In Duitsland en enkele andere West Europese landen staat dit materiaal bekend als 'lignostone', in de V.S. als 'staypak'. Het werd en wordt gebruikt bij de fabricage van weefspoelen en slaglatten in de textielindustrie, voor houten hamers, voor mallen en voor gereedschapsstelen.

In het algemeen zijn dit toepassingen waarbij, naast sterkte en taatheid, hardheid en een glad oppervlak een rol spelen. De afzetmarkt is echter duidelijk beperkt.

Recent zijn methoden ontwikkeld om het hout slechts oppervlakkig te verdichten. Het wordt dan gedurende zeer korte tijd tot 260°C verhit, verdicht en daarna afgekoeld. Door de zeer korte tijd van inwerking van de hoge temperatuur wordt slechts een oppervlaktelaag van enkele mm diep voldoende plastisch om te kunnen worden verdicht. Dit materiaal lijkt aantrekkelijk voor toepassingen waar een grote oppervlaktehardheid wordt vereist zoals bij parketvloeren.

Een combinatie van impregnering met monomeren of voorgepolymeriseerde stoffen, die later in het hout worden gepolymeriseerd en verdichting van het hout levert een materiaal op met vergelijkbare eigenschappen als lignostone en staypak. Alleen de buigslagsterkte ligt belangrijk lager. Bij dit gecombineerde proces wordt in de regel niet met massief hout gewerkt doch met lagen fineer. De dunne fineerlagen laten zich beter impregneren dan massief hout. De geïmpregneerde fineer kan dan, in de regel zonder toevoeging van lijm, tot massief materiaal worden samengeperst en verdicht. Voor de impregneerbehandeling wordt vooral fenolformaldehyde gebruikt; het gebruik van methylmetacrylaat is nog in beproeving. In de laatste wereldoorlog is dit materiaal gebruikt voor houten propellers voor vliegtuigen en schroefaslagers voor schepen.

2. Gebruik heden ten dage

door ir. N.A. den Hartog

2.1. Historisch overzicht

Hout is één van de eerste door de mens gebruikte materialen geweest, hetgeen nu nog blijkt uit het gebruik dat primitieve volken er van maken [76, 77]. De belangrijkste redenen hiervoor zijn de gemakkelijke bewerkbaarheid en de gemakkelijke beschikbaarheid van hout, het voor sommige doeleinden bruikbaar zijn in de vorm waarin het is gegroeid en daarnaast de grote verspreiding die het bos op aarde heeft. In dit bos komen vele verschillende houtsoorten voor met verschillende eigenschappen. Daardoor is een keuze mogelijk om aan bepaalde wensen te voldoen.

Het gebruik als brandhout is misschien wel het alleroudste en is nog steeds één van de belangrijkste. De toepassingsmogelijkheden van hout groeiden mee met de ontwikkeling van de gereedschappen waarmee het werd bewerkt [77, 78].

De primitieve mensen, zoals die in Nederland leefden gedurende en kort na de laatste ijstijd, gebruikten vuurstenen snijgereedschappen en bewerkten het hout vooral met schuren, slijpen en polijsten. Deze bewerkingen werden ook voor het stenen gereedschap gebruikt. De schachten van de pijlen werden bijv. rond geslepen en gepolijst.

Men leefde in woonkuilen in de grond, afgedicht met een laag ronde stammetjes met daarover plagen en aarde. In latere eeuwen werden soms palissade-achtige wanden van overlans gespleten stammetjes met vlechtwerk, al of niet dichtgesmeerd met leem, toegepast. Laatstgenoemde constructie vindt men nu nog wel in oudere bijgebouwen van boerderijen in West- en Midden Europa. Hout is vergankelijk, zeker in contact met de grond. Oudheidkundige vondsten in hout zijn toevallig

bewaard gebleven in veen of onder water.

Met de verdergaande ontwikkeling van het gereedschap in het latere steentijdperk en vervolgens de bronstijd en de oude ijzertijd neemt de diversiteit van houten voorwerpen reeds toe. Naast wapens en schilden zijn bij opgravingen herhaaldelijk sieraden, huishoudelijke artikelen, zoals kommen, schalen en lepels, gevonden. De huizen gaan steeds meer de huidige vormen aannemen. De wanden werden soms in blokhuisstechniek gebouwd.

Als vervoermiddel te water werden vloten gebruikt; boten werden vervaardigd uit een boomstam die met behulp van vuur werd uitgehold.

Naast bijl, dissel en handboor is de bronzen handzaag tot ontwikkeling gekomen. Op het land werden reeds houten wagens gebruikt, aanvankelijk met massieve schijfwielen, later met spaakwielen. In de Romeinse tijd bereikt het houtgebruik in Europa een zeer grote omvang met een zeer grote verscheidenheid van toepassingen. De huizen werden groter en veelzijdiger, zoals blijkt uit de gevonden resten van boerenhoeven en castella. Er werden grotere schepen gebouwd van 70m lang bij 20m breed en voorzien van kiel en spanten. Het aantal gebruiksvoorwerpen was groot en de keuze van bepaalde houtsoorten voor speciale doeleinden geschiedde bewuster. Uit deze periode dateert de oudste vondst van een schaaft.

Een hoogtepunt in de toepassing van hout werd in Midden- en West-Europa bereikt bij de volksstammen die het Romeinse Rijk ten val brachten. Deze volken brachten prachtig bewerkte voorwerpen mee. Bewijzen van een hoog ontwikkelde meubelmakerskunst en vooral van ornamentieke houtbewerking zijn gevonden in grafmonumenten en tempels. Daarnaast bleek ook de scheepsbouw reeds een hoge ontwikkeling te hebben bereikt, waardoor voor de Angelen en Saksen de oversteek op grote schaal naar Engeland mogelijk werd. Vooral moeten worden vermeld de prachtig gevormde en versierde Vikingschepen, waarvan voorbeelden in de musea in Noorwegen en Denemarken zijn te vinden. Met zulke schepen bleek het zelfs mogelijk de oceaan over te steken. Deze houtcultuur heeft nog tot diep in de Middeleeuwen haar invloed laten gelden. De nu nog in Noorwegen aanwezige 'Stavkirken' zijn daar voorbeelden van.

Over de ontwikkeling van het houtgebruik na deze beginperiode is veel meer bekend. Opvallend blijft nog lange tijd de rijke versiering die vele vaartuigen, voertuigen en gebruiksvoorwerpen kregen. De toepassingen van hout werden in de periode tot aan het industriële tijdperk steeds uitgebreider en rijker en was dusdanig verweven met het culturele patroon dat een korte samenvatting niet mogelijk is. Daarom moet worden verwezen naar de bestaande literatuur over de diverse toepassingsgebieden, zie het 1e en 2e deel van Boerhave Beekman [77] en de daarin vervatte literatuuropgaven.

Het hedendaagse houtgebruik stoelt vanzelfsprekend op het gebruik in het voorafgaande tijdperk. Wel heeft het industriële tijdperk grote verschuivingen teweeggebracht, vooral samenhangend met de schaalvergroting.

Verschuivingen in de hoeveelheden die voor bepaalde toepassingen worden gebruikt, komen regelmatig voor. Voor een groot aantal toepassingen staat hout in concurrentie met andere materialen. De mate van technische geschiktheid, de prijs van het materiaal bij aanschaf en omgerekend per jaar over de levensduur, montage- en plaatsingskosten, onderhoudskosten, de beschikbaarheid en soms ook politieke overwegingen spelen bij de keuze van een bepaald materiaal een rol naast persoonlijke voorkeur.

Modeverschijnselen spelen ook een rol. De keuze van houtsoorten en de toepassing in meubels, binnenbetimmeringen, parket en soortgelijke toepassingen zijn hieraan onderworpen.

Evenzo kunnen technische ontwikkelingen een rol spelen; zo werd mijnhout door veranderde winningsmethoden in de ondergrondse kolenwinning overbodig. Een soortgelijke ontwikkeling heeft plaats gehad bij het brandhout in de westerse industrielanden. Tot aan de opkomst van steenkool was hout de belangrijkste energiebron zowel voor huisverwarming als voor industrieel gebruik. De glasindustrie en de zoutziederijen zijn beruchte voorbeelden, omdat daarvoor gehele landstroken werden ontbost. Na de komst van de steenkool werd het brandhout het eerst verdrongen in het industriegebruik en in de steden. Op het platteland kon het zich in het kader van de zelfvoorziening nog lang handhaven. Na een moeilijke overgangperiode kon voor het vroegere brandhout nieuw emploi worden gevonden in de papier-, en houtplatenindustrie.

De sterke concurrentie heeft voor de toepassingsmogelijkheden van hout- en houtprodukten ook gunstige gevolgen gehad. De concurrentie dwong tot inventiviteit in het zoeken naar nieuwe gebruiksmogelijkheden, tot onderzoek en betere kennis van de eigenschappen en de verbetering van deze eigenschappen. Het gevolg is geweest dat het totale houtgebruik steeds is gestegen, al heeft op sommige terreinen vervanging door andere materialen plaats gevonden. Meestal was het gevolg van zo'n vervanging dat in plaats van in een laagwaardig produkt, zoals brandhout en mijnhout, het hout zich een plaats kon verwerven in een hoogwaardiger, arbeidsintensiever produkt, zoals bijvoorbeeld in papier- en plaatmaterialen.

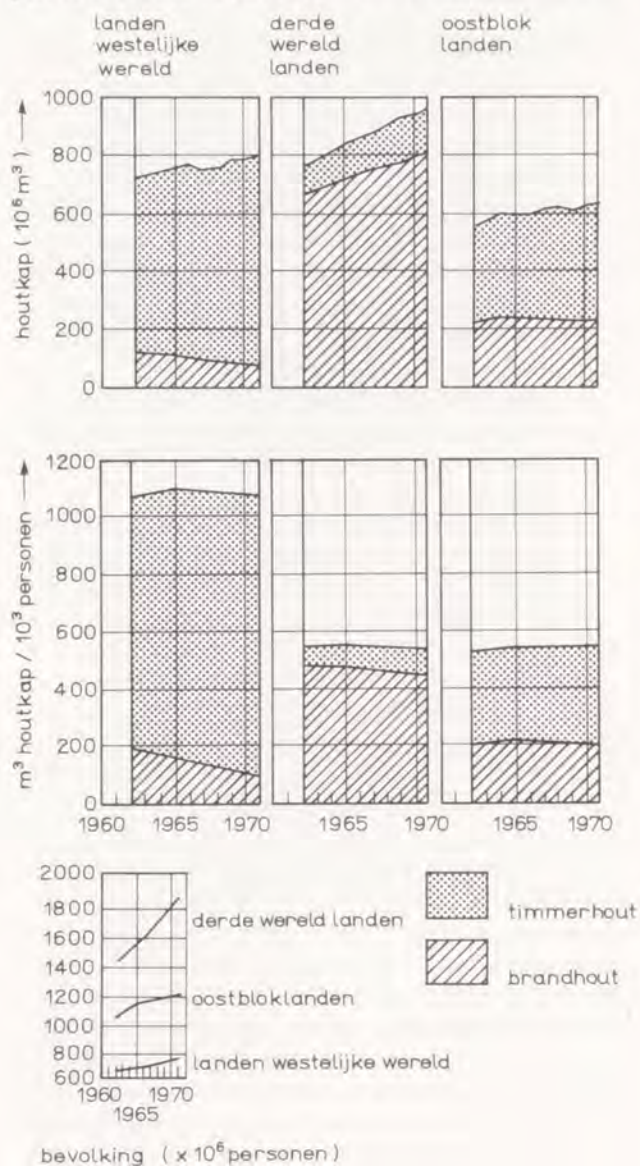
Wel moet worden gezegd dat betrokkenen uit de wereld van de houtbewerking en verwerking zelf nogal eens twijfelen aan het concurrentievermogen van hun produkten. Bovendien geeft de houtindustrie, met uitzondering van de pulp- en papierindustrie, minder uit voor onderzoek, ontwikkeling en propaganda dan de leveranciers van concurrerende materialen. De onderzoekstaak is vaak voor

een belangrijk deel overgenomen door overheidsinstellingen en de machine-industrie.

2.2. Houtgebruik

Aangezien hout bij doelmatig bosbeheer een zichzelf vernieuwende grondstof is, is te verwachten dat hout nog lang op grote schaal zal worden gebruikt. Deze verwachting wordt gesteund door het feit dat voor produktie van houtige materialen gewoonlijk veel minder energie nodig is dan voor vele andere materialen, zoals staal, aluminium en cement. De grotere energiebehoefte voor de laatste kan aanleiding geven tot relatieve prijsstijgingen en schaarste [79].

Zoals in Hoofdstuk II reeds is besproken, wordt nagenoeg de helft van al het gekapte hout als brandhout gebruikt. Hierbij moet nog worden bedacht dat de kap in boerenbossen, weg- en erfbeplantingen moeilijk te registreren valt. De betekenis van



Figuur 10. Ontwikkeling houtkap; aandeel timmerhout en brandhout van Westerse Wereld-, Derde Wereld- en Oostbloklanden; boven: absolute waarden; midden: per 10^3 inwoners; onder: bevolkingsontwikkeling [80].

brandhout en de daarvan afgeleide houtskool als energiebron, varieert zeer in de verschillende delen van de wereld. Zoals uit Figuur 10 blijkt gebruikten de westerse industrielanden in 1970 ongeveer 8% van de houtkap als brandhout, tegen de ontwikkelingslanden 80% en de Oostbloklanden ongeveer 33%.

De FAO verwacht tot de eeuwwisseling nog een toename van ca. 40% in het verbruik van brandhout, die geheel voor rekening van de ontwikkelingslanden zou komen [81]. In deze landen dienen brandhout en houtskool in de eerste plaats voor het koken van voedsel. In vele van hun dichtbevolkte streken is brandhout een schaars artikel geworden met als gevolg dat in die streken de nog bestaande bossen worden bedreigd door houtdiefstal. In vele streken is men ook al overgegaan tot het gebruik van mestkoeken als brandstof, terwijl op sommige plaatsen rijst- en graanstro als zodanig dienst doen.

Hier zijn enkele woorden over het stookrendement op hun plaats. Koken op een open houtvuur levert een bar slecht rendement. Van de 18 MJ per kg droog hout komt maar 2 tot hoogstens 10% nuttig in de kookpot terecht. Daarentegen kan met een goede oven ca. 40% rendement worden bereikt en grote industriële fornuizen met goede isolatie, warmtewisselaars en primaire plus secundaire verbrandingszones kunnen tot 90% nuttige warmte afleveren [82].

Voortbouwend op het in de Tweede Wereldoorlog in vele Nederlandse huishoudens gebruikte kookkachel (Majo) is door de TH Eindhoven een eenvoudig te construeren kachel ontworpen, speciaal voor kookdoeleinden in brandstofarme ontwikkelingsgebieden [83]. In dit kachel kan alles wat brandbaar is, worden vertoekt, waarbij een rendement van ruim 30% haalbaar is.

In de Oostbloklanden kan worden verwacht dat de hoeveelheid huishoudelijk verbruikt brandhout zal afnemen. Of dit ook voor industrieel gebruik volledig het geval zal zijn, moet worden afgewacht. Tot aan het einde der zestiger jaren werden aldaar namelijk nagenoeg alle machines, inclusief trekkers en vellingmotorzagen in de bosexploitatie, elektrisch aangedreven. De stroom werd opgewekt door aggregaten met houtgas als brandstof. De trekkers en motorzagen sleepten een kabel achter zich aan voor de stroomvoorziening. Dit werd later te omslachtig gevonden en men ging over op diesel- en benzinemotoren. Het is niet uitgesloten dat bij schaars worden van vloeibare brandstof men zal teruggaan naar het oude systeem.

Naast het gebruik als energieleverancier kan het gebruik van hout in twee hoofdgroepen worden gesplitst, nl. het gebruik van hout waarbij de structuur

niet wordt veranderd en dat waarbij dit wel geschiedt. Onder de laatste groep vallen de toepassingen in de papierindustrie en de industrie voor de chemische verwerking van hout. Deze worden verderop in dit hoofdstuk besproken.

De toepassingen van hout met behoud van zijn structuur kunnen in een aantal ondergroepen worden verdeeld, die hierna zullen worden besproken:

- het gebruik in ronde vorm, zoals palen, masten en mijnhout;
- het gebruik in weinig bewerkte vorm, zoals dwarsliggers;
- het gebruik van hout om het te verzagen en het aansluitend gebruik van het verzaagde hout;
- het gebruik van hout als basis voor de vervaardiging van plaatmaterialen.

Ieder van deze toepassingen stelt zijn eigen eisen aan de grondstof hout [80,84,85].

Hout in ronde vorm

Voorbeelden van het gebruik in ronde vorm zijn telefoon- en elektriciteitsmasten, heipalen, mijnhout en - typisch voor Nederland - de perkoenpaaltjes van de waterbouw. Het gebruik van mijnhout neemt sterk af als gevolg van andere mijnbouwsystemen. Heipalen ondervinden sterke concurrentie van betonnen palen; lange houten palen worden niet meer gebruikt.

De gebruikers van het hout in ronde vorm, zoals heipalen en masten stellen, omdat het hout in dit geval een dragende functie heeft, hoge eisen aan de rechtheid van de stam. Daarnaast moeten de stammen weinig afname in diameter vertonen, z.g. volhoutig zijn.

Het draadverloop moet eveneens nagenoeg recht zijn om te voorkomen dat bij wisseling in vochtgehalte verdraaiingen aan de top van masten optreden. De dikte- en lengte-afmetingen worden uitgezocht afhankelijk van het doel. Aan de noestigheid worden geringere eisen gesteld.

De FAO verwacht dat het gebruik van hout in ronde vorm in de industrielanden zal afnemen, in de landen met centraal geleide economie ongeveer stationnair zal blijven en in de ontwikkelingslanden zal toenemen en in totaal tot het jaar 2000 op een peil van ongeveer 200 miljoen m³ per jaar zal blijven [86, 87].

Voor het mijnhout stelt men ook voornamelijk eisen aan de rechtheid. Daarnaast moet het gezond zijn en niet al te veel noesten bevatten.

Het weinig bewerkte hout

Een veel gebruikte en weinig bewerkte vorm is die van de dwarsligger voor de spoorwegen. In de regel worden hiervoor houtsoorten gebruikt die lokaal te verkrijgen zijn en zich goed laten verduurzamen. In Frankrijk worden beuken en eiken liggers gebruikt, in Zweden grenen. De houten ligger ondervindt de laatste jaren concurrentie van voorgespannen betonnen liggers. De spoorwegen in de gehele wereld liggen op ongeveer 3 miljard dwarsliggers, waar-

van ongeveer 85% van hout. Deze hoeveelheid liggers is vervaardigd uit ongeveer 500 miljoen m³. Het weinig bewerkte hout wordt meestal vervaardigd uit stamstukken met kleine diameters. Aan de rechtheid worden slechts eisen gesteld over de kleine lengte van zo'n ligger. Uit de stamdikte moeten een of twee liggers kunnen worden gehaald. Aan de noestigheid worden bepaalde eisen gesteld. Omdat dwarsliggers bijna altijd worden geïmpregneerd, wordt het moeilijk impregneerbare kernhout afhankelijk van de houtsoort al of niet geaccepteerd.

De FAO verwacht voor Europa een lichte daling in het gebruik van hout voor dit doel en een ongeveer gelijkblijvende hoeveelheid gerekend voor de hele wereld. Dwarsliggers worden in den regel vervaardigd uit rondhout van geringere kwaliteiten en vormen als zodanig een belangrijke afzetmarkt, vooral voor beuk.

In Tabel 2 zijn de eisen samengevat die overige grote gebruikers stellen. Al deze gebruikers trachten een zo hoog mogelijk rendement, dus zo min mogelijk afval te bereiken.

Tabel 2. Eisen die diverse gebruikers aan stamhout stellen [78, 79, 80].

	Zaagindustrie	Schilfineerindustrie	Snijfineerindustrie	Spaanplaat-, Vezelplaat-, Papier-, Chemische industrie
Rechtheid	ook het lange hout moet recht zijn	korte stamstukken moeten recht zijn	als voren, iets langere stukken	weinig eisen, het moet in de verspaningsmachine passen
Lengte van stamstukken	4 tot 8 m (min. 2,4 m)	1,3 tot 2,5 m (min. 0,6 m)	2 tot 5 m (min. 1,6 m)	1 m en meer (min. 0,6 m)
Diameter	30 cm en meer	40 cm en meer	40 cm en meer	ca. 10 cm en meer (dunner heeft hoog schorspercentage)
Jaarring, breedte en gelijkmatigheid	bij naaldhout, zo gelijkmatig mogelijk en niet te breed; eik idem; wanneer grote sterkte is gewenst, bij eik en es brede ringen gewenst	geen eisen	bij ringporig hout en naaldhout smalle jaar-ringen gewenst, overigens van weinig belang	weinig eisen
Kleur en structuur	weinig, geen vlekke- righeid	weinig, geen vlekke- righeid	zeer hoge eisen, ook speciale structuur en tekening	weinig eisen
Bewerkings-(snij-)richting	variabel, afhankelijk van kwaliteit en kosten	perifeer	variabel, afhankelijk van gewenste tekening	hoofdzakelijk in langs-richting, niet scherp bepaald
Plaatselijke gebreken grotere noest of scheur	parallel aan snede weinig eisen, dwars daarop hoge eisen	dicht bij merg weinig eisen, daarbuiten wel eisen	parallel aan snede weinig eisen, dwars daarop hoge eisen	praktisch geen eisen
Rondheid	binnen bepaalde grenzen geringe eisen	hoge eisen	binnen bepaalde grenzen geringe eisen	geen eisen

Zaaghout en zaaghoutprodukten

Zaaghout wordt voor een zeer groot deel als zodanig gebruikt, maar het is ook voor een aantal bedrijven een grondstof die verder wordt bewerkt. Voorbeelden zijn voorgefabriceerde huizen, gelijmde spanten en andere grote houtconstructies, meubels, parket, houten speelgoed en muziekinstrumenten.

Bij het verzagen wordt de ronde stam verdeeld in stukken hout met rechthoekige vormen, zoals bal-

ken en planken. De afgeronde kanten afkomstig van de buitenkant van de boom worden in een tweede gang, het kantrechten, verwijderd.

Schilfineer is de grondstof voor triplex, multiplex enz. De fabricage vindt plaats door een stamstuk tussen twee klauwen te klemmen, die de stam tegen een mes indraaien. Dit mes schilt dan spiraalsgewijze de stam af in een lang lint, dat verderop in stukken op maat wordt gesneden en gedroogd. Uit deze wijze van vervaardiging is de hoge eis betref-

fende de rondheid van de stam te verklaren. Snijfineer wordt gebruikt als deklaag op een ondergrond van multiplex of spaanplaat voor meubels, binnenbetimmeringen e.d. Aangezien de functie bij deze toepassingen zuiver esthetisch is, zijn de eisen daaromtrent aan de stammen dan ook zeer hoog; dit komt ook in de prijs tot uiting. Ter illustratie van dit laatste kan worden vermeld dat in 1976 op een rondhoutveiling van eiken van fineerkwaliteit in de Spessart bij Frankfurt het recordbedrag van 10.000 DM per m³ werd betaald, zodat enkele stammen 30.000 DM per stuk opbrachten. Voor de fabricage van dit materiaal worden de stammen eerst overlangs gehalveerd en daarna afhankelijk van de gewenste tekening, radiaal of tangentieel, in prisma's of trapezia verder opgedeeld. Van deze prisma's worden dan de fineervellen afgesneden ter dikte van enkele tienden van millimeters. Aangezien het hier vrijwel altijd om zware, harde houtsoorten gaat, is het nodig deze prisma's lange tijd in heet water te leggen of te stomen, om het hout voor de bewerking zacht te maken. De wereldproductie bedroeg in 1973: 843 miljoen m³, waarvan 156 miljoen m³ in Europa. De FAO verwacht dat de zaaghoutconsumptie in de periode 1976-1994 nog met 50% zal toenemen [86]. De stijging gaat echter langzamer dan die van het gebruik aan industriehout zodat de behoefte aan dit laatste produkt de behoefte aan zaaghout in volume zal gaan overtreffen.

Plaatmaterialen

Deze groep omvat in hoofdzaak triplex (multiplex), meubelplaat, houtwolcementplaat, spaanplaat, vezelplaten en sandwichconstructies.

Triplex en multiplex zijn opgebouwd uit een oneven aantal dunne lagen hout die, al of niet waterbestendig, op elkaar zijn gelijmd.

Door deze constructie is een materiaal verkregen dat in vele eigenschappen homogener geworden is dan het uitgangsmateriaal. Deze platen worden veelzijdig toegepast, o.a. in de huizenbouw in de vorm van multiplex, van vloeren en als kapbeschieting. In het laatste geval wordt het dikwijls reeds voorzien van een laag warmte-isolatiemateriaal. Bij prefab huizen bestaat de binnenwand van de buitenmuren dikwijls uit triplex.

Watervast gelijmd multiplex kan constructief dragende functies krijgen. In de meubelindustrie wordt het, al dan niet bekleed met fineer of kunststof, gebruikt voor tafelbladen, keukenbladen; onbekleed wordt het gebruikt voor niet in het zicht komende afdichting. In de verpakkingindustrie wordt het op grote schaal toegepast voor kisten en containers.

Meubelplaat bestaat uit een middenlaag van tegen elkaar gelijmd latjes waarop boven en onder één of twee lagen fineer zijn gelijmd. Vroeger was dit het materiaal waarvan tafel- en bureaubladen wer-

den gemaakt. Het wordt steeds meer door spaanplaat verdrongen.

Houtwolcementplaat wordt vervaardigd door langdradige houtwol te vermengen met materialen zoals cement, magnesiet of gips en hiervan platen te vormen en te persen en deze dan te laten uitharden. Het materiaal is weinig brandbaar, wordt weinig aangetast door insecten en schimmels en is goed warmte-isolerend. Daarom wordt het het meest gebruikt voor plafonds en kapbeschietingen, dus in scheidende functies; de sterkte is te gering voor dragende functies.

Spaanplaat wordt gemaakt door spaanders van 20-40 mm lengte, 5-12 mm breedte en 0,1-0,3 mm dikte te drogen en daarna met lijm te mengen. Deze massa wordt tot een plaat gevormd, daarna verwarmd en geperst. Als lijm wordt meestal ureum-formaldehyde gebruikt. Voor beter waterbestendige platen worden fenol-formaldehydelijmen gebruikt.

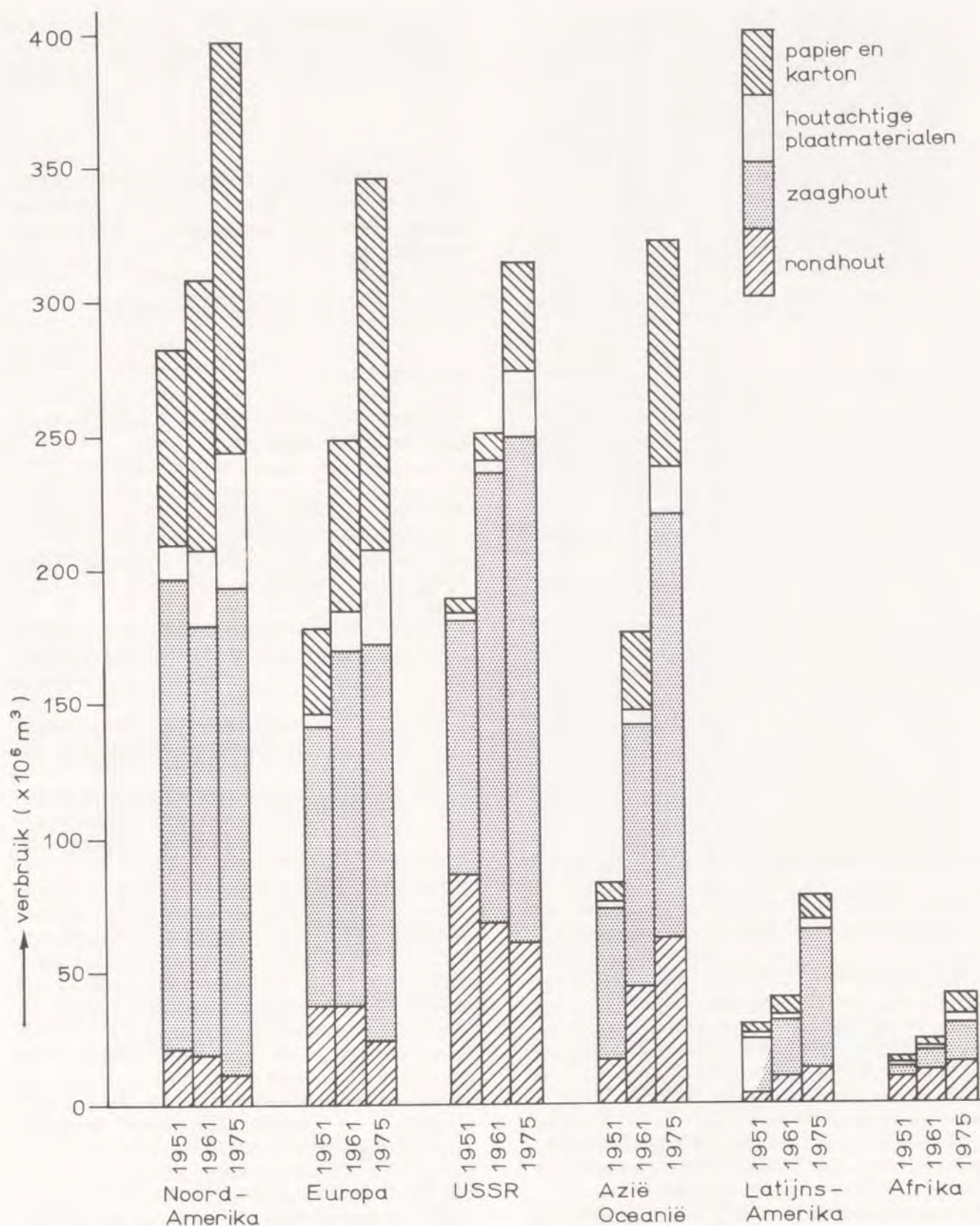
De spaanplatenfabricage heeft sinds de vijftiger jaren een enorme vlucht genomen, aanvankelijk vooral in Duitsland, maar later ook in de andere industrielanden. De spaanplaat wordt in de eerste plaats gebruikt in de meubelindustrie. De bouw bleef aanvankelijk achter, maar door het ontwikkelen van beter vochtbestendige platen begint het gebruik daar toe te nemen.

Vezelplaat, beter bekend onder de naam hard- en zachtboard, wordt vervaardigd door een brei van houtvezels te ontwateren, te vormen tot platen en te persen. Weinig geperst, levert het zachtboard, zwaarder geperst materiaal wordt hardboard. Door een speciale behandeling met olie bij hoge temperatuur kan hardboard beter vochtbestendig worden gemaakt. Zachtboard wordt vooral toegepast als warmte-isolerend materiaal in de woningbouw en voor akoestische isolatie en demping. Daarvoor wordt het speciaal gevormd of van zaagsneden of gaatjes voorzien. Hardboard wordt gebruikt in de woningbouw, het transport en verpakkingbedrijf, waar een betrekkelijk goedkoop afsluitend materiaal kan worden gebruikt en waarbij niet te hoge eisen aan sterkte hoeven te worden gesteld. Het ondervindt in toenemende mate concurrentie van dunne spaanplaat.

Al deze plaatmaterialen treden steeds meer op als vervanging voor massief (zaag-)hout [88].

De produktie van deze plaatmaterialen bedroeg in 1973 ongeveer 96 miljoen metrieke tonnen. De FAO verwacht dat de produktie in het jaar 2000 tot ruim 210 miljoen ton zal zijn opgelopen [88]. Voor de westerse industrie wordt verwacht dat hun produktie zal toenemen in deze periode van 73 tot 124 miljoen ton, voor de communistische staten van 15 tot 55 miljoen ton en voor de ontwikkelingslanden van 8 tot 33 miljoen ton.

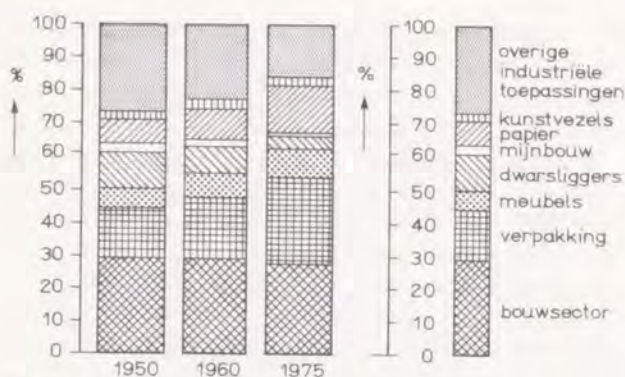
De verdeling van de verwerkte hoeveelheden hout blijkt uit Figuren 11 en 12.



Figuur 11. Geschat industrieel houtgebruik, exclusief fijneer en oplosbare pulp, in 1951, 1961 en 1975, in houtgrondstof equivalenten [89].

Uit deze figuren blijkt dat in de loop van de tijd niet slechts een sterke toename, maar ook verschuivingen in het gebruik hebben plaats gevonden. Voor de toekomst mag een voortzetting worden verwacht.

Van het zaaghout en uit hout gefabriceerde plaatmaterialen werd in 1968 in de gehele wereld volgens een in 1971 gepubliceerde FAO rapport 43% in de woningbouw gebruikt, terwijl dit getal in de ontwikkelingslanden boven de 50% ligt. Afhanke-



Figuur 12. Relatief aandeel van de voornaamste houttoepassingen in Europa voor de jaren 1950, 1960 en (geschat) voor 1975 [84].

lijk van de gewoonten in het betreffende land wordt meer of minder hout in de huizen gebruikt. In de Scandinavische landen, Canada en de Verenigde Staten wordt veel hout in de bouw gebruikt; in de geïndustrialiseerde landen rond de Middellandse zee is de bouw meer gebaseerd op steen. Het daar vroeger aanwezige bos is door de oude beschavingen immers opgeruimd, zonder aandacht te besteden aan tijdige herbebossing.

Grote hoeveelheden bezaagd hout en multiplex worden gebruikt als bekistingshout voor betonconstructies en (in afnemende mate) voor steigerwerk. In het algemeen kan worden gezegd dat in de eengezinswoningen relatief meer hout wordt gebruikt dan in de hoogbouw waar de vloeren nagenoeg altijd steenachtig zijn en dikwijls monolithisch in de constructie zijn opgenomen. De verwachting is dat de gemiddelde hoeveelheid hout per woning nog verder zal dalen, althans als constructief element. Dit gebruik omvat vloeren, plafonds, wanden, kasspanen, dakbeschot, trappen, deuren en ramen met kozijnen. In geprefabriceerde huizen en huizen gebouwd volgens de skeletbouwmethode wordt echter een relatief grote hoeveelheid hout gebruikt. Toenemend is ook het gebruik van hout als versierend element in de vorm van parketvloeren, wandbetimmeringen en plafonds. Hiervoor worden houtsoorten gebruikt met fraaie kleur en tekening. Naast de woningbouw zijn de grote houtconstructies voor overkappingen als toepassingsgebied van bezaagd hout eveneens van belang.

Een andere grote afnemer van bezaagd hout is de verpakkingsindustrie. Voor kisten, kratten, pallets en stuw hout wordt bezaagd naaldhout gebruikt; voor containers wordt, behalve het bezaagde hout, multiplex gebruikt voor de wanden.

De meubelindustrie is afnemer van bezaagd hout in speciale, dikwijls hoogwaardige houtsoorten. De afmetingen van de houtstukken kunnen meestal beperkt zijn. Massief hout wordt in hoofdzaak gebruikt voor dragende elementen, zoals poten en leuningen; de grote vlakken worden tegenwoordig doorgaans vervaardigd van met een fineerlaag bedekte spaanplaat, multiplex of meubelplaat. De luxere houtsoorten komen tegenwoordig grotendeels uit de tropen. Behalve eikenhout worden de

klassieke meubelhoutsoorten uit de gematigde streken zoals noten, essen, esdoorn wat minder gebruikt. De mode speelt hier echter een belangrijke rol.

3. Verwerking en toepassing van rondhout, verzaagd en verspaand hout en plaatmateriaal; energie- en milieu-aspecten

door: ir. D. Korfker en ing. G.V. Vergeer

3.1. Inleiding

Van het in Nederland gebruikte hout wordt meer dan 90% geïmporteerd.

In de voorgaande hoofdstukken is reeds gebleken dat het probleem grondstofschaarste voor hout, door zijn reproduceerbaarheid, in de verre toekomst veel minder een probleem hoeft te zijn dan voor stoffen van minerale oorsprong. Wel dient het ter beschikking staande hout optimaal te worden uitgebuit. Dit kan:

- enerzijds door van de grondstof zo min mogelijk verloren te laten gaan, zoals bijv. de zware takken bij de oogst in het bos, of de afval bij de industrie [90].
- anderzijds door doelmatig gebruik, bijv. door bouwconstructies materiaal-economisch te ontwerpen [91].

Na het gezaagde en geschaafde hout en later het fineer, kwamen verwerkingswijzen tot ontwikkeling die het effectief gebruik van de grondstof hout bevorderden.

Voorbeelden hiervan zijn meubelplaat en triplex. Meubelplaat bestaat uit een plaatkern van aaneengelijmde latten of houtstaafjes, waarop aan beide zijden een laag fineer is gelijmd, met t.o.v. het kernhout gekruiste vezelrichting. Triplex bestaat uit drie of meer met onderling gekruiste vezelrichting op elkaar gelijmde fineerlagen. Meubelplaat en triplex beantwoorden aan de behoefte het fraaiere hout spaarzaam, nl. in dek(fineer)lagen, te gebruiken en ook aan de wens plaatvormig hout te verkrijgen van afmetingen en vormstabiliteit (minder krimpbezwaar) groter dan bij massief hout.

De behoefte aan een vollediger gebruik van de biomassa (dit is alles wat de boom oplevert ook buiten het te verzagen stamgedeelte), leidde mede tot de ontwikkeling van vezelplaat uit houtslip, en wel het z.g. hardboard en zachtboard. Na de oorlog kwam de ontwikkeling van spaanplaat, bestaande uit met lijm gebonden houtspaantjes (of bijv. ook vlasscheven uit vlassstengels).

De ontwikkeling van de met lijm tot stand gebrachte plaatmaterialen is vooral mogelijk geweest door de ontwikkeling van de lijmsorten. Dit geldt ook voor het hierna te behandelen gelijmd hout, waar-

voor vroeger vooral lijmsorten van dierlijke oorsprong werden toegepast. Na de Tweede Wereldoorlog nam het gebruik van dit gelijkde hout een grote vlucht, vooral door de ontwikkeling van de thermohardende kunstharlijmen. Daarmee bleek het steeds beter mogelijk uit massief hout van relatief kleine doorsneden en lengten elementen van grote afmeting, tot gehele constructies toe, samen te stellen.

Het zo efficiënt mogelijk gebruiken van het hout blijft ook voor de verdere toekomst het doel.

Indien in de toekomst de beschikbaarheid en de kostprijs geen probleem hoeven te zijn, blijft de vraag hoe in Nederland de keuze van hout ligt voor wat energiegebruik en milieubeïnvloeding betreft. Daarnaast verdienen nog enkele andere aspecten van schaarste, nl. die van ruimte, werkgelegenheid en arbeidsvreugde de aandacht. Over deze laatste aspecten, die weinig kwantificeerbaar zijn, vooraf enkele opmerkingen [92].

Bezien we het aspect 'ruimte', dan kan dit worden benaderd vanuit de gezichtspunten herkomst, verwerking en gebruik. De houtproductie vraagt bosareaal. Deze behoefte is op velerlei manier strijdig met de vraag naar ruimte voor agrarische doeleinden, wonen en werken. De behoefte aan recreatief bos is evenwel in beginsel integreerbaar met houtproductie.

Verwerking en bewerking vragen, gezien het aanzienlijke volume, aangepaste voorzieningen voor vervoer en opslag. Ten opzichte van materialen met grotere sterkte/volume-verhouding vraagt hout in de verwerkingsstadia soms meer ruimte, terwijl de relatief lage dichtheid weer gunstig kan zijn voor hantering.

Voorts kan hout, door zijn vele mogelijkheden van constructieve vormgeving, dienstbaar zijn aan een optimaal ruimtelijk (architectonisch) ontwerp wanneer het als draagconstructiemateriaal voor gebouwen wordt gebruikt. De combinatie van een houten overspanningsconstructie met kolommen van beton of staal kan echter qua kosten en gebruik van het bouwwerk doelmatiger zijn dan een volledig houten constructie.

Mechanisatie en automatisering kunnen invloed hebben op de werkgelegenheid. In dit opzicht wijkt houtverwerking niet af van de algemene tendens tot vervanging van menselijke arbeid. Daarnaast is er, vooral vanwege de aantrekkelijkheid van het natuurlijke materiaal en de gemakkelijke bewerkbaarheid, een tendens tot toename van verwerking in de doe-het-zelf-sfeer. Dit laatste geldt vooral bij gebruik voor decoratief aftimmerwerk.

Industrieel gebruik in de papierindustrie en in de industrieën van plaatmaterialen leent zich weinig voor terugkeer naar meer arbeidsintensieve produktiewijzen. Interessant is de introductie van de z.g. houtskeletbouw in West-Europa sinds het begin van het vorige decennium. Het is een bouwwij-

ze die op het Noordamerikaanse continent volop voor de bouw van woningen wordt toegepast, evenals in Noord-Europa [93]. Hierbij is zelfs de vrijwel volledige uitvoering ter plaatse nog economisch mogelijk. In West-Europa wordt deze houtskeletbouw vooral gepropageerd en in toenemende mate gerealiseerd met een zekere graad van prefabricage. Bij goede werkvoorbereiding en uitvoering zal echter het aantal arbeidsuren per woning op de bouwplaats nog kunnen worden verhoogd en de prefabricage verminderd. Uit de ervaring in Noord-Amerika en Noord-Europa blijkt dat goedkoper te kunnen zijn.

De aantrekkingskracht die van hout uitgaat, kan misschien – door aangepaste technieken – bijdragen tot grotere bevrediging bij de beroepsarbeid.

Dit deel van de studie richt zich vooral op die kwantificeerbare aspecten van de schaarste, die tevens van direct nationaal belang zijn. Deze aspecten zijn energiebehoefte en de milieubeïnvloeding. Daarbij beperken wij ons tot het gebeuren vanaf de houthandel en de houtverwerkende industrie. Wat het inlandse hout betreft, komt de energiebehoefte en milieubelasting bij het oogsten er nog bij.

Het zagen van tropisch hout vindt steeds meer in de produktiegebieden plaats, zodat daarvandaan naar verhouding thans meer gezaagd hout wordt geïmporteerd dan Tabel 3a aangeeft.

De aard van de bewerking en verwerking vergt onderscheid in de volgende categorieën:

- toepassing en gebruik van rondhout;
- zagen van geïmporteerd of inlands rondhout tot gekantrecht hout, eventueel schaven en drogen;
- toepassing en gebruik van gezaagd en verder bewerkt hout, waarbij zijn te onderscheiden: timmer-, houtwaren- en meubelindustrie;
- vervaardiging en gebruik van fineer en triplex;
- verspaning van hout, vervaardiging en gebruik van spaanplaat;
- vervezeling van hout, vervaardiging en gebruik van vezelplaat.

Bij de bespreking van elk der bovengenoemde categorieën worden, waar mogelijk, onderscheiden:

- *energie-aspecten:*
energievorm en beschikbaarheid,
benodigde hoeveelheden,
intern geproduceerde energie.
- *milieu-aspecten:*
veiligheid van het werk,
brandveiligheid,
lawaaiproductie,
luchtvervuiling,
afvalproductie.

Voor de veiligheid van houtbewerkingsmachines worden door de arbeidsinspectie gedetailleerde voorschriften aangehouden [94]. Dit thema zal bij de volgende paragrafen niet steeds opnieuw naar

voren worden gehaald, tenzij een speciaal punt moet worden belicht.

Teneinde een indruk te geven van de hoeveelheden en bedragen waarom het gaat, volgen hier enkele tabellen.

Tabellen 3a en b hebben betrekking op het jaar

1972 waarbij de veranderingen in de voorraden niet de moeite van het vermelden waard zijn geweest. In Tabel 3c zijn meer recente cijfers gegeven over de Nederlandse invoer (excl. de relatief geringe houthandel met België en Luxemburg).

Voorts geeft Tabel 3d de herkomst van het in 1977 in Nederland geïmporteerde gezaagd naaldhout.

Tabel 3a. Houtbalans 1972 voor Nederland, in 10³ m³ [95].

	Invoer	Productie ¹⁾	waarvan door:		Uitvoer	Afzet binnenland	waarvan aan:	
			bosbouw	houtverwerkende industrie			houtverwerkende industrie	overige 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, in 10 ³ ton	120	22	—	22	13	129	42	87
Zachtboard, in 10 ³ ton	26	12	—	12	8	30	1	29
Triplex/multiplex	159	66	—	66	18	207	25	182
Spaanplaten	309	62	—	62	31	340	154	186
Vlasschevenplaten	140	37	—	37	5	172	172	—

¹⁾ Ruim de helft van de Nederlandse houtoogst is als vezelhout bestemd voor de papier/kartonfabricage; het overgrote deel ervan is t.b.v. houtslipvezels.

Tabel 3b. Houtbalans 1972 voor Nederland, in 10⁶ gld 1972 [95].

	Invoer	Productie	waarvan door:		Uitvoer	Afzet binnenland	waarvan aan:	
			bosbouw	houtverwerkende industrie			houtverwerkende industrie	overige verbruikers
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	81	—	81	6	617	132	424
loof	44	—	—	—	3	—	61	—
Hardboard	46	12	—	12	6	52	48	4
Zachtboard	15	5	—	5	4	16	—	16
Triplex/multiplex	101	72	—	72	20	153	22	131
Spaanplaten	83	18	—	18	16	85	42	43
Vlasschevenplaten	21	5	—	5	1	25	25	—

Tabel 3d. Invoer naaldhout, gezaagd, voor Nederland in 1977 [96].

	m ³ waarde in f 1000			m ³ waarde in f 1000	
Frankrijk	858	372	Polen	24.126	8.083
B.R. Duitsland	201.523	66.364	Tsjechoslowakije	81.342	25.410
Verenigd Koninkrijk	586	197	Hongarije	384	144
Denemarken	1.005	414	Nigeria	275	138
Noorwegen	22.720	6.793	Zuid-Afrika	295	85
Zweden	989.514	341.976	Verenigde Staten van Amerika	25.093	16.924
Finland	620.704	212.665	Canada	48.311	28.448
Zwitserland	581	175	Honduras	242	155
Oostenrijk	71.819	22.931	Nicaragua	5.410	3.066
Portugal	55.703	14.230	Suriname	7	1
Spanje	2.194	532	Brazilië	1.319	901
Joegoslavië	261	224	Chili	3.806	1.030
Turkije	27	6	Maleisië	73	61
Sowjet-Unie	309.178	103.933	Papoea	23	8
D.D.R.	13.602	4.459	Caledonia	19	10
				2.481.000	859.734

Tabel 3c. Invoer hout en plaatmaterialen voor Nederland in 1977 [96].

	m ³	waarde in f 1000
Naaldhout		
1 Rond		
A mijnhout	7.371	702
B papierhout	324.757	26.013
C ander hout		
1 zaaghout	12.417	1.314
2 palen	83.002	8.883
3 ander	56.313	3.895
	483.860	40.808
2 Vierkant behakt of bezaagd	11.782	3.148
3 Gezaagd	2.481.000	859.734
	2.976.642	903.690
4 Geschaafd en geploegd	37.595.588 kg	51.739
Naaldhout-totaal		955.429
Hardhout		
1 Rond		
A mijnhout	233	39
B papierhout	20.934	995
C zaag- en fineerhout	331.664	95.773
D overige	1.352	269
	354.183	97.076
2 Vierkant behakt of bezaagd	13.180	6.228
3 Gezaagd	753.033	468.336
correctie CBS	1.120.396	571.640
4 Geschaafd en geploegd	11.912.309 kg	14.655
5 Plankjes voor parketvloeren	435.003 m ²	8.095
Hardhout-totaal		594.390
Plaatmateriaal		
duplex, triplex, multiplex	362.069	275.582
meubelplaat	6.892	5.260
gefineerde spaanplaten	1.749	1.315
overige duplex, triplex en multiplex en met fineer bekleed hout	5.199	4.190
ongefineerde houtspaanplaat	229.319	86.498
ongefineerde spaanplaat van vlasseven	35.451	9.176
	640.679	382.020
hardboard	24.505.424 m ²	39.398
zachtboard	2.388.260 m ²	5.032
Plaatmateriaal-totaal		426.450
Overige		
dwarsliggers, geïnjecteerd of geïmpregneerd	119.825	13.421
dwarsliggers, andere	35.332	9.590
duighout	33.992 kg	21
fineer	49.448	47.734
Overig materiaal-totaal		70.765
Totaal generaal		2.047.035

3.2. Toepassing en gebruik van rondhout

Bij de toepassing van rondhout kan men denken aan heipalen, masten, perkoenpalen, mijnhout, boerengeriefhout, enz.

Rondhout, vooral van Europees naaldhout, zal dikwijls een verduurzamingsbehandeling vragen. Dit vergt extra vervoer.

Enkele voorbeelden zullen worden gegeven.

Als eerste voorbeeld is gekozen de Centrale Zagerij van de Koninklijke Houtvesterij Het Loo ¹⁾.

Aldaar wordt langhout (voornamelijk uit eigen bossen) ontschorst en verzaagd tot rondhoutsortimenten. De jaarcapaciteit van deze zagerij bedraagt ca. 20.000 m³ langhout (met schors), waaruit ca. 17.500 m³ verzaagd rondhout wordt verkregen. Het rondhout wordt bestemd voor zaaghout, paalhout, kisthout, papierhout, vezelhout en perkoenen. Het energiegebruik bedraagt 18–20×10⁹ J (elektrisch) per maand in de winterperiode (ca. 11 MJ/m³), zonder kunstmatige berekening. In de zomerperiode, met berekening, wordt dit 27–35×10⁹ J per maand (ca. 18 MJ/m³). Het jaargemiddelde bedraagt ca. 270×10⁹ J, ofwel ca. 14 MJ per m³ langhout met schors.

De milieubelasting is beperkt. Als belangrijkste punt kan worden genoemd de lawaaiproductie door de ontschors- en zaagmachines. Het personeel moet werken met oorbeschermers. Nauwkeurige gegevens over het geluidsniveau zijn niet bekend. Voor de fauna in de omringende bossen acht men het geluid niet storend. Daar de zagerij ten minste 500 meter van de openbare weg en de naaste bebouwing is verwijderd, is er geen lawaai-overlast voor nabijwonenden. De dicht omringende bosmantel dempt het geluid bovendien zodanig, dat ook wandelaars hiervan geen hinder ondervinden.

Schorsafval wordt afgezet aan manegehouders. Ook wordt het in toenemende mate gevraagd als onkruidbestrijdingsmiddel in tuinen. Zaagsel vindt als strooisel een weg naar boeren en pluimveehouders. Houtafvalstukken (stukken kleiner dan 40 cm) worden gebruikt bij de vezelproductie.

Ter bestrijding van de dennescheerder moet al het ongeschilde hout voor half mei uit de bossen zijn verwijderd. Hiervoor is bij de zagerij opslag nodig. Ter bescherming tegen schimmel- en keveraantasting vindt kunstmatige berekening plaats. Het milieu zal daardoor weinig schade ondervinden. Fungiciden en insecticiden worden niet gebruikt. Het water voor de berekening wordt onttrokken aan een ontgrondingsput. De invloed hiervan op de grondwaterstand moet in het oog worden gehouden.

Als tweede voorbeeld staan wij kort stil bij het gebruik van rondhouten heipalen.

Er zijn grote verschillen tussen het gebruik van hou-

ten en betonnen palen. De technische aspecten kunnen hier onbesproken worden gelaten. Globaal gezien krijgt men in beide gevallen voor een bepaalde prijs dezelfde draagkracht. Bij keuze van betonpalen moet er echter een veelvoud aan massa worden vervoerd. Voorts komt daar de gehele vervaardigingsfase bij met de aanvoer van grondstoffen, alsmede de cement- en rondstaalfabricage, met de daaraan verbonden energie- en milieuaspecten. De toepassing van houten palen steekt bij dit alles wel zeer gunstig af.

Rondhout blijkt voorts vaak een waardevol constructiemateriaal te zijn in handen van de architect, die er rustieke, sfeervolle bouwsels in landelijk milieu mee weet te scheppen.

Sommige andere rondhouttoepassingen tenslotte, zoals van het z.g. boerengeriefhout, vragen vrijwel geen andere dan menselijke energie. Deze toepassingen vormen, vergeleken met gezaagd hout, tevens voorbeelden van een zeer effectief gebruik van de grondstof, nl. zonder verliezen. Door verduurzaming kan de levensduur in vochtige grond worden verlengd van ca. 5 tot 15 jaar [97].

3.3. Het zagen, schaven en drogen van rondhout

Energie-aspecten

Het zagen vraagt elektrische energie. Het benodigde vermogen hangt samen met het productieprogramma, t.w. houtsoort en afmetingen.

Voorts is er behoefte aan energie

- voor het interne transport, de sortering op maat en eventueel op kwaliteit en
- voor de verwarming (gas, vloeibare brandstof en afvalhout).

Bij het schaven is de energiebehoefte sterk afhankelijk van de relatieve grootte van de geschaafde profielen. Sterk afhankelijk van grootte en vorm van geschaafde profielen is ook de opbrengst aan spanen en krullen. Die kan oplopen tot 20 à 30% van het volume van het gezaagde hout. Deze opbrengst kan deels als grondstof voor spaanplaat en deels voor energieopwekking dienen.

De totale energiebehoefte voor zagen en schaven bedraagt gemiddeld ca. 1.000 MJ per m³ op stam gemeten.

Bij het drogen van hout moet een groot deel van het in het hout aanwezige water door verdamping worden verwijderd. Wordt kunstmatig gedroogd (in klimaatkamers of sneldrogers), dan moet voor de verwarming energie worden toegevoerd, bijvoorbeeld in de vorm van brandstof of elektriciteit. Wanneer, zoals in sneldrogers, geforceerde luchtcirculatie wordt toegepast, is tevens elektrische energie nodig voor aandrijving van de ventilatoren. Afhankelijk van houtsoort, afmetingen en gewenst vochtgehalte, kan het energiegebruik liggen tussen

¹⁾ Dit voorbeeld is bewerkt door ir. H. Hulshoff Pol.

ca. 1000 en ca. 2000 MJ/m³. De benodigde energie voor het drogen van gangbare houtsoorten, in gangbare afmetingen, naar het houtvochtgehalte dat gewenst is voor meubelen en timmerwerk, bedraagt gemiddeld ca. 1.500 MJ/m³.

Voor het vervoer van gezaagd en geschaafd hout voor de bouw is aan dieselolie gemiddeld 150 MJ/m³ nodig.

Hierbij is uitgegaan van een afstand (heen en terug) van 150 km en een verbruik van 1 liter dieselolie per 2 km voor 20 m³ hout van 500 kg/m³.

Bij het zagen en schaven van rondhout is 20 tot 40% afvalhout ontstaan. Dat kan als brandhout of voor spaanplaat worden gebruikt. Het levert als brandhout (vurehout) aan warmte ca. 12 MJ/m³. Van het hout, op stam gemeten, wordt 5 tot 10% in zaagsel omgezet. De verbrandingswaarde daarvan neemt af naarmate het vochtgehalte hoger is.

Milieu-aspecten

Het gaat hier vooral om de milieu-aspecten binnen het bedrijf. Als de interne milieutoestanden goed zijn, zullen zij naar buiten toe weinig invloed hebben.

De persoonlijke veiligheid geeft – bij handhaving van de voorschriften – geen aanleiding tot bijzondere opmerkingen.

Van luchtvervuiling is, indien zaagsel en stof volgens de gestelde normen worden afgezogen, weinig sprake. De geur van gezaagd hout wordt in het algemeen niet als onaangenaam ervaren en zelfs geapprecieerd.

Het brandgevaar wordt door preventieve maatregelen en door voorzieningen zoals vluchtwegen e.d. op grond van eisen van brandweer en verzekering teruggebracht tot een minimum. Stof en zaagsel vragen evenwel speciale aandacht.

Voor het ontstaan van brand zijn nodig: brandbaar materiaal, zuurstof en ontsteking. De afgezogen lucht bevat zuurstof, stof en zaagsel. Door wrijving van zaagsel en stof langs de wand van de afzuigpijp kan elektrostatische lading van de deeltjes ontstaan. Het afzuigstelsel moet zo zijn ontworpen dat de elektrische ontlading zo geleidelijk kan verlopen dat de ontstekingsenergie (vonk) niet wordt bereikt.

Het geluidsniveau is in veel houtbewerkingsbedrijven zodanig dat voor een deel van de werkers in deze bedrijven gevaar bestaat voor blijvende gehoorbeschadiging. Tabel 4 toont dit duidelijk aan.

Een plotselinge geluidsstoot (knal) of een onregelmatige serie geluidsstoten kan schadelijker zijn dan een min of meer permanente geluidsbelasting van zelfs iets grotere intensiteit. Ook de toonhoogte en de bandbreedte van het geluid zijn van invloed op de schadekans.

Het aantal medewerkers in de houtindustrie dat zich in de gevarezone kan bevinden, bedraagt ca.

18.000. Dit is bijna een derde van het totaal aantal personen in deze industrietak. Ook degenen die niet de gehele dag aan het lawaai zijn blootgesteld, kunnen gehoorbeschadiging oplopen. Lawaai dat als zeer storend of irritant wordt ervaren, kan ook bij een geluidsniveau waarbij geen gevaar bestaat voor gehoorbeschadiging, nog aanleiding geven tot psychische klachten en oorzaak zijn van produktiviteitsvermindering.

Tabel 4. Geluidsniveau's van enkele gangbare machines (in dB(A), gemeten op de arbeidsplaats); (A) betekent: gemeten met filter A

Machines	Leegloop	Belast
Vlankbank	84–103	87–107
Vandiktebank	74–102	89–106
Tafelcirkelzaagmachine	77– 94	78– 98
Tafelfreesmachine	68–100	83–103
Meerbladencirkelzaagmachine	82–104	86–108
Vierzijdige schaafmachine	86– 98	92–104
Dubbele eindprofileermachine	82– 98	90–104
Verspaner	75– 97	77–116
Bandzaag	96	102

Waar gevaar bestaat voor gehoorbeschadiging is lawaai bestrijding nodig.

- Primaire lawaai bestrijding, dat wil zeggen het verminderen van het niveau aan de lawaai bron, is bij reeds in het bedrijf opgestelde machines nagenoeg onuitvoerbaar. Wel is het in sommige gevallen mogelijk dit niveau te reduceren door een juiste keuze van het gereedschap.
- Secundaire lawaai bestrijding, zoals door afschermen of inkapselen van de lawaai bron, is in principe soms wel in een bestaande situatie uitvoerbaar. In veel bedrijven ontbreekt echter de benodigde ruimte, of is het moeilijk uitvoerbaar of storend voor de produktie.

Zolang nog geen maatregelen zijn getroffen, bijv. door inkasten of inkapselen, moeten speciale oorwatjes of gehoorbeschermers worden gedragen. Een voorbeeld van de gunstige ontwikkelingen op het gebied van de lawaai bestrijding biedt het jaarverslag 1977 van de Nederlandse Houtbond. Er is gewerkt aan een studie over eenvoudige, zelf te maken elementen die het lawaai van machines en installaties tot een acceptabel niveau kunnen reduceren. Voorts is een schatting gemaakt van de kosten om het geluid op de werkplek onder 90 dB(A) te brengen. Deze studie maakt deel uit van het project 'Inventarisatie van het lawaai probleem en mogelijke tegenmaatregelen', uitgevoerd met hulp van het Houtinstituut TNO.

Wat de afvalproduktie bij het zagen en schaven betreft, zij slechts opgemerkt dat het afvalhout en ook spanen en zaagsel bij goed geplande opslag en af-

voer geen enkele milieuschade behoeven op te leveren. Deze afvalprodukten kunnen als brandstof dienen of als grondstof voor bijv. spaanplaat worden gebruikt.

Toekomst

Reeds vanaf de Tweede Wereldoorlog dateren de pogingen uit rondhout balken, planken enz. te verkrijgen door snijmethoden die geen verliezen geven aan zaagsel en spanen. Deze behoefte is groter naarmate men over stammen van kleinere diameter beschikt en men kleinere profielen wenst. Relatief gaat dan meer hout verloren.

Proeven met trilmessen lijken nog geen economisch haalbare oplossing te geven [98]. Mogelijk valt in de toekomst ook te denken aan snijden met behulp van een fijne waterstraal onder zeer hoge druk of misschien met behulp van laserstralen.

3.4. Toepassing en gebruik van gezaagd en verder bewerkt hout

Het gaat hier vooral om de houtindustrie in haar verschillende verschijningsvormen. Men onderscheidt de timmerindustrie met serieprodukten voor de bouw, zoals deuren en trappen en ook keukens, kasten e.d., alsmede fabricage van kozijnen, ramen, panelen enz. Verder vallen hieronder bedrijven die draagconstructies, zoals liggers en spanten, maken voor de bouw. Voorts zijn er de meubelindustrie en de fabrieken van houtwaren, waaronder huishoudelijke artikelen, speelgoed e.d. Een andere categorie is de emballage-industrie, waar kisten, kratten, pallets enz. worden gemaakt.

In de scheepsbouw is hout als constructiemateriaal vrijwel volledig vervangen door staal. Bij zeeschepen vindt hout nog veelvuldig toepassing voor dekvloeren en wandbekleding. Bij plezierjachten, waar kunststof het hout voor een groot deel heeft verdrongen, lijkt hout opnieuw aan belangstelling te winnen. Daarbij worden de natuurlijke gunstige eigenschappen uitgebuit en de minder gunstige verbeterd of geëlimineerd door gebruik van kunstharsen. Voor de vorming van een beschermende huid wordt bijv. een speciale kunsthars op epoxybasis gebruikt [99]. Zo profiteert men tevens opnieuw van de goede verwerkingsmogelijkheden van hout en van de gunstige verhouding tussen sterkte, resp. stijfheid en gewicht, alsmede van de relatief gunstige kostprijs.

Energie-aspecten

Wij beperken ons hier verder tot de op de bouw gerichte serieproductie en de gespecificeerde productie bij de houtindustrie. Daarbij worden talrijke soorten houtbewerkingsmachines gebruikt.

Na aanvoer en opslag van gezaagd (eventueel gedroogd en geschaafd) hout vinden voorbereidingen plaats zoals zagen, schaven en frezen. Daarop volgt vaak montage (bijv. van kozijnen). Daarna komen de afwerking, de (eind)opslag en de expeditie.

Dit alles eist voor intern transport energie, veelal uit benzine of olie, eventueel elektrische energie uit accu's. Voorts is voor de veelsoortige bewerkingsmachines elektrische energie nodig.

Volstaan zij met de vermelding dat voor een bedrijf met gemiddelde omstandigheden de gemiddelde hoeveelheid energie voor de machinale verwerking ca. 1.200 MJ per m³ verwerkt hout bedraagt.

De energie-inhoud van de bij de productie gebruikte hulpmiddelen, zoals metalen verbindingsmiddelen, hang- en sluitwerk, en hulpstoffen, zoals lijm, verduurzamingsmiddelen en lakken is niet meegeteld. De energie die nodig is voor de verwerking hiervan, is begrepen in die voor de machinale verwerking.

Milieu-aspecten

Soms worden een bepaalde temperatuur en vochtigheidsgraad geëist voor het binnenklimaat en zal men met mogelijke vervuiling van het binnenklimaat en met andere schadelijke invloeden rekening moeten houden. Men zal bijv. lakspuitcabines met onderdruk moeten toepassen en de bescherming tegen lawaai moeten verzorgen.

De brandweervoorschriften zullen in acht dienen te worden genomen; daarbij geldt overigens hetzelfde als wat is opgemerkt bij zagen en schaven.

Voorbeeld

Als voorbeeld is gekozen een fabriek voor gelamineerde gelijmde draagconstructies voor bouwwerken.

Zoals eerder is gezegd, voldoen gelijmde draagconstructies aan de doelstellingen voor een doelmatig gebruik van het beschikbare hout. Ook kunnen door het kiezen van de juiste lijm allerlei speciale doeleinden worden verwezenlijkt.

Zo kiest men bijv. een lijmsoort met spleetvullende eigenschappen, in die gevallen waar onvoldoende zekerheid bestaat dat de lijmfilm na het persen voldoende geringe dikte zal krijgen. De weerbestendigheid is van belang bij buitenconstructies. Daarvoor kiest men een lijm van de kwaliteit 'Exterieur 1'; deze is voor onbeperkte tijd tegen buitenklimaat bestand.

In de thans te bespreken fabriek wordt per jaar (1977) rond 10.000 m³ gezaagd Europees naaldhout aangevoerd en 7.000 m³, in constructies verwerkt, afgevoerd. Er wordt bovendien een hoeveelheid van 600 m³ aangevoerd als balkhout. Dit wordt slechts ten dele in het bedrijf verwerkt en hier verder buiten beschouwing gelaten. Van de ca. 3.000 m³ afval wordt 12% als zodanig afgevoerd, 23% als mot (fijne houtafval) verkocht aan boeren en aan de spaanplaatindustrie en 65% (ca. 950 ton) gebruikt als brandstof in het eigen bedrijf. Van de totale energiebehoefte van ca. 21×10⁶ MJ per jaar, levert deze mot (verbrandingswaarde van 14,7 MJ/kg, vochtgehalte ca. 15% en een ketelrendement van 80%) ca. 11×10⁶ MJ; dat is ca. 52%

van het totale energiegebruik; 31% van de energiebehoefte wordt gedekt door olie (vooral voor ruimteverwarming) en 17% is elektriciteit (niet omgerekend naar primaire energie voor de opwekking). Uit het bovenstaande volgt dat ca. 3.000 MJ per m³ gereed produkt, of 2.100 MJ per m³ aangevoerd hout, aan energie wordt gebruikt. De geringe volumevermindering – ca. 2% – door vochtverlies is hier buiten beschouwing gelaten [97]. Wat de bestemming betreft, is het energieverbruik als volgt in te delen.

– het droogproces (van 18% naar 11% houtvochtgehalte) incl. opslag en intern transport	28%
– de machinale verwerking	11%
– de afwerking, incl. timmer- en verfwerk	14%
– klimatisering en procesverwarming (o.a. uitharding van de lijm)	29%
– verlichting	4%
– diversen (o.a. verwarming kantoorgebouw c.a.), waarin ca. 1,3% voor intern transport	14%
	—————
	100%

Het transport van de produkten naar de bouwplaats vraagt gemiddeld 400 ritten van 10-tons vrachtwagens met een gemiddelde bezetting van 85% met hout van 500 kg/m³ [100]. De totale afgelegde afstand bedraagt 130.000 km. Bij dieselolie met een verbrandingswaarde van 37 MJ/liter en een verbruik van 1 liter op 3 km, bedraagt het energiegebruik voor de afvoer van de 7000 m³ aan gereed produkt ca. 230 MJ/m³. Dat is dus ca. 8% van de voor de produktie benodigde energie.

Over de milieu-aspecten kan het volgende worden opgemerkt.

Stof en lijmdampen worden afgezogen. De dampen zijn in hoofdzaak afkomstig van ureum- en resorcinol-formaldehydelijmen.

Hoewel er geen klachten zijn vanuit de omgeving over het niet gevangen stof uit de afzuigcyclonen, blijft dit nog wel in studie. Eveneens is in studie de bestrijding van bodem- en waterverontreiniging door milieu-onvriendelijke lijmresten. Deze kunnen via het riool tenslotte in het rivierwater terecht komen.

Voor de brandveiligheid is er automatische meldingsapparatuur en men beschikt over een bedrijfsbrandweer met eigen mobiele brandspuit. Er is een goede samenwerking met de gemeentelijke brandweer.

Ter voorkoming van gehoorschade zijn de schaaftmachines van geluidskasten voorzien. Daarmee wordt het geluidsniveau op de arbeidsplaats van 105 tot 88 à 85 dB verlaagd. Voorts wordt op het gebruik van de aanwezige oorkappen aangedrongen.

Door de bedrijfsleiding is, in nauwe samenwerking met de ondernemingsraad, een interne veiligheids-

commissie ingesteld die poogt te anticiperen op te verwachten wettelijke regelingen.

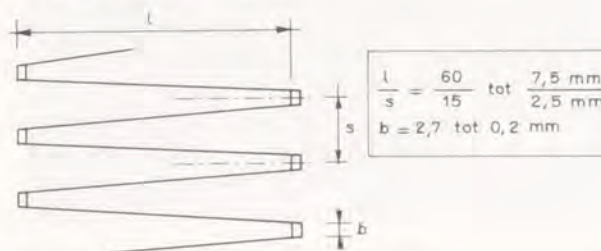
Toekomst

Overeenkomstig de recente aanbevelingen van een EEC-commissie [101] zal in toenemende mate bij het ontwerpen van gebouwen en woningen ook rekening moeten worden gehouden met de energie die nodig is voor het maken van bouwmaterialen en de verwerking ervan. Hout, dat qua opbouw reeds van nature voor toepassing bij bouwkundige constructies geschikt is, steekt gunstig af tegen andere materialen, vooral voor draagconstructies [95, 102]. Bovendien wordt de ontwikkeling van deze houttoepassingen gericht op het uitbuiten van de van nature aanwezige gunstige eigenschappen en op het verbeteren van minder gunstige. Daarbij onderscheiden we de constructies in twee hoofdgebieden. Allereerst constructies waarbij het primair gaat om de scheidende of ook bekledende functie, zoals kozijnen, deuren, ramen, borstweringen, wand- en plafondbetimmeringen. Voorts gaat het om constructies met een primair dragende functie. Deze dragende constructies houden de genoemde scheidende constructies op hun plaats en brengen de daarop werkende krachten naar de funderingsgrond over. Dit is bijv. het geval met kolommen, spanten, balken, gordingen enz. Bij de dragende constructies gaat het vooral om de sterkte en de reologische eigenschappen, terwijl voor de scheidende en bekledende constructies de isolerende eigenschappen en het esthetisch aspect de hoofdrol spelen.

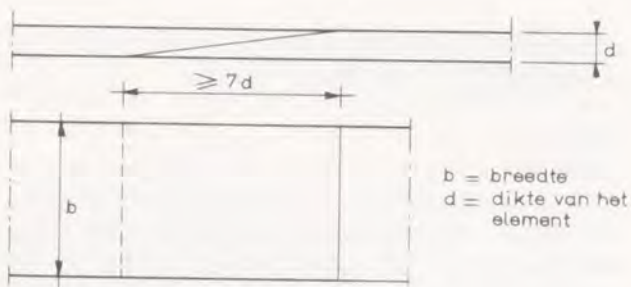
Daar tussenin liggen constructies waarbij de scheidende en de dragende functie zijn geïntegreerd. Het zijn constructies die evenzeer scheiden als dragen, zoals een houten vloer of een dakbeschieting,



Figuur 13a. Pakketvingerlas



Figuur 13b. Vingerlasdetail

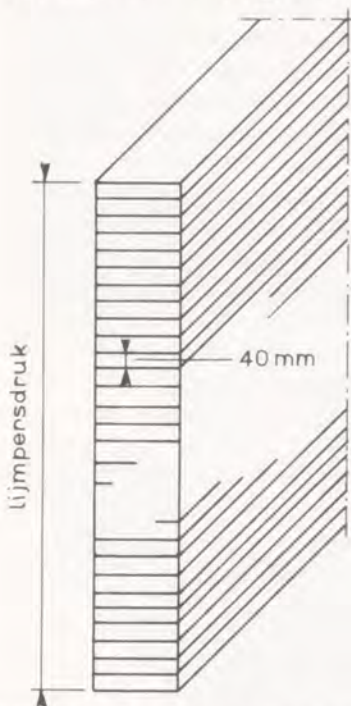


Figuur 13c. Schuine las

of ook zoals een opbouw met dragend wand skelet [93], dan wel met dragende wand- en dakpanelen.

De behoefte aan grotere houtlengten dan van nature beschikbaar en ook de behoefte korte stukken nog effectief te gebruiken, resulteerde in de toepassing van gelijmde vingerlassen; zie Figuren 13a, 13b en 13c en [100].

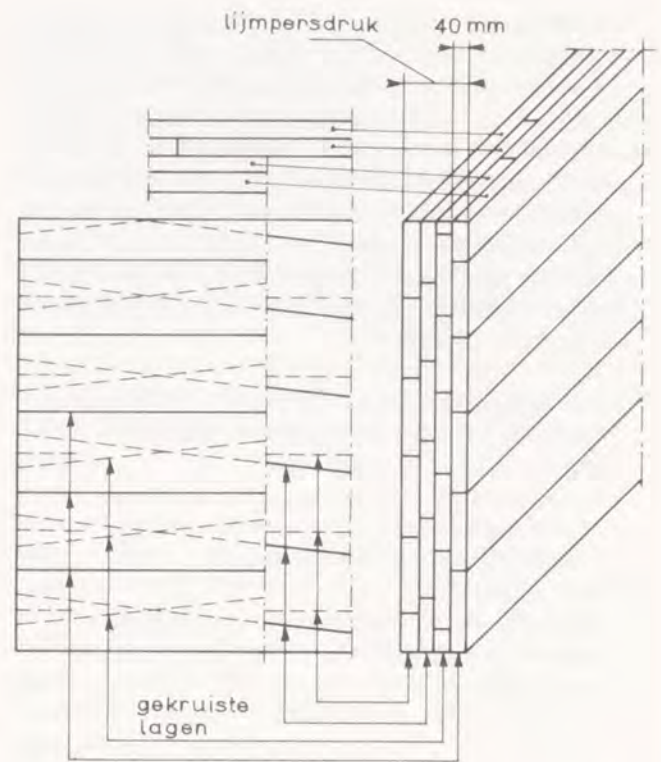
Aan de behoefte aan grotere doorsneden wordt op uitnemende wijze tegemoet gekomen door doorsneden uit kleinere delen (12 tot 40 mm dikte) door middel van lijm op te bouwen tot gelamineerde, resp. gekruislaagde elementen. Deze kunnen dan nog op soortgelijke wijze tot grotere lengten worden gelast met pakketvingerlassen (Figuren 14 en 15). Een gunstig neveneffect van deze uit kleinere onderdelen samengestelde elementen is de ver-



Figuur 14. Gelamineerd hout met samenstellende delen, gelast volgens Figuur 13b en 13c

hoging van de kwaliteit. Aldus worden immers de discontinuïteiten – vooral afwijkingen van een rechtlijnig vezelverloop door kwasten – meer gelijkmatig over het volume verspreid. Daarom kan men voor dit gelijmde hout hogere spanningen toelaten [100], waardoor een efficiënter materiaalgebruik mogelijk is.

Beter uitbuiten van het materiaal vindt hierbij ook plaats doordat men kleine houtafmetingen ge-



Figuur 15. Kruislaaghout, gehele pakket aan het volgende pakket gelast volgens Figuur 13a

bruikt om grote gelijmde elementen op te bouwen. Daardoor kunnen ook jongere bomen met geringere stamafmetingen worden gebruikt. Een bijzonder voordeel van de gelamineerde opbouw is dat door het buigen van de relatief dunne delen voor het verlijmen, gebogen constructies kunnen worden vervaardigd. Deze bieden gunstige mogelijkheden voor de eerder genoemde constructieve vormgeving. Een voorbeeld van deze vormgeving laat de foto op de tweede titelpagina zien.

Met gelijmde opbouw van doorsneden, zoals voor een kozijn, wordt ook een betere maat- en vormstabiliteit verkregen (Figuur 16). Er treedt dan nl.



Figuur 16. Gelamineerde kozijnstijl met sponning

minder kromming en scheluwte op als gevolg van het voordrogen, zodat het 'werken' van de samenstellende delen ten opzichte van elkaar wordt verhinderd.

Een duidelijke tendens valt te constateren tot het in voorraad vervaardigen van gelamineerde elementen van Europees naaldhout in grotere doorsneden en lengten dan in gezaagd hout beschikbaar zijn en tot het gelijmd opbouwen uit kleinere elementen.

Men kan op deze wijze ook plaatmateriaal vervaardigen met groter oppervlak dan met gezaagde delen mogelijk is. Triplex is een sprekend voorbeeld. Daarbij worden tevens de bezwaren verkleind van de anisotropie (verschillen in eigenschappen loodrecht op en evenwijdig aan de vezelrichting).

De opbouw van constructies met handelshoutsoorten en -kwaliteiten en daarop afgestemde vervaardigingstechnieken kan eveneens energiebesparend en milieuvriendelijk zijn. Voor draagconstructies kan men dan denken aan vakwerken van handelshout met mechanische, meestal metalen verbindingsmiddelen (zie Figuur 19 waar draadnagels zijn gebruikt). Voor een beschouwing over deze verbindingsmiddelen, zoals draadnagels, bouten, kramplaten, ringdeuvels en houtdraadbouten, zij verwezen naar [103].

De ontwikkeling van houten draagconstructies wordt mede bepaald door de mogelijkheden die mechanische verbindingsmiddelen bieden. Voor grote krachten bij grotere constructies worden steeds meer stiften toegepast, dat zijn stalen penen door voorgeboorde gaten.

Het gebruik van gezaagd hout is doelmatiger naarmate de uit een stam verkregen maten zodanig zijn dat een optimum van het totale volume een hoogwaardige bestemming kan krijgen. Voor grote stamafmetingen, zoals van azobé, betekent dit, dat uit de schaaldelen en eventueel de kern nog allerlei afmetingen worden verkregen, bijv. van 20/20 mm tot 50/50 mm, die dienstbaar kunnen zijn voor o.a. afrastering en walbeschoeiing. Zou een deel van deze markt worden weggenomen (bijv. door de recent op de markt gebrachte, uit fabrieksafval van kunststof met enig speciaal papier vervaardigde, kunstvezelpaaltjes [104]), dan zouden de bedoelde zaaghoutrestanten misschien een minder waardevolle bestemming moeten krijgen. Beschouwen we echter de totaliteit van ons grondstof- en energiegebruik en de daarmee gepaard gaande milieubeïnvloeding, dan zien we dat de milieuvervuilende kunststofrestanten momenteel veel minder toepassingsmogelijkheden hebben dan houtrestanten. Overigens kan met bedoelde kunstvezelpalen niet meer dan een zeer klein gedeelte van het fabrieksafval worden gebruikt.

Voor een doelmatig gebruik van hout in de bouw is het van bijzonder belang dat het werken (vooral de relatief sterke krimp en uitzetting loodrecht op de vezelrichting, door het variërend relatieve vochtgehalte van de lucht), wordt beperkt. Daartoe moet het hout bij voorkeur worden ingebouwd met een door kunstmatig drogen verkregen vochtgehalte dat overeenkomt met het in de betrokken ruimte te verwachten gemiddelde houtvochtgehalte. Het inbouwen van hout, bijv. kozijnen en ramen in gevels, moet zodanig geschieden dat hernieuwde vochtopname (met kans op schimmelaantasting) wordt geminimaliseerd [105].

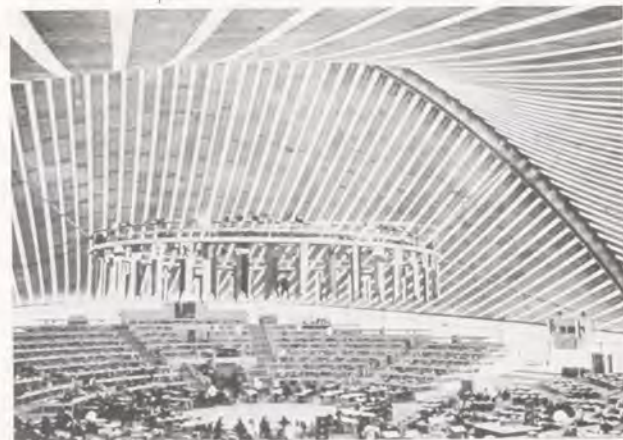
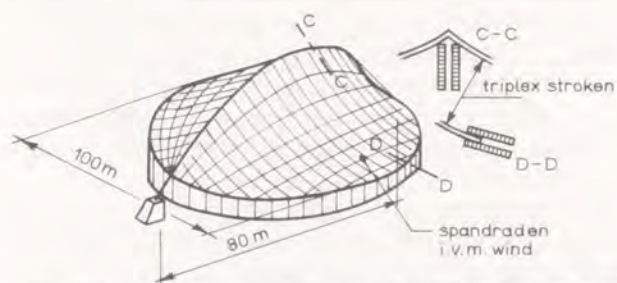
Een andere tendens is de toenemende belangstelling in de bouwwereld voor gestandaardiseerd maatvast bouwhout dat door doelmatig drogen en schaven wordt verkregen. Daarmee kan ook een vlottere verwerking en afwerking in de bouw worden bewerkstelligd; men denke bijv. aan balkhout en stijl- en regelwerk in de houtskeletbouw [93].

Niet slechts de genoemde maatregelen, maar ook selectie en kwaliteitsindeling naar sterkte, alsmede chemische bescherming, beogen alle wat wel houtveredeling wordt genoemd. Veredelingsmaatregelen zullen als regel niet alleen een kosten/batenanalyse, maar ook een beoordeling naar energie- en milieuvriendelijkheid moeten kunnen doorstaan.

Het zou ideaal zijn als de hygroscopische eigenschappen van de houtcelwanden met niet te kostbare middelen zouden kunnen worden geëlimineerd, zodat het houtvochtgehalte kan worden gestabiliseerd op minder dan 21%. Daarmee zou tevens de kans op schimmelaantasting praktisch zijn uitgesloten. Deze stabilisering zou zodanig moeten geschieden dat geen ongewenste eigenschappen worden versterkt of toegevoegd.

Laboratoriumonderzoek in deze richting ligt in de verdere verwachting. Voorts is onderzoek nodig naar de verschillen in invloed van kortdurende en langdurende belastingen en de daarmee verband houdende verschijnselen van kruip en relaxatie. Verder komen voor onderzoek in aanmerking de grote verschillen in sterkte, vooral evenwijdig aan en loodrecht op de vezel. Dit laatste komt veelal sterk tot uiting bij de toepassing van mechanische verbindingsmiddelen. Ter vergroting van de samenhang loodrecht op de vezel is in het Stevinlaboratorium (TH Delft) reeds met enig succes dunne staalplaat of met glasvezel gewapende polyesterplaat opgelijmd.

De studie van de invloed van mechanische belastingen op de microstructuur zal de mogelijkheden voor uitbuiting van het natuurproduct wellicht verder kunnen vergroten.



Figuur 17. Feestthel te Lausanne 1964, 80 m bij 100 m vrij overspannen.

Tot slot van deze paragraaf zijn een foto en een figuur opgenomen van een toepassing van hout in dragende constructies (Figuur 17). Hier zijn grote, gelamineerde bogen toegepast in combinatie met hangstroken van triplex. Deze stroken zijn met behulp van schuine lijmassen gevormd tot lengten van wel 60 m. Zij hangen tussen de beide nagenoeg horizontaal aangebrachte bogen (topafstand 100 m) en de boog met 80 m overspanning die in het verticale symmetrievlak is opgesteld. Andere moderne toepassingen zijn te vinden in [91, 92, 106, 107].

3.5. Vervaardiging en gebruik van fineer en triplex

Het fabricageproces van fineer en triplex komt hier slechts aan de orde voor zover het van belang is vanwege energie- en milieu-aspecten. Daarna wordt het gebruik van fineer en triplex behandeld.

Onder triplex wordt tevens z.g. multiplex verstaan [108].

Energie-aspecten

Het fineer wordt verkregen door schillen, of door steken van ontschorste ronde stammen. De stammen worden in een ontschorsingsmachine van de schors ontdaan; dit vraagt voor een stam van 1 meter diameter en 2,70 meter lengte ca. 6 MJ (orde $0,7 \text{ MJ/m}^2$), zie [109]. De stammen worden daarna meestal in een kook- of stoomput zachter gemaakt om zo fineer met gladder oppervlak te verkrijgen. De hiervoor benodigde energie is o.a. afhankelijk van de dampdiffusieweerstand van de soort en van de grootte van de stamdoorsnede. Bij stammen met een diameter van 0,8 m en een dichtheid van 500 kg/m^3 is energie nodig in de orde van grootte van 1.000 MJ/m^3 . Dit grote bedrag hangt samen met het relatief geringe rendement. De doelmatigheid van de desbetreffende installaties vraagt daarom speciale aandacht [109].

Voor de fineerschilmachine is bij een gemiddelde fineerdikte van 2,5 mm en een dichtheid van 500 kg/m^3 ca. 200 MJ/m^3 nodig.

Daarna wordt het fineer kunstmatig gedroogd. Dit is nodig om een gelijkmatig en laag vochtgehalte te verkrijgen, om het hout stofvrij en goed bevochtigbaar door lijm te maken en om de platen zo veel mogelijk spanningsvrij te maken. Het vergt gemiddeld 2.000 à 2.500 MJ/m^3 . Evenals bij het stomen, is hier de vraag hoe deze grote hoeveelheid energie zou kunnen worden verminderd.

Vervolgens worden fineerpakketten gereedgemaakt voor de pers. Zo'n pakket bestaat uit tweezijdig van vloeibare lijm voorziene fineerplaten afgewisseld met platen zonder lijm, of uit fineerlagen met afzonderlijke lijmvliezen daartussen. Bij gemiddelde fineerlaagdikte gaat het om lijmhoeveelheden van $1\frac{1}{2}$ tot 3% (gewicht). De platen van de pers worden vaak met stoom verwarmd. Per m^3 ge-

reed produkt (triplex) is 600 MJ aan energie nodig. Dit is inclusief afwerking, opslag en intern transport.

Milieu-aspecten

Het drogen van fineer en de conditionering van de uit de pers komende triplexplaten vragen geen bijzondere milieumaatregelen. Daar het drogen van het fineer als regel in afgesloten ovens plaatsvindt, heeft dit nl. geen invloed van betekenis op het binnenmilieu.

Wel dient aandacht te worden geschonken aan de invloed van de hoge temperaturen – soms tot ca. 160°C – waarmee de veelal gebruikte lijmsorten fenol-formaldehyde en melamine-formaldehyde (al of niet gemengd met ureum) worden geperst [110]. Deze temperatuur roept problemen op voor het bedienende personeel. Ook kunnen zich nadelige gevolgen voordoen voor de constructie van de fabriek, vooral direct boven de persen, tengevolge van opstijgende hete lucht.

Bij het lijmp proces kan verontreiniging van de binnenlucht optreden. Er kan nl. uit de lijm formaldehydegas vrijkomen. Dat is door zijn prikkelende werking voor de meeste mensen erg hinderlijk. Dit probleem, dat zich in versterkte mate voordoet bij de spaanplaatfabricage, wordt in par. 6 nader besproken.

Gebruik van fineer en triplex

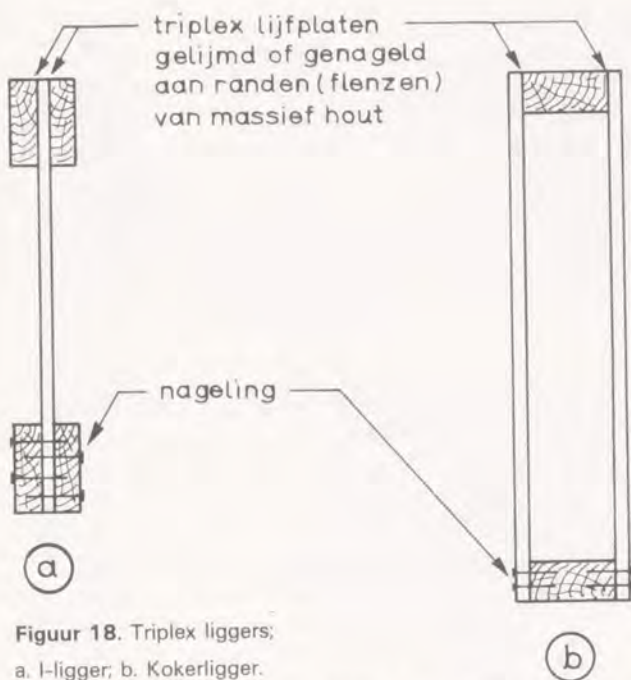
Het gebruik van fineer in de meubel- en houtindustrie geeft geen aanleiding tot speciale opmerkingen met betrekking tot energiegebruik of milieu-invloeden. Fineren werden aanvankelijk veel gebruikt bij het maken van meubelplaat, maar deze plaat werd al spoedig voorbijgestreefd door de in één procesgang geheel van fineer vervaardigde triplexplaat (zie Tabel 3c). Voor de toekomst wordt dan ook geen uitbreiding van het gebruik van meubelplaat verwacht.

De mogelijkheden voor het gebruik van triplex hangen o.a. samen met de dichtheid (tussen 450 en 750 kg/m^3), de plaatdikte (4 tot 25 mm) en de plaatgrootte. Een veel voorkomende plaatmaat is 2,44 m bij 1,22 m met het dekfineer in langsricting. Bij eenzelfde dikte kan het aantal fineerlagen verschillen, ook kunnen de dikten van de afzonderlijke fineerlagen ongelijk worden gekozen.

Door de plaatvorm biedt triplex in de bouw (bijv. voor bekleding, voor vloeren en daken en in mindere mate ook voor draagconstructies) veel eigen mogelijkheden.

Uit het voorgaande is echter gebleken dat dit wel ten koste gaat van veel aan het materiaal toegevoegde energie. Alles bij elkaar is voor de produktie van 1 m^3 triplex ca. 4.000 MJ aan energie in allerlei vorm nodig geweest.

Vermelding verdient nog het feit dat na de Tweede Wereldoorlog de produktie van triplex in ontwikkelingslanden, vooral in Oost-Azië, in versneld tempo



Figuur 18. Triplex liggers;
a. I-ligger; b. Kokerligger.

is opgekomen. Daardoor blijft voor West-Europa nog slechts de productie van bijzondere soorten en kwaliteiten over.

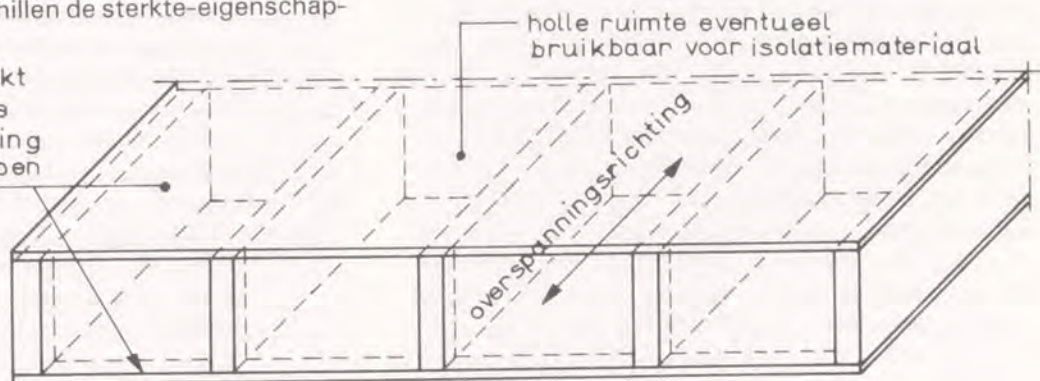
Triplex in scheidende constructies dient meestal voor bekleding of decoratie. Het komt dan speciaal aan op de keuze van de dekfineerlaag, d.w.z. van de kleur en tekening van de daarvoor te gebruiken houtsoort. Ook kan fineer worden aangebracht op ander materiaal dan hout.

Voor buitenbekledingen en bijv. ook voor betonbekistingen worden speciale kwaliteiten gebruikt, nl. klimaatbestendig verlijmd, c.q. waterwerend en/of verduurzaamd (z.g. duurzaamheidsklassen 'exterieur 1 of 2') [111].

Voor draagconstructies en constructies waarbij dragen en scheiden zijn geïntegreerd, maakt men gebruik van de z.g. constructie-triplex-kwaliteiten. Triplex heeft als groot voordeel dat het minder werkt, ook in grote oppervlaktematen. De relatief geringe krimp in de lengterichting van de vezel vormt nl. een belemmering voor de dwarskrimp van de aanliggende fineerlagen.

Dankzij de gekruiste vezelrichting van de samenstellende fineerlagen heeft triplex grote weerstand tegen afschuiven in vlakken loodrecht op het plaatvlak. Bovendien verschillen de sterkte-eigenschap-

"stressed-skin" principe: huid werkt mee door adequate verbinding in richting overspanning ribben

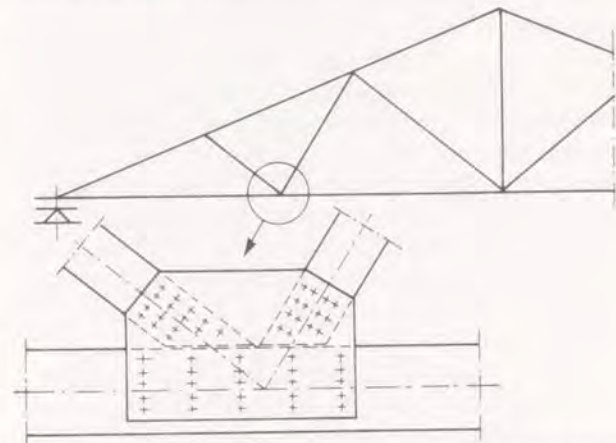


Figuur 20. Dubbelhuidig ribpaneel met huiden van triplex.

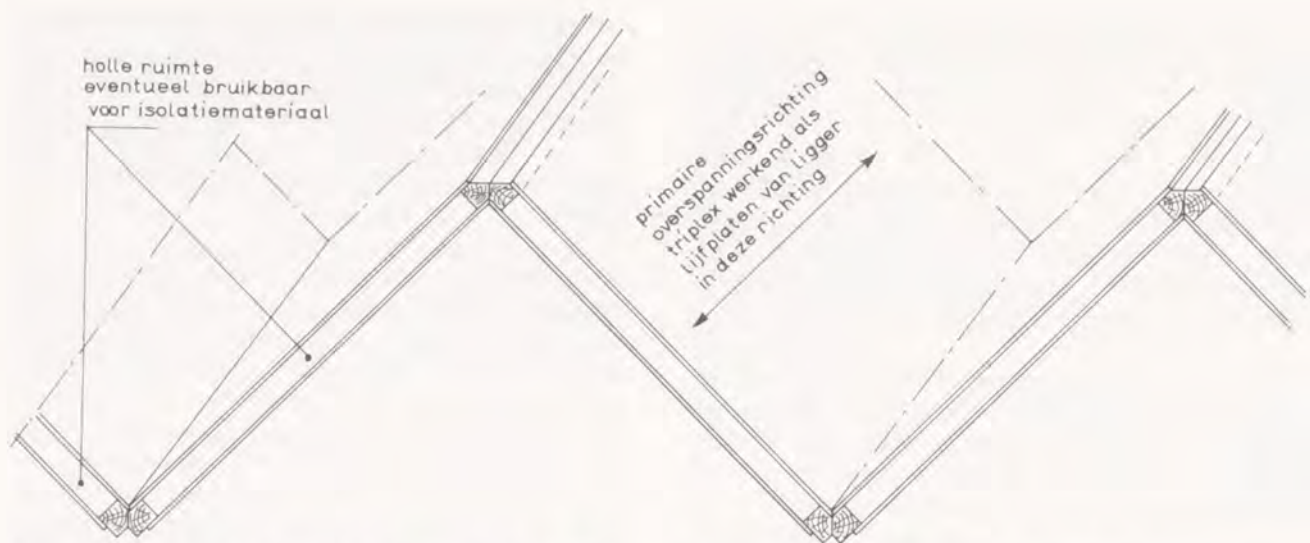
pen in de hoofdrichtingen minder dan bij massief hout. Door deze eigenschappen is triplex speciaal geschikt voor lijfplaten van I- en kokerliggers (Figuren 18a en b), voor knoopplaten van vakwerken (Figuur 19) en voor enkel- en dubbelhuidige ribpanelen, waarin het triplex als 'stressed-skin' fungeert (zie Figuur 20 en [112]).

Deze moderne draagconstructieve toepassingen van triplex vinden veelal plaats vanuit de timmerindustrie. Genagelde knoopplaten en panelen zijn naar het constructief ontwerp eventueel ook direct door de aannemer-timmerman op de bouwplaats uit te voeren. Een interessante toepassing is ook het triplex vouwdak (Figuur 21), waarbij de constructie primair een kokerligger is en voorts loodrecht op zijn vlak belast dubbelhuidig ribpaneel. Hier is de scheidende functie geïntegreerd met de dragende.

Door in de holle ruimte van een triplexpaneel isolatiemateriaal aan te brengen, wordt veelal de scheidende functie nog geaccentueerd. Zo kan op energie voor ruimteverwarming worden bespaard. Deze integratie van de dragende en scheidende functies van een bouwconstructie vindt ook plaats bij de houtskeletbouw voor woningen. Deze houtskeletbouw lijkt vooral een bouwwijze voor de toekomst omdat zij zich uitmuntend leent voor betere bouw fysische kwaliteit (o.a. warmte-isolatie).



Figuur 19. Vakwerk met (tweezijdig) genagelde triplex knoopplaten.



Figuur 21. Vouwdak met dakhuid en plafond van triplex en met randen (zie goot- en noklijnen) van massief of gelijmd hout.

Toekomst

Naast bovenbedoelde trend naar integratie van dragende en scheidende functies, is er een tendens naar een toenemend gebruik van triplex voor daken en vloeren. Bij het aanbrengen van beplankingen kan grote tijdwinst worden gemaakt, vooral door gebruik van met (schuine) lijmassen gemaakte grote lengten. De lengte kan wel tot viermaal een handelslengte van 2,44 meter bedragen.

Voor draagconstructief gebruik valt ook te denken aan allerlei diktevariaties van de opeenvolgende fineerlagen, bijv. voor 'stressed-skin'-constructies (Figuur 20). Hierbij fungeert triplex als dakhuid of vloer tussen de ribben of de balken. De 'stressed-skin'-functie houdt in dat de samenwerking met rib of balk door doelmatige verbinding (lijmen, nagelen of nieten) zodanig is, dat het triplex in de balkrichting als één geheel met de rib of balk gaat meewerken.

Steeds talrijker worden de toepassingen van triplex met decoratieve of op gebruiksdoeleinden afgestemde deklagen, ook van kunststof.

Bij de in de VS veelvuldig toegepaste houtskeletbouwwijze (timber frame construction) [93] bestaat de neiging goedkoper materiaal¹⁾ toe te passen. Triplex wordt gehandhaafd voor vloer en dakhuid en op de hoeken van de buitenwanden. Dit laatste ter verzekering van de stabiliteit van het wandskelet. De skeletconstructie wordt dan verder met het zoveel goedkopere zachtboard bekleed. Dat vraagt bovendien minder energie per volume eenheid bij de fabricage.

Een andere in de VS gesignaleerde ontwikkeling is het op elkaar lijmen van fineerlagen met onderling gelijke vezelrichting, waarbij pakketten finer tot enigszins gereduceerde totaaldikte in elkaar worden geperst. Dit z.g. microlam – te vertalen als fineerhout – heeft reeds interessante constructieve toepassingen gekregen.

3.6. Verspaning van hout; vervaardiging en gebruik van spaanplaat en van met cement of magnesiet gebonden houtwolplaat

Spaanplaat

Reeds eerder werd gewezen op het streven naar doelmatig gebruik van de grondstof hout. Door hout dat niet als zaaghout bruikbaar is te verspanen tot spaantjes ter lengte van 2–20 mm en dikten van 0,5–3 mm of tot z.g. snijspanen met een dikte van 0,1–0,5 mm verkrijgt men als het ware een nieuwe grondstof. Deze is zeer geschikt om met kunstharsmen tot platen te worden verwerkt. Zulke platen zijn uitnemend bruikbaar voor allerlei bouwkundige en andere toepassingen.

Afhankelijk van de persdruk, de houtsoort en de laagopbouw (soms fijner materiaal in de buitenlagen), bedraagt de dichtheid 500 tot 700 kg/m³. Hoewel de sterkte en de stijfheid van spaanplaat minder zijn dan die van triplex, hebben spaanplaten door de relatief lage prijs voor talrijke toepassingen triplex vervangen.

Kollmann [109] wijst op de oorzaken waardoor spaanplaat pas sinds de Tweede Wereldoorlog in belangrijke mate in productie is gekomen. De voornaamste oorzaak was dat eerst inzicht moest worden verkregen in de relatie tussen lengte, dikte en breedte van de spanen en de daardoor bepaalde mogelijkheden van verlijming. Tevens was kennis nodig over de invloed van de verlijming op de sterkte-eigenschappen van de plaat en over de vervaardigingseconomie. Kollman [109] geeft de door W. Klauwitz (1955) voor naaldhout gevonden relatie tussen spaandikte, dichtheid en buigsterkte bij een lijmgelalte van 8%. De lijm wordt meestal toegepast in de vorm van in water opgelost poeder of

¹⁾ Thans verhouden de prijzen van constructie-triplex, spaanplaat en zachtboard zich ongeveer als 3:2:1.

korrels. Kollmann geeft ook een relatie tussen dichtheid en buigsterkte voor verschillende houtsoorten bij eenzelfde spaanmaat. Naaldhout blijkt bijvoorbeeld in dit opzicht aanzienlijk gunstiger te zijn dan beuken.

Opdat dit relatief goedkope materiaal zo goed mogelijk kan worden uitgebuit, is er een toenemend streven tot kwaliteitsbeheersing, ook ten aanzien van de sterkte-eigenschappen.

Energiegebruik

In grote trekken laat het proces zich onderverdelen in het vervaardigen en conditioneren van de spanen, het lijmen- en persproces, de conditionering van de platen, hun afwerking, alsmede opslag en transport. Anders dan bij triplex, waar finer als halffabriekaat is te beschouwen, is hier een meer continue procesgang. Deze vraagt voor het totale productieproces van spaanplaat met een dikte van 19 mm en een dichtheid van 600 kg/m^3 , ca. 2.100 MJ per m^3 .

Milieu-aspecten

Doordat nagenoeg al het ingevoerde materiaal, behoudens het af te scheiden stof en vuil, in de platen kan worden verwerkt, is er weinig afval. Aandacht vraagt wel de bij de persen afgegeven warmte. Dit werd ook al bij de triplexfabricage genoemd. Het gaat hier om temperaturen van de persplaten van ca. 150°C [109]. Het is denkbaar dat hierdoor boven in het gebouw luchttemperaturen optreden die op den duur schadelijk kunnen zijn voor bepaalde delen van de gebouwconstructie, bijv. voor gelijkde houten spanten. Dit kan worden voorkomen door doelmatig ontwerpen van de totale constructie en door doelmatig ventileren.

Indien in water opgeloste lijm wordt gebruikt, verdampst het meeste water bij het persen. Het wordt in hoofdzaak in het hout opgenomen. Dat moet daartoe voldoende zijn voorgedroogd.

Op sommige plaatsen nabij de machines zullen geluidsniveaus optreden die gehoorbeschermingsmiddelen nodig maken.

Bij de veelal toegepaste ureum- of fenol-formaldehydelijmen moet er op worden gelet dat de concentratie van formaldehydegas in de werkruimte niet te hoog kan worden. De Arbeidsinspectie heeft daar de MAC-waarde (maximaal aanvaardbare concentratie) op $3 \text{ mg formaldehydegas per m}^3$ lucht gesteld. Hiermee wordt de hinderlijke prikkeling vermeden.

Ook na de fabricage kan gedurende een zekere tijd (tot enkele jaren) nog formaldehydegas vrijkomen. Dit heeft aanleiding gegeven tot klachten in woningen en gebouwen waarin spaanplaat was verwerkt. Van de zijde van het Houtinstituut TNO en het Centrum voor Houtresearch [113, 114] is als remedie voorgesteld de gasafgifte tegen te gaan door verven met een speciale verf.

Voor woonruimten (blootstelling tot 24 uur per

dag) is een veel lagere norm voorgesteld, nl. een MAC-waarde van $0,12 \text{ mg/m}^3$.

Volgens Petersen [115] is de afsplitsing van formaldehydegas de helft minder wanneer de belijmde spanen een vochtgehalte hebben van 10% in plaats van 15 tot 16%. In die richting zouden bijv. bepaalde eisen aan het productieproces kunnen worden gesteld.

In dit verband zij er op gewezen dat spaanplaat nogal poreus van structuur is. Triplex, dat dikwijls eveneens met formaldehydehoudende lijmen en ook bij perstemperaturen van 150 à 160°C wordt bereid, heeft, voor zover bekend, geen klachten over formaldehydegas veroorzaakt. Wellicht is dit te danken aan het feit dat bij triplex de formaldehydehoudende lijm minder met de buitenlucht in aanraking komt.

Houtwolcementplaat

Veel gebruikt worden platen waarin houtwol met cement of met magnesiet wordt gebonden. Deze platen zijn gemaakt van lange, smalle houtkrullen met dikten van $0,03$ – $0,5 \text{ mm}$ en breedten van $0,5$ – 5 mm . Deze houtwol wordt op houtwolmachines geschaafd van rondhout met een diameter van 100 tot 400 mm , een lengte van $0,50 \text{ m}$ en een vochtgehalte van ca. 25%. Bij een ander procédé wordt het rondhout geschild, waarna het geschildte hout roterend tot houtwol wordt gestanst. De gewichtshoeveelheden houtwol, cement en water in het te persen mengsel verhouden zich gemiddeld als $1 : 2 : 1$. De dichtheid van de geperste en gedroogde/verharde plaat varieert tussen 570 en 360 kg/m^3 bij plaatdikten van 15 , resp. 10 mm . Volledig geautomatiseerde productie van houtwolcementplaten, met schaven, mengen en persen in één bedrijfspgang, vraagt ca. 45 MJ per m^3 plaat. Evenals de productie van de lijm bij de spaanplaat, blijft hier de cementproductie buiten beschouwing. Door hun open structuur vinden houtwolplaten vooral daar toepassing waar warmteïsolatie of geluidsabsorptie wordt beoogd.

Cement-gebonden spaanplaat is sinds kort eveneens in productie genomen. De geringere sterkte bij gelijke afmetingen maakt dat deze plaat, anders dan de gelijkde spaanplaat, vooral geschikt is voor isolatiedoeleinden. Het productieproces vraagt hier weer extra energie voor versnelde conditionering.

Toekomst

In de toekomst zal het verspanen wellicht steeds meer worden toegepast. De relatief lage waarde van de elasticiteitsmodulus van spaanplaat blijft misschien een zeker bezwaar opleveren bij het gebruik in draagconstructies.

Ook indien maatregelen voor versnelde boomgroei meer toepassing gaan vinden, zal het beschikbaar komen van meer zaaghout gepaard blijven gaan met de productie van voor verspanen bruikbare afval.

Te verwachten valt een voortgaand streven tot kwaliteitsbeheersing, vooral indien toepassing van plaatmateriaal voor draagconstructies wordt overwogen

3.7. Vervezeling van hout, vervaardiging en gebruik van vezelplaat

door J. van der Horst

Grondstoffen

Vezelplaten, waaronder ook hardboard en zachtboard worden gerekend, bestaan uit grondstoffen die behalve cellulose en hemicellulose ook nog lignine of houtstof bevatten.

Oorspronkelijk werden deze vezelplaten voornamelijk gemaakt uit naaldhout. Door de toenemende vraag naar deze platen en door de grote vraag naar naaldhout door de papierindustrie, is men er toe overgegaan voor vezelplaat ook loofhout te gebruiken. Slechtere houtsoorten en houtresten zoals afvallen van houtverwerkende industrieën zijn eveneens een belangrijke bron van grondstoffen geworden. Niet onbelangrijk is ook het gebruik van stro en sommige andere landbouwgewassen.

Tegenwoordig is rondhout met grotere diameter te duur voor dit doel. Rondhout met kleinere diameter of met groeigebreken of houtgebreken van andere aard is nog wel betaalbaar voor vezelplatenproductie.

Afvallen in bulk worden uiteraard geleverd in zeer variërende grootte, vorm en soort.

Landbouwgewassen zoals stro, vlas, riet, bagasse, maïsstengels e.d. moeten liefst droog en met zo weinig mogelijk vuil worden afgeleverd.

Principieel wordt de sterkte van vezelplaten gevormd door de vervilting van het vervezelde materiaal en door inwendige bindingskrachten. In wezen is dit hetzelfde principe als waardoor papier en karton hun sterkte krijgen. Verdichting van de vervilte platen door druk, al dan niet met verwarming, en door toevoeging van kleefstoffen dient om de inwendige bindingssterkte te verkrijgen. Zonder toepassing van persdruk verkrijgt men weinig sterke en nogal poreuze platen.

Het is dus nodig de grondstoffen voor de vezelplaten uiteen te rafelen. Meestal worden zij door een thermo-mechanische behandeling in vezel(bundels) verdeeld. Die kunnen dan dienen als uitgangsmateriaal voor de gehomogeniseerde vezelplaten. Aan dit uitgangsmateriaal worden de nodige eisen gesteld.

- Het technisch bruikbare deel van de grondstoffen moet groot zijn. Bij naaldhout is dit zeer hoog (91 tot 95%), vandaar de belangstelling voor naaldhout. Loofhout heeft met 66% een veel lager rendement; bij eenjarige planten is het ren-

dement slechts 25%. Door dit rendement wordt uiteindelijk de economische bruikbaarheid voor vezelplaten bepaald.

Uiteraard moet het bruikbare deel zo goed mogelijk worden benut door een zo volledig mogelijke vervezeling. Wat er dan nog aan onrendabel materiaal aanwezig is, (parenchymcellen, houtvaten, merg e.d.) dient als vulstof in de plaat. Het verstoort echter een goede vervilting en vezelbinding en mag daarom slechts in gering percentage aanwezig zijn. Alles wat niet in de vezelplaat komt, veelal fijn materiaal, komt in het afvalwater en belast als zodanig de waterzuivering.

- Naaldhout (met relatief lange, buigzame, ruwere vezels) is beter als grondstof voor platen die worden gefabriceerd volgens het natte proces, terwijl loofhout (met kortere, gladdere vezels) beter is in het droge proces. Dikwandige vezels zijn slecht vervormbaar in de warme persbehandeling en daarom minder geschikt om platen met een glad oppervlak te verkrijgen.
- Hoe beter de vezels bij de maling zijn uiteen gerafeld, des te betere sterkte-eigenschappen het plaatprodukt kan vertonen.
- De cellulose-vezel levert het geraamte, de min of meer thermoplastische hemicellulosen en de lignine veroorzaken in de warme persbehandeling de onderlinge binding; eventueel wordt deze binding versterkt door toevoeging van hulpstoffen.

Verwerking van de grondstoffen

De vezelplaten kunnen al naar gelang de persing worden ingedeeld in:

1. niet geperste platen dichtheid 250– 400 kg/m³
2. geperste platen
 - a. halfharde platen dichtheid 400– 850 kg/m³
 - b. harde platen dichtheid 850–1000 kg/m³
 - c. extra harde platen dichtheid 1000 kg/m³ en meer.(De FAO heeft een indeling in 7 groepen opgesteld, waarop niet nader wordt ingegaan).

De niet geperste platen worden na de vorming alleen gedroogd, zij zijn poreus en geschikt voor isolatie; echter niet sterk. Ze worden gemaakt volgens het natte procédé.

De geperste platen worden door (hete) persing verdicht en daardoor sterker. Worden extra harde platen vereist, dan worden hardingsstoffen toegevoegd.

Om uit de grondstof de vezels in de voor de vezelplaten geschikte toestand te bereiden, bestaan de volgende drie procédés

1. Het natte proces, waarbij het vocht op vezels 100% of meer bedraagt.

2. Het droge proces, met een vochtigheid van 5–10%.
3. Het halfdroge proces met 12–45% vocht. Deze processen worden in het kort beschreven. Gedetailleerde beschrijving is te vinden in [59, 116, 117, 118, 119].

Het natte proces

Het houtafval wordt verkleind en vervezeld met behulp van achtereenvolgens een hakselmachine, een kruisslag- of een hamermolen en een defibrator. Het elektrische energiegebruik van de hakselmachines is ongeveer 10 MJ per m³ rondhout en ca. 4 MJ per m³ afvalhout. De hamer- of kruisslagmolen gebruikt ongeveer 2 MJ per m³ hout. Bij deze bewerkingen treedt een verlies op van 1% aan rondhout en 4–5% aan afvalhout door de vorming van te fijn stof. Na de defibrator wordt het materiaal tot een suspensie met ca. 0,5% vaste stof in water gemengd en gesorteerd, waarna nog een na-maling plaats vindt.

Elk van deze genoemde behandelingsstappen vindt plaats onder de voor die stap gunstigste temperatuur, druk, concentratie aan vaste stof en doorvoersnelheid.

Hulpstoffen voegt men toe om de sterkte, de waterafstotendheid en eventueel de elasticiteit te verbeteren. Enkele procenten aan fenol-formaldehydharz of ureum-formaldehydharz worden toegevoegd om de inwendige binding en dus de sterkte van de vezelplaten te verhogen. Bovendien worden de platen daardoor minder gevoelig voor achteruitgang in sterkte door vocht.

Om de waterafstotendheid te verbeteren, worden ook paraffines en wassen gebruikt tot een maximum van 1 tot 2%. Bij een hoger percentage gaan de sterkte-eigenschappen van de plaat achteruit.

De waterafstotende werking van paraffine en was berust op het verstopping van de capillairen in de vezelplaat.

Om de elasticiteit te verbeteren, behandelt men de geperste nog hete vezelplaten met drogende oliën. Wat betreft de vele andere mogelijkheden zoals bijv. het brandwerend resp. brandvertragend maken of de toevoeging van fungiciden, wordt verwezen naar de literatuur [116, 120, 121, 122, 123].

Om uit de gerede 'heelstof' vezelplaten te maken staan verschillende machines ter beschikking.

In ieder geval zijn nodig een gietvorm, een ontwateringsfase en een persfase.

Bij alle machines is het de bedoeling de vezelsuspensie (voldoende voorbereid en voorzien van de nodige hulpstoffen) tot een homogene plaat te kunnen verwerken.

Het gevormde vezelvlies wordt, nadat het is ontwaterd, geperst om daardoor een grotere sterkte te verkrijgen en om ook nog zoveel mogelijk water te verwijderen.

Het water dat wordt verwijderd, is niet vrij van vaste bestanddelen en wordt dan ook als retourwater opnieuw gebruikt. Deze vaste deeltjes gaan dus niet verloren. Voorzover op zeker ogenblik water moet worden geloosd, zijn er zuiveringsapparaten die deze deeltjes afvangen.

Na het persen worden de platen gedroogd en daarna wordt vocht in gedoseerde mate toegevoegd teneinde de vochtigheid aan te passen aan de uiteindelijke gebruiksomstandigheden.

Afvalwaterreiniging

Het meeste afvalwater wordt als retourwater opnieuw gebruikt. Tabel 5 geeft een indruk van wat er in dit water aanwezig kan zijn.

Tabel 5. Analyse van het aflopende proceswater bij de verwerking van enige grondstoffen tot vezelplaat.

Grondstof	Bezinking na 2 uur, in ml/l	pH	Zuurstofverbruik	
			CZV mg/l	BZV mg/l
Raapstro	7 – 11	5,3 – 6,6	650 – 2.020	280 – 450
Rijststro	40 – 52	3,8 – 6,8	1.000 – 10.000	480 – 2.000
Spar	6 – 26	3,6 – 4,9	1.000 – 10.000	340 – 2.000
Den	8 – 12	3,5	1.000 – 5.500	1.100 – 2.400

Het te lozen surplus aan afvalwater bevat naast de gesuspendeerde verontreinigingen van anorganische en organische oorsprong ook opgeloste zouten zoals bicarbonaten, sulfaten en chlorides van calcium en magnesium; verder nog vrije zuren, opgeloste gassen en opgeloste organische stoffen. Mechanische reiniging kan bijv. plaatsvinden met een trommelfilter, die alle niet-opgeloste stoffen tegenhoudt. Dit slib bevat zeer veel vezelmateriaal en kan in gedoseerde hoeveelheden naar de mengkuipen worden teruggevoerd.

Een andere methode is de verontreiniging in het af-

valwater in grote conische vaten te laten bezinken en na ca. 1½ uur de onderin verzamelde stof af te tappen. Dit geeft een zuivering van 80 tot 95%. Flotatiezuivering wordt bij de vezelplatenindustrie praktisch niet toegepast.

Na de mechanische zuivering wordt biologische zuivering toegepast.

Een veelheid van micro-organismen zorgt er voor dat met behulp van zuurstof de organische stof wordt afgebroken onder uiteindelijke vorming van kooldioxyde en water, in principe dus het omgekeerde van het assimilatieproces.

Het droge proces

Het principe hiervan is dat de vezels niet met behulp van water tot een plaat worden gevormd, maar door middel van lucht.

Alhoewel in principe elke houtsoort kan worden gebruikt, zijn loofhoutsoorten toch beter geschikt voor het droge proces. Naaldhout is beter geschikt voor het natte proces.

De opbouw van de platen is veel meer laagsgewijs dan bij het natte proces. Het gevolg hiervan is dat voor de middenlaag moeilijk te ontschorsen houtsoorten, zoals bijv. de eik, kunnen worden gebruikt. Met het oog op een goed uiterlijk worden aan de buitenkant van de platen goed ontschorste soorten gebruikt. Daar dit wel invloed heeft op de kwaliteit van de plaat, moet het percentage moeilijk te ontschorsen hout nauwlettend in de gaten worden gehouden.

Ook mengen van verschillende houtsoorten behoort tot de mogelijkheden. Daarbij moet er op worden gelet dat de dichtheden van de componenten niet te veel uiteenlopen. Bij de behandeling met lucht zou er een separatie kunnen optreden. Zo is een mengsel van haagbeuk (ca. 850 kg/m³) en populier (ca. 500 kg/m³) ongunstig.

De verkleining van het hout geschiedt net zo als bij het natte proces. De vervezeling, in dit geval meestal in zg. Bauermolens, kost aan energie ongeveer 40 MJ per ton vezelstof.

Hulpstoffen kunnen al tijdens de vezelstofbereiding worden toegevoegd omdat er geen afvalwater is waarmee chemicaliën verloren zouden kunnen gaan.

Toegevoegd worden insecticiden, fungiciden en brandvertragende middelen. Ook worden kunstharsen en wassen toegevoegd (gemiddeld ca. 2%). Na het vormen van de plaat wordt voorgeperst. Daarna kan eventueel nog een laag van fijne vezels worden aangebracht die het oppervlak van de plaat vlak en gesloten maken. Dit is voor latere oppervlakbehandeling met bijv. lak erg gunstig.

Tenslotte worden de platen nogmaals geperst en daarna eventueel geklimatiseerd.

Per dag kan per machine 300 ton 3,2 mm dikke vezelplaat worden gemaakt bij een zeefsnelheid van 56 m/min.

Het halfdroge proces

Twee procédés worden hier toegepast: het Amerikaanse proces, in het algemeen onder toevoeging van 1½% plakmiddel, en het Tsjechische proces, dat zonder plakmiddel toch harde vezelplaten levert.

Het Amerikaanse proces

Het verkleinen van het hout gaat op dezelfde manier als bij het droge proces. De vezels worden bij het verlaten van de defibrator besproeid met een plakmiddel.

De vezels worden met lucht of mechanisch op de zeef gebracht op soortgelijke wijze als bij het droge proces. Het voor- en napersen geschiedt eveneens soortgelijk.

Het Tsjechische proces

Bij het Tsjechische proces worden geen plakmiddelen gebruikt, daar de in het hout aanwezige bindmiddelen zelf worden benut. Verschillende houtsoorten, ook afval en strosoorten kunnen worden gebruikt. Er hoeft niet te worden ontschorst, omdat het grootste deel van de schors toch door de sorteerdors wordt verwijderd. Na hakken van het hout wordt het in een defibrator vervezeld onder hoge druk en met toevoeging van 1-1½% gesmolten paraffine.

Bladvorming met de min of meer natte vezels geschiedt mechanisch. Daarna wordt het blad geperst.

Nabeschouwing

Het volgende overzicht geeft een vergelijking tussen het natte en het droge proces voor het maken van vezelplaten van 3,2 mm dikte.

	Verbruik voor 1 ton vezelplaten							
	nat			droog				
hout	2,3	-	2,9	m ³	2,1	-	2,2	m ³
hars	0	-	25	kg	15	-	25	kg
paraffine	1,5	-	15	kg	11	-	20	kg
elektrische energie	1650	-	2160	MJ	2000	-	2200	MJ
warmte	6300	-	9700	MJ	5000	-	8400	MJ
water	55	-	80	m ³	7	-	10	m ³
rendement	80	-	85	%	90	-	95	%
max. dikte			6	mm			12	mm

Bij het droge proces wordt meer elektrische energie verbruikt dan bij het natte proces; dit wordt ongeveer gecompenseerd door het verschil in warmtebehoefte.

4. Houtversuikering

door ir. N.A. den Hartog

Zoals reeds eerder vermeld in dit hoofdstuk, is het mogelijk door hydrolyse met zuren de cellulose in zijn bouwstenen te ontleden. De glucosidische C-O-C binding kan door toevoeging van water (H-OH) worden gesplitst in twee glucosegroepen met ieder aan het eind een C-OH groep. Hieruit kan worden afgeleid dat het kristallijne gedeelte van de cellulose zich veel moeilijker zal laten splitsen dan het niet-kristallijne gedeelte of soortgelijke verbindingen. Verder wordt de cellulose in hout veel moeilijker door de hydrolyserende zuren aangetast dan reeds vrijgemaakte cellulose, zoals in pulp.

Uit onderzoek [70] is gebleken dat de hydrolyse van vrije cellulose een primaire reactie is, die bij toepassing van 40%-ig zoutzuur een hoogste opbrengst aan suikers geeft bij 30 minuten en 50°C. Een te lange verblijftijd bij een bepaalde temperatuur resulteert in afbraak door volgreacties van de gevormde suikers. Bij temperaturen beneden de 30°C vindt alleen hydrolyse plaats tot oligosachariden en niet tot primaire suikers.

Bij hydrolyse van hout daarentegen zijn de diffusiesnelheid houtinwaarts van het zuur en de afvoersnelheid van de gevormde suikers houtuitwaarts, bepalend. Uit dit onderzoek bleek verder dat het systeem zich wetmatig gedraagt, zodat deze diffusiesnelheden hoog konden zijn onder de volgende omstandigheden: verkleining van het hout tot zaagsel of poeder, verhoging van de concentratiegradient tussen hout en omgevende oplossing, voor suikers met kleinere moleculen, door verlaging van de viscositeit van de oplossing. De viscositeit kan worden verlaagd en de molecuulgrootte verkleind o.a. door temperatuurverhoging van het systeem.

Verhoging van de reactiesnelheid is mogelijk door de concentratie van het zoutzuur op te voeren. Dat vergt echter of drukverhoging of een lagere reactietemperatuur en dan met gasvormig zoutzuur en vochtig houtmateriaal. Om de zwelling van het hout en de sterke warmteontwikkeling door de oploswarmte van het zoutzuur in het houtvocht op te vangen wordt het gasvormig zoutzuur, evenals het houtmateriaal, tevoren gekoeld. Hierdoor kunnen dan opbrengsten aan suikers worden bereikt van 65% van het theoretisch mogelijke.

Een ander punt is dat de hemicellulosen uit het hout veel gemakkelijker en sneller hydrolyseren dan de cellulose. Bij behandeling van het hout met sterke zuren worden de snel gevormde suikers uit de hemicellulosen dan te lang aan de inwerking van deze zuren blootgesteld, zodat een deel van deze suikers wordt ontleed. Om dit te voorkomen, wordt in vele procédés een voorhydrolyse met verdund zuur toegepast en de gevormde oplossing apart behandeld.

Na afloop van deze prehydrolyse kan dan de hoofdhydrolyse volgen.

Afwijkend van de hydrolyse met zoutzuur verloopt de hydrolyse met geconcentreerd zwavelzuur, nl. via de vorming van een tussenverbinding, een cellulose-zwavelzuurverbinding genaamd amyloid, die dan later wordt afgebroken. Optimale resultaten met geconcentreerd zwavelzuur blijken te worden bereikt met een zuur van 72% sterkte bij een temperatuur van 20°C. Bij lagere zuurconcentraties belemmert de zwelling van het houtmateriaal het binnendringen van het zwavelzuur. Bij de hydrolyse met verdund zwavelzuur bleek het kristallijne cellulosegedeelte veel weerstand te bieden. Deze moeilijkheden kunnen echter worden overwonnen door toepassing van hogere temperaturen en drukken.

Op deze theoretische beschouwingen en proefondervindelijke waarnemingen zijn de eigenlijke industriële processen gebaseerd.

Bij deze industriële processen wordt zoutzuur of zwavelzuur toegepast, het zwavelzuur zowel in geconcentreerde als in verdunde vorm.

Deze processen zijn later geëvolueerd, dankzij de uitkomsten van verder onderzoek. Een van de grootste moeilijkheden die aanvankelijk moesten worden overwonnen, was het vinden van het geschikteste materiaal voor de wanden van de reactievaten. Dit materiaal moet bestand zijn tegen sterke zuren bij hoge temperaturen en soms hoge drukken en bovendien goed warmtegeleidend zijn teneinde het reagerende mengsel snel op temperatuur te kunnen brengen. Geleidelijk zijn hiervoor oplossingen gevonden, bijv. door gebruik van monel-metaal.

Daarnaast speelt bij alle processen de terugwinning van een zo groot mogelijk gedeelte van de gebruikte chemicaliën een belangrijke rol [60, 70, 77].

Processen gebaseerd op zoutzuur

Tussen de beide wereldoorlogen werd in Duitsland een procédé ontwikkeld op basis van geconcentreerd zoutzuur. Naar de persoon die het proces ontwikkelde en de plaats van de eerste grote installatie van dit procédé, werd dit bekend onder de naam Bergius-Rheinau.

Een betrekkelijk hoge concentratie van suikers werd bereikt door het hydrolysezuur in tegenstroom door een zestal gekoppelde diffusoren te sturen. Het zoutzuur werd uit de oplossing teruggewonnen door indamping onder vacuum, waarbij de warmte-overdracht verbeterde door het gebruik van inerte olie. Desondanks ging nog veel zoutzuur verloren door adsorptie aan de achterblijvende lignine.

Het Bergiusproces is later verbeterd door prehydrolyse van de hemicellulosen met 1% zoutzuur bij 130°C. Zodra na de Tweede Wereldoorlog de wereldhandel in riet- en bietsuiker weer vrij kwam, ble-

ken deze installaties niet meer rendabel te zijn. Ze zijn ontmanteld.

In Japan en de Sovjet-Unie zijn echter nieuwe procédés ontwikkeld, voortbouwend op de opgedane ervaringen. Het Japanse Nagachi-Chissoproces en het verwante Russische Chalowproces gebruiken gasvormig zoutzuur voor de hydrolyse van zaagsel. Men heeft daarbij een aantal technisch moeilijke problemen moeten oplossen, o.a. fluïdisering van de zaagselmasse ter voorkoming van klonteren. Uit de prehydrolyse wordt ruim 20% van de theoretisch mogelijke hoeveelheid suiker gewonnen en daarna uit de hoofdhydrolyse nog ruim 60%. Bij de terugwinning van zoutzuur is nog een posthydrolyse stap bijgebouwd. In totaal is het rendement 85–88%. De zuiverheid van de gewonnen suikers is hoog.

Bij een verwant proces wordt het zaagsel tijdens de behandeling met het zoutzuurgas gemalen in een uit kwarts opgebouwde installatie. Deze mechanisch-chemische methode zou een nog hoger suikerrendement opleveren.

Bij de bovenstaande methoden wordt door het vooraf koelen van zaagsel en gas de opname van zoutzuur in het hout bevorderd. Hierbij blijkt een toenemend vochtgehalte van het zaagsel een toenemend rendement aan suikers op te leveren en tevens de ontleding van de gevormde suikers te verminderen [60, 70].

Processen gebaseerd op zwavelzuur

Deze zijn te onderscheiden in processen met geconcentreerd en processen met verdund zwavelzuur. Ook hier is zaagsel het uitgangsmateriaal. De processen met geconcentreerd zwavelzuur werden gedurende de laatste wereldoorlog bestudeerd in de Verenigde Staten en Italië. Na de oorlog kwam dit proces tot uitvoering in Japan onder de naam Hokkaido-proces. Na prehydrolyse met 1,2 à 1,5%-zwavelzuur bij 180°C kan men uit de oplossing furfural winnen, bij 140 à 150°C kan men aldus xylose winnen. De hoofdhydrolyse vindt na droging en verdere vermalen van het zaagsel plaats door de beide componenten, 80% zwavelzuur en het verpoederde hout, door elkaar heen te verstuiwen. De reactie vindt dan zeer snel plaats, binnen 30 seconden, plaats en mag ook niet veel langer duren. Een belangrijk voordeel van dit procédé schijnt het lage energiegebruik te zijn. Het rendement bedraagt 83 tot 85% overeenkomend met 280 tot 290 kg kristallijne glucose per ton ovendroog hout.

De oorsprong van de processen met verdund zwavelzuur is het tegen het einde van de twintiger jaren in Duitsland ontwikkelde Scholler-Tornesch procédé. De naam duidt weer op degene die het ontwikkelde en op de plaats van de eerste installatie. Bij deze methode worden houtspaanders, die niet vooraf zijn gedroogd, intermitterend gepercoleerd met een 0,4% zwavelzuuroplossing bij 170°C en 8 atm. druk. Een verbeterde versie is ontwikkeld in

het Forest Products Laboratory in Madison, Wisc. in de Verenigde Staten van Amerika. De enorme installatie die volgens dit procédé zou gaan werken, was nog niet geheel gereed toen in 1945 de oorlog eindigde. Daarmee kwam een eind aan de schaarste aan alcohol. De installatie is nooit in gebruik gekomen.

Nog weer later zijn in de Sovjet-Unie opnieuw verbeteringen aangebracht, waardoor een zeer hoog rendement aan suikers zou kunnen worden bereikt. In de nieuwere Russische literatuur wordt daarnaast melding gemaakt van methoden waarbij chemische hydrolyse wordt gecombineerd met een mechanische behandeling in schudapparaten. Het houtmeel wordt behandeld met een 2 – tot 4% – zwavelzuuroplossing, waarna onder voortdurend schudden wordt gedroogd, zodanig dat de zwavelzuurconcentratie stijgt naar 60–80%. Onder geschikt gekozen bedrijfsomstandigheden kan de cellulose voor ca. 95% in de gemakkelijk hydrolyseerbare vorm van polysacchariden worden omgezet. Het is echter niet duidelijk in hoeverre deze methoden de toets van de praktijk reeds hebben doorstaan.

Na beschouwing is het duidelijk dat zowel bij de methoden op basis van zoutzuur als bij die op basis van zwavelzuur men de richting opgaat van mechanisch-chemische systemen met als doel het gekristalliseerde deel van de celluloseketens beter voor de hydrolysezuren toegankelijk te maken.

Zoals reeds vermeld, zijn de eindprodukten van de houtversuikering zowel hexosen als pentosen, met lignine als afvalprodukt. De suikers zelf zijn uit geconcentreerde oplossing in kristalvorm vrij te maken. Verdunde oplossingen kunnen worden vergist, waarbij – door de keuze van de gistsoort – naast alcohol verschillende eindprodukten kunnen worden verkregen. De gekweekte gist vormt een eiwitrijk veevoeder. Vitaminen van het B-complex kunnen uit deze gist worden gewonnen.

In een vrije economie zijn houtversuikeringsinstallaties nog niet levensvatbaar gebleken. Desalniettemin vertegenwoordigt cellulose uit hout een enorme reserve aan mogelijkheden voor het produceren van suikers en daaruit alcohol als chemische grondstof en vloeibare brandstof.

Daarnaast kan nog een aantal andere chemicaliën als nevenprodukten worden gewonnen [60, 70]. Ook zou bij de houtversuikering een economische procesvoering dichterbij komen, zodra er een toepassing voor de lignine-afval is.

5. Pyrolyse (droge destillatie)

door ir. N.A. den Hartog

Pyrolyse van hout, houtverkoling en houtvergassing zijn begrippen die elkaar min of meer dekken.

Het doel van houtverkoling is het verkrijgen van houtskool met een aantal nevenprodukten, waarbij de niet-condenseerbare gassen worden verbrand. Bij houtvergassing is het doel het winnen van een gas met een zo hoog mogelijke energie-inhoud [70, 77, 124, 125].

Het proces

Bij verhitting van hout onder afsluiting van de lucht vinden omzettingen plaats waarbij waterdamp, organische vloeistoffen in dampvorm en andere gassen ontwijken en houtskool, teer en pek als eindprodukt achterblijven. De omzettingen beginnen reeds bij een temperatuur van ca. 100°C, waarbij hygroscopisch vastgehouden water wordt verdamppt. Bij langdurige verhitting tussen 100 en 160°C wordt water aan de hydroxylgroepen van de cellulose onttrokken en vervangen door waterstofbruggen. Bij langdurige verhitting tot 160°C wordt de helft van de holocellulosen (hemicellulosen + cellulose) afgebroken tot lager gepolymeriseerde oplosbare verbindingen en wordt zelfs al een deel van de lignine omgezet in lager gepolymeriseerde verbindingen. Bij een temperatuur van 200°C worden naast teerachtige stoffen, vluchtige stoffen zoals water, azijnzuur, methanol en gassen zoals koolmonoxyde en kooldioxyde gevormd. In de buurt van 240°C treden er enkele endotherme reacties op. Bij 270°C wordt de ontleding heftig en grotendeels exotherm.

Het procesmilieu speelt een belangrijke rol. Bij aanwezigheid van zuurstof wordt water onttrokken aan de hydroxylgroepen en wordt de vorming van kooldioxyde bevorderd. In een stikstofatmosfeer

begint de ontleding pas bij een hogere temperatuur en verloopt dan heftiger. Wanneer het proces zich afspeelt in vacuüm is de opbrengst aan teerachtige produkten hoger en verkrijgt men minder houtskool.

Laat men de pyrolyse voorafgaan door een prepyrolyse in een heet, inert, hoogkokend medium zoals petroleum, dan loopt de opbrengst aan azijnzuur sterk terug. Doordat de hete petroleum in de celwand kan dringen, kunnen de hemicellulosen gemakkelijker ontleden. Het overblijvende materiaal is hierdoor sterk poreus. Door deze porositeit kunnen in de tweede pyrolysefase de gasvormige afbraakprodukten en teer snel ontwijken en kan een hoge opbrengst aan waardevolle produkten worden verkregen. Dankzij het relatief korte verblijf in de hete celwand worden de interessante verbindingen zelf niet of nauwelijks verder ontleed.

De drie hoofdcomponenten waaruit hout is opgebouwd, cellulose, hemicellulosen en lignine, gedragen zich bij de pyrolyse verschillend. Van deze drie groepen worden de hemicellulosen het gemakkelijkst ontleed. Bij pyrolyse in vacuüm vormt cellulose tot 38% laevoglucosan, bij pyrolyse aan de lucht wordt een groot aantal produkten uit secundaire reacties gevormd. De lignine toont ook bij de pyrolyse zijn aromatisch karakter. Naaldhoutlignine splitst eerst guaiacol af, loofhoutlignine daarnaast pyrogallol en dimethylether.

Produkten

De ontledingsprodukten bij de pyrolyse van hout, cellulose en lignine zijn opgenomen in Tabel 6.

Tabel 6. Voorbeelden van de ontledingsprodukten bij de pyrolyse van hout, cellulose en lignine (in gew. % van de droge, asvrije stof; bij de gassen in vol. % in het ontwikkelde gas).

pyrolyseprodukt	hout		cellulose		lignine uit zoutzure hydrolyse	
	spar	esp	spar	esp	spar	esp
houtschool	37,8	29,5	34,9	28,1	45-51	44,3
teer	8,1	9,8	6,3	4,3	10-13	14,3
methanol	1,0	1,5	0,1	0,0	0,7-0,9	0,9
aceton	0,2	0,8	0,1	0,2	0,1-0,2	0,2
azijnzuur	3,2	7,4	2,8	2,7	0,6-1,1	1,3
kooldioxide	50,5	-	62,9	-	9,6	-
koolmonoxide	32,6	-	32,4	-	50,9	-
methaan	9,2	-	3,1	-	37,5	-
ethaan	1,7	-	1,6	-	2,0	-

Houtschool

De houtskool is het belangrijkste produkt behalve bij de houtvergassing. Het volgend staatje geeft een indruk van de hoeveelheden die gemiddeld kunnen worden gewonnen uit 100 kg naaldhout.

Houtschool	32	kg
A teer	7	(bezinkt in azijnzuur)

B teer	3	kg (oplosbaar in azijnzuur)
Azijnzuur	1,7	
Aceton	0,8	
Terpentijnolie	0,6	
Lichte olie	0,4	
Methanol	1,0	
Ongecondenseerde gassen	22	

Loofhout geeft in het algemeen een wat lagere opbrengst aan houtskool, daarentegen meer azijnzuur.

De grote invloed van de verkolingstemperatuur op de eigenschappen van de gevormde houtskool en op het rendement is te zien in het volgende staatje.

	400°C	800°C	1300°C
Koolstofpercentage	80	90	100
rendement, %	36	27	22

Commercieel gewonnen houtskool bevat meestal ca. 80% koolstof, 1–3% as en 12–15% vluchtige bestanddelen.

Het materiaal is harder naarmate de verkolingstemperatuur hoger is. Deze eigenschap is van belang bij metallurgische toepassingen, omdat daar samendrukking en vergruizing dienen te worden voorkomen. De verkolingstemperatuur heeft eveneens invloed op de porositeit en dus het absorptievermogen. Matig fijne poriën worden optimaal gevormd bij een verkolingstemperatuur van 500–550°C; de microporiën worden beter gevormd bij hogere temperaturen. Dit geldt ook voor processen waarbij uit lignine gewonnen koolsoorten worden geactiveerd bij een temperatuur tussen 720 en 920°C. Deze ligninekool kan goed worden gegraneerd, is hard en daardoor geschikt voor industrieel gebruik als actieve kool. Zij is ook geschikt als grondstof voor de bereiding van kooldisulfide.

Houtskool wordt op grote schaal gebruikt in de huishouding in vele ontwikkelingslanden. In de industrielanden wordt houtskool voornamelijk gebruikt in de metallurgische en chemische industrie. Het lage zwavelgehalte van houtskool is bijzonder gunstig voor de metallurgische industrie.

Houtteer en houtazijn [70, 77]

Afhankelijk van de werkwijze en de houtsoort, kan 15 tot 20% teer uit het pyrolyse proces worden gewonnen. Uit de ruwe houtazijn die uit de gassen wordt gecondenseerd, wordt de A-teer door sedimentatie verkregen; de B-teer blijft in oplossing. De hoeveelheid B-teer is ongeveer tweederde die van de A-teer. Snelle pyrolyse verhoogt het B aandeel. Na bezinking van de A-teer bestaat de ruwe houtazijn uit 8–10% azijnzuur, 3% ruwe methanol, 7% B-teer en 80% water. De B-teer kan hieruit door destillatie worden verkregen. Het azijnzuur wordt gewonnen door het met kalkmelk neer te slaan als calciumacetaat, daarna wordt het azijnzuur met zwavelzuur vrijgemaakt. Door droge destillatie van calciumacetaat kan aceton worden verkregen.

De A-teer is in de belangstelling geweest vanwege het gehalte aan fenolen. Deze fenolen worden door gefractioneerde destillatie uit de teer gewonnen. De verschillende fenolen zijn technisch moeilijk te scheiden in pure componenten.

Houtgas [82, 124–127]

Het bij normale verkolingsprocessen gevormde houtgas heeft een lage verbrandingswaarde (ca. 8,4 MJ/m³) en bevat ongeveer 56% kooldioxyde, 34% koolmonoxyde, 8% methaan en 2% ethaan. Dit gas wordt bij de houtskoolmeilers verbrand en bij de retortenverkoling gebruikt voor de verwarming van de retorten. Ter verhoging van de verbrandingswaarde worden de bij de pyrolyse gevormde gassen, dus inclusief het condenseerbare deel, door een laag gloeiende houtskool geleid. De houtskool fungeert als een (ook wel aan de reacties deelnemende) katalysator waardoor de organische verbindingen in het gas met inbegrip van de teerproducten grotendeels worden gekraakt tot eenvoudige anorganische gassen zoals koolmonoxyde, waterstof en kooldioxyde.

Doordat bij deze processen lucht wordt gebruikt als zuurstofleverancier, bevat het gasmengsel ook een aanmerkelijk percentage stikstof (40–60%). Bij een van de verfijningen, die in de Verenigde Staten worden beproefd, wordt in plaats van lucht zuivere zuurstof aan het proces toegevoerd. Een van de voordelen is dat de hoeveelheid gas die van as moet worden gezuiverd veel kleiner is (Purox proces van Union Carbide). De zo geproduceerde gassen hebben een veel hogere verbrandingswaarde dan de gassen die uit het houtverkolingsprocédé vrij komen. Deze gassen zijn geschikt als brandstof zowel voor inwendige verbrandingsmotoren als voor de verwarming van stoomketels.

De Technische Hogeschool Twente heeft een kleine, eenvoudige houtvergasser ontworpen teneinde met het verkregen gas een belangrijk deel van de dieselbrandstof voor stationaire lokale dieselmotoren te vervangen [128]. In dit geval wordt de kern van maïskolven als brandstof gebruikt.

6. Houtverduurzaming: huidige en toekomstige ontwikkelingen

door ir. C.F. Lekkerkerker

6.1. Inleiding

Wat is houtverduurzaming?

Houtverduurzaming kan in algemene zin als volgt worden gedefinieerd: hout onleefbaar maken voor schimmels, insecten, bacteriën, week- en schaaldieren. Dit onleefbaar maken kan op verschillende manieren geschieden. Alle grijpen op een of andere wijze in op de belangrijkste levensbehoeften van de aantasters, nl. door:

- het verwijderen van zuurstof (onderdompelen in water, gassen);
- het verwijderen van water (drogen);
- het inbrengen van giftige stoffen;
- het veranderen van de chemische structuur van het hout.

De eerste twee werkwijzen zijn in wezen geen verduurzaming, daar de verandering in het hout omkeerbaar is en aantasting niet altijd wordt voorkomen. Zo tast de paalworm (*Teredo navalis* L.) een permanent in water ondergedompelde paal toch aan en kunnen insecten zoals de huisboktor (*Hylotrupes bajulus* L.) een droge dakconstructie aantasten.

Alleen de laatste twee methoden vormen een werkelijke barrière tegen aantastingen. De werkwijze waarbij giftige stoffen in het hout worden gebracht, is de meest toegepaste. Zij vraagt minder gespecialiseerd personeel en is tevens goedkoper dan de techniek van chemische verandering van de houtstructuur [129].

Wanneer dient hout te worden verduurzaamd?

Een houten krat dat slechts eenmalig wordt gebruikt, hoeft uiteraard niet te worden verduurzaamd. Ook de van nature duurzame houtsoorten (zoals bijv. *Azalia*) behoeven niet te worden behandeld. Zij danken veelal hun weerstand aan de aanwezigheid van natuurlijke giftige stoffen. Het is wenselijk en vaak noodzakelijk het hout preventief te verduurzamen wanneer:

- het hout in ongunstige omstandigheden verkeert (bijv. vloerbalken die constant een te hoog vochtgehalte hebben).
- de kosten van de verduurzaming geringer zijn dan de kosten van een eventuele vervanging van het onbehandelde hout.

Hoe geschiedt de verduurzaming en met welk middel?

In dit punt wordt alleen verder ingegaan op de bovengenoemde derde aanpak.

De houtverduurzamingsmethode en het houtverduurzamingsmiddel gaan in veel gevallen samen. Bij een specifieke methode behoort een specifiek middel en omgekeerd.

Onderstaande methoden zijn volgens afnemende indringingsdiepte van het verduurzamingsmiddel (zie normblad NEN 3251) gerangschikt:

- De vacuum- en drukmethode met in water opgeloste zouten of met creosootolie. Hier wordt het hout in een ketel of onder vacuum (full cell method), danwel onder een initiële druk gebracht (empty cell method). Daarna wordt de verduurzamingsvloeistof in de ketel toegelaten. Door druk en tijdsduur te regelen, wordt de gewenste hoeveelheid van het verduurzamingsmiddel in het hout gebracht. Na afloop kan al of niet vacuum worden gezogen.
- Drenken met in minerale oliën opgeloste verduurzamingsmiddelen of met in water opgeloste zouten.

Dit is een eenvoudige, maar tijdrovende methode; het hout wordt enkele weken ondergedompeld in de verduurzamingsvloeistof. Het is bij deze methode niet mogelijk van te voren te bepalen hoeveel verduurzamingsmiddel wordt opgenomen.

- Dompelen, bestrijken of bespuiten met in oliën of in water opgeloste verduurzamingsmiddelen. Hierbij worden de middelen op het hout gebracht door kortstondig dompelen, bestrijken of bespuiten. De indringingsdiepte is gering.

Welke groepen van verduurzamingsmiddelen bestaan er?

- De in water op te lossen middelen (anorganische zouten). Deze bevatten giftige stoffen, zoals fluor, arseen, koper of borium en fixerende stoffen, zoals chroom.
- De in organische vloeistoffen op te lossen middelen. Dit zijn meestal produkten op basis van gechlloreerde koolstofring(en) zoals pentachloorfenol, koper- en zinknaftenaat en organo-tinverbindingen.
- De middelen van de teeroliegroep. Dit zijn produkten uit de destillatie van steenkoolteer. Carbolineum en de zeer belangrijke creosootolie zijn hiervan voorbeelden.

Houtverduurzamingsmiddelen vallen onder de Nederlandse Bestrijdingsmiddelenwet van 1962. Zij moeten aan strenge toelatingseisen voldoen, voordat zij op de markt mogen worden gebracht. De houtverduurzamingsindustrie heeft zichzelf vrijwillige beperkingen opgelegd (in 1972) voor het gebruik van gevaarlijke stoffen; er worden bijv. geen kwikverbindingen meer verwerkt. Bij de curatieve behandeling van hout in oude gebouwen dienen voorzorgen te worden genomen om het leven van nuttige of zeldzame dieren, zoals vleermuizen, uilen en zwaluwen, te sparen.

6.2. Het belang van de houtverduurzaming voor het Nederlandse houtverbruik

Jaarlijks wordt in Nederland ruim 10 miljoen m³ hout verbruikt (1976). Daarvan komt ongeveer 10% uit de inlandse produktie met een marktwaarde van ca. 80 miljoen gulden. De inlandse produktie zou op de duur met ca. 50% kunnen worden verhoogd.

Het is daarom wel duidelijk dat hout en houtprodukten zo doelmatig mogelijk moeten worden gebruikt. Houtverduurzaming is een van de middelen tot houtbesparing. Het verduurzaamde hout is daarenboven van hoge kwaliteit: constructiebouw, hout voor timmerwerk, dwarsliggers, waterbouwhout, enz.

In Nederland wordt jaarlijks ca. 180.000 m³ hout volgens de vacuum- en drukmethode verduurzaamd en wel ca. 100.000 m³ met creosoot en ca. 80.000 m³ met in water oplosbare zoutmengsels. Daarnaast worden tussen de 150.000 en 200.000 m³ hout behandeld met in minerale olie opgeloste verduurzamingsmiddelen. In Nederland ondergaat dus jaarlijks ca. 350.000 m³ hout een verduurzamende bewerking.

Hoewel dit slechts 3½% van het houtverbruik is,

zijn de hieruit voortvloeiende voordelen groot. Dit blijkt uit het volgende voorbeeld.

Het verduurzamen van rondhout met creosootolie
In 1976 werd ongeveer 62.000 m³ perkoenpalen verduurzaamd met creosootolie. Door deze behandeling wordt de levensduur vijf keer zo lang (van drie jaar naar vijftien jaar). Voor het gemak wordt aangenomen dat deze 62.000 m³ dient ter vervanging in een constant perkoenpalenbestand van verduurzaamde palen.

Zonder verduurzaming zou voor de vervanging 5 × 62.000 = 310.000 m³ paalhout per jaar nodig zijn geweest. Door de verduurzaming wordt dus 248.000 m³ paalhout bespaard. Deze hoeveelheid vertegenwoordigt de jaarlijkse groei van 50.000 ha bos met een gemiddelde jaarlijkse aanwas van 5 m³ per hectare.

Voor Nederland, met zijn 280.000 ha bos, betekent het verduurzamen van alleen al deze paaltjes een besparing van bijna 18% van de eigen productie.

6.3. Houtverduurzaming: een aantasting van ons leefmilieu?

De houtverduurzamingsmiddelen zijn bijna altijd stoffen die in principe giftig zijn voor ons milieu. Een effectief en specifiek gebruik van deze middelen is daarom dringend nodig.

De milieuaantasting kan plaatsvinden door het verduurzamingsbedrijf en door het gebruiken van verduurzaamd hout.

Het verduurzamingsbedrijf

De grote Nederlandse houtverduurzamingsbedrijven werken alle met het vacuüm-drukproces. Door deze techniek te koppelen aan stringente eisen waaraan de installaties moeten voldoen, is de kans op milieu-aantasting klein.

Creosootolie is slechts in zeer geringe mate oplosbaar in water. Bij lage temperatuur heeft het een hoge viscositeit. De kansen op vervuiling van grond en water zijn daarom gering.

De in water oplosbare stoffen kunnen een grotere bedreiging voor het milieu vormen. Daarom staat de verduurzamingsinstallatie in een betonnen bak. Deze kan de volledige hoeveelheid impregneervloeistof bevatten. De daarin opgevangen vloeistof kan in het proces worden teruggevoerd. De overtollige hoeveelheid impregneervloeistof die direct na het vacuüm-drukproces van het hout driipt, geeft ook kans op vervuiling. Een eindvacuüm na de verduurzaming voorkomt dit gevaar. Voorts zijn de meeste terreinen verhard, zodat de vloeistof niet in de bodem kan dringen.

Door het personeel dienen de veiligheidsvoorschriften in acht te worden genomen: veiligheidsmasker, handschoenen, speciale kleding, enz.

De in water op te lossen zouten komen tegenwoor-

dig ook in pastavorm voor. Daarmee wordt de kans op verspreiding vrijwel nihil.

Het gebruik van verduurzaamd hout

Zoals reeds vermeld, zijn alle houtverduurzamingsmiddelen giftig. Terecht rijst de vraag naar de mogelijke invloed van het verduurzaamde hout op het milieu.

In de literatuur zijn vele rapporten verschenen die dit probleem behandelen. Enkele voorbeelden mogen als toelichting dienen.

Afrasteringspalen worden vaak verduurzaamd met creosootolie of met in water op te lossen zouten. Tot deze laatste groep behoren de CCA-zouten (koper, chroom, arseen). De groene kleur wekt bij de buitenstaander reeds een indruk van giftigheid. De kleur is echter te danken aan het driewaardig chroom.

Het is niet uitgesloten dat het vee aan dergelijke palen likt. Uit onderzoek is echter gebleken, dat met CCA-zout verduurzaamd hout niet schadelijk is voor het vee [130].

Hout in speeltuinen wordt meestal eveneens met CCA-zout verduurzaamd. Hout is een ideaal materiaal voor kinderspeeltuigen: het heeft een lage geleidingscoëfficiënt, het is natuurlijk, het is in alle sortimenten verkrijgbaar en het is niet duur. Alleen is de levensduur te kort. Daarom is verduurzaming nodig. De CCA-zouten zijn ideaal voor dit doel, dank zij het feit dat het zout na droging praktisch onuitloogbaar is.

De kans is echter niet uitgesloten dat kinderen op stukjes hout bijten, of zich aan het hout verwonden.

Proeven hebben aangetoond dat de uitloging zeer miniem is, te gering om schadelijk te zijn [131].

Met zouten verduurzaamd naaldhout is een ideaal constructiemateriaal in champignonkwekerijen. Het verduurzamingsmiddel mag de groei van het champignon-mycelium niet beletten en het moet bovendien het rotten van het hout voorkomen. Houten cellen voor de champignonkweek zijn goedkoper dan cellen van aluminium of kunststof. Aluminium heeft tevens het nadeel onder deze condities sterk onderhevig te zijn aan corrosie. Laboratoriumproeven hebben uitgewezen dat voedsel, geplaatst in contact met verduurzaamd hout, praktisch geen elementen van het verduurzamingsmiddel overneemt [132]. De grootste hoeveelheid die onder extreme omstandigheden is gevonden, ligt in de orde van 0,2 ppm¹⁾, hetgeen beneden het aanvaardbaar geachte ligt. Dit cijfer geldt alleen voor een dunne laag die in contact was met het behandelde hout.

¹⁾ ppm = parts per million

Reeds meer dan 40 jaar worden verduurzaamde palen als steunpaal voor fruitbomen gebruikt. Amerikaanse onderzoekers hebben de opname van het verduurzamingsmiddel door de plant bepaald. De bladeren, takken en vruchten van de wijnstok werden onderzocht op hun gehalte aan chroom, koper en arseen [133]. De wijnstokken waren op een afstand van 7½ cm van de verduurzaamde palen geplant. De hoeveelheid koper in de bladeren, takken en vruchten schommelde tussen 4,9 en 10,5 ppm op droog gewicht. Het kopergehalte van een plant die naast een niet-verduurzaamde paal stond, schommelde tussen 4,7 en 11,6 ppm. In alle gevallen was het gehalte aan chroom en arsenicum lager dan 0,2 resp. 0,05 ppm. Dit zijn de laagste met de huidige analysemethoden nog meetbare waarden.

6.4. Het energiegebruik bij verduurzaming

De literatuur vermeldt niets over het energiegebruik bij verduurzaming. Daarom wordt nader ingegaan op een specifiek geval uit de praktijk. Het voorbeeld is een creosoteerinstallatie waar hoofdzakelijk palen worden verduurzaamd. Uit Tabel 7 blijkt hoeveel energie voor dit doel wordt gebruikt.

Tabel 7. Energiegebruik bij het creosoteren van af-rasteringspalen.

	energiegebruik per m ³ rondhout ¹⁾	
creosootolie	90 kg	4 GJ/m ³
stookolie	6,9 liter	0,28 GJ/m ³
elektriciteit	7 kWh	0,025 GJ
arbeid	12 man- minuten	—

¹⁾ De energie nodig om deze energiedragers te verkrijgen, is niet meegeteld.

Deze cijfers kunnen van bedrijf tot bedrijf sterk verschillen, ze zijn afhankelijk van de grootte van het bedrijf, van de bezettingsgraad, van het verwarmingssysteem (stoom, thermische olie, elektriciteit) en van de doelmatigheid.

De algemene conclusie is, dat de energieconsumptie in deze industrietak gering is en dat niet mag worden verwacht dat er nog veel besparingsmogelijkheden zullen worden gevonden.

Bij de impregnering met zoutmengsels is de energieconsumptie geringer, omdat dan de impregneervloeistof meestal niet hoeft te worden verwarmd.

6.5. Houtverduurzaming: toekomstige ontwikkelingen

Uit het voorgaande blijkt dat houtverduurzaming één van de methoden is om het Nederlandse houttekort te beperken. Een steeds toenemend gebruik van verduurzaming ligt in de lijn van de verwachtingen, o.a. omdat de kosten gering zijn ten opzichte van de houtprijs.

Deugdelijke verduurzaming verhoogt de prijs van rondhout met 30%; bij hoogwaardiger bezaagd hout ligt dit percentage uiteraard lager. In de toekomst zal het aandeel van de impregneerkosten in de totale prijs zeker verder dalen. De verduurzaming van hout behoeft geen vervuiling van het milieu mee te brengen. Zij is arbeidsbesparend en maakt het hout geschikt voor doeleinden waarvoor het anders niet geschikt zou zijn.

Hoe de verduurzaming zich in de toekomst zal ontwikkelen is moeilijk te voorspellen. Toch zijn er enkele tendensen aanwezig:

- een groter aandeel van het hout zal worden verduurzaamd;
- de verduurzaming zal meer en meer worden gereguleerd;
- zij zal alleen nog worden uitgevoerd door gespecialiseerde firma's, die door hun werkwijze de milieubelasting kunnen minimaliseren;
- er zal van agressieve middelen langzamerhand worden overgeschakeld naar mildere middelen [134];
- in speciale gevallen zal worden gebruik gemaakt van de houtpolymerisatie.

7. Houtafval en hergebruik

door ir. J.A. van der Kuil en drs. D. Nagelhout

7.1. Houtafval

Verreweg het grootste deel van het hout in afval komt daarin terecht als afgedankt voorwerp of als deel daarvan. Slechts een klein deel ontstaat als afval van de houtverwerking. Takken van bomen en struiken, die veelal in het tuinafval terecht komen zijn een andere vorm van afvalhout.

Houtgebruik is dermate verbreid dat men in bijna elke soort afval hout kan aantreffen. De soorten afval waarin hout een min of meer belangrijk bestanddeel vormt, zijn:

- huishoudelijk afval en grof huisvuil;
- industrieafval;
- bouw- en sloopafval.

Huishoudelijk afval en grof huisvuil

Huishoudelijk afval is dat deel van het afval dat ge-

woonlijk in de vuilnisemmer of in de plastic vuilniszak wordt afgevoerd. De grotere stukken worden als grof huisvuil gescheiden ingezameld. Het onderscheid tussen huishoudelijk afval en grof huisvuil is een wezenlijk onderscheid, maar landelijk niet eenduidig. Het hangt af van het beleid van de ophaaldienst, maar ook van de handelingen van de ontdoener of een bepaalde hoeveelheid afval bij het huishoudelijk afval of bij het grof huisvuil terecht komt.

Huishoudelijk afval

Een inwoner van Nederland brengt gemiddeld 240 kg huishoudelijk afval per jaar voort [135]. Sorteerprouven van de Stichting Verwijdering Afvalstoffen (SVA) hebben uitgewezen dat de gemiddelde samenstelling van het huishoudelijk afval de laatste jaren als volgt was [136]:

Component	Gewichts %
Papier en karton	22
Glas	13
Kunststoffen	6
IJzer	3
Non-ferro metalen	0,3
Brood	2
Textiel, lommen, touw	2
Stenen, aardewerk	2
Tapijten en matten	0,3
Beenderen en dierlijk afval	1
Leder, rubber en linoleum	0,6
Hout	0,6
Groente-, fruit-, tuinafval en ondefinieerbare rest	47,2
	<hr/> 100

De stijging van de hoeveelheid huishoudelijk afval over dezelfde periode in aanmerking genomen, kan worden aangenomen dat jaarlijks een vrij constante hoeveelheid van 1½ kg hout per inwoner in het huishoudelijk afval terecht komt.

Dit zijn bestanddelen van relatief kleine afmeting en van verschillende houtsoort, hoewel spaanplaat, triplex en vurehout overheersen.

Grof huisvuil

Naast het huishoudelijk afval worden grotere voorwerpen door de huishoudens afgestoten. De hoeveelheid bedraagt ongeveer 30 kg per inwoner per jaar.

In het grof huisvuil bevinden zich ook voorwerpen, die, wanneer het kleine hoeveelheden zou betreffen, met het huishoudelijk afval zouden kunnen worden ingezameld. Dozen met flessen en bundels papier zijn voorbeelden hiervan.

Hout komt in het grof huisvuil in vrij belangrijke mate voor.

Met de ongeveer 400.000 ton grof huisvuil per jaar wordt ca. 90.000 ton hout als afval afgevoerd.

Industrie-afval

Hout dat als afval van industriële bedrijven afkomstig is geeft qua verwerking geen grote problemen. Een uitzondering vormen houten verpakkingen van chemische stoffen en houten voorwerpen die met bepaalde chemicaliën zijn behandeld.

Per jaar komt in Nederland ongeveer 2.500.000 ton industrie-afval vrij.

De hoeveelheid hout in het industrie-afval bedraagt ongeveer 600.000 ton per jaar; 10% van deze hoeveelheid is afval van emballage, de resterende 90% is afval van houtverwerkende bedrijven.

Bouw- en sloopafval

De grootste afvalcategorie wordt gevormd door het bouw- en sloopafval. Per jaar komt 6.000.000 ton bouw- en sloopafval vrij.

De hoeveelheid hout hierin bedraagt 15-20% in volume en 3% in gewicht.

Dit betekent dat met het bouw- en sloopafval ongeveer 200.000 ton hout naar de afvalverwerkingsplaats wordt getransporteerd.

7.2. Nuttig gebruik van houtafval

Hout is een tamelijk kostbare en nog steeds kostbaarder wordende grondstof. Dit heeft tot gevolg dat de hoeveelheid afval die bij de verwerking vrijkomt, wordt geminimaliseerd en dat wordt getracht het afval nuttig te gebruiken.

Het procesafval, dat bij de verwerking ontstaat, behoeft daarom niet als afval in economische zin te worden beschouwd. Veel procesafval wordt gebruikt voor het vervaardigen van bijprodukten of wordt verkocht als grondstof. Het is bij procesafval dan ook beter te spreken over hergebruik van materialen.

Bij hout dat na beëindiging van de levensduur van het produkt vrijkomt, ligt het anders. Hier kan duidelijk sprake zijn van hergebruik.

Huishoudelijk afval en grof huisvuil

Van het hout dat door gezinnen wordt afgestoten, wordt niets meer opnieuw gebruikt, uitgezonderd het hout dat met het afval wordt verbrand in een van de vier Nederlandse verbrandingsinstallaties. Het hout in dit afval leverde in 1976 slechts een kleine bijdrage aan de bijna 400.000 MWh elektriciteit en de 2.500.000 m³ gedestilleerd water die in dat jaar werden geproduceerd [137]. Voor deze produktie is 1.170.000 ton afval verbrand. Dit afval was voor verreweg het grootste deel afkomstig van gezinnen en kleine bedrijven.

Een zekere hoeveelheid afvalhout zal binnen de gezinshuishouding worden hergebruikt. Het wordt ook in toenemende mate gebruikt voor het stoken van open haarden.

Industrie-afval

Van het industriële afvalhout wordt een groot gedeelte hergebruikt. Naast de 600.000 ton die jaar-

lijks zonder meer als afval wordt afgevoerd, is er een geschatte hoeveelheid van ca. 300.000 ton die wordt hergebruikt. Dit hergebruik zal des te eerder optreden naarmate de partijen afvalhout groter zijn en de afstand tussen de plaats waar het afval vrijkomt en de plaats waar het opnieuw wordt toegepast kleiner is.

In het puur economische vraagstuk of het afval opnieuw kan worden gebruikt, spelen de transportkosten een grote rol. Later zullen ook de steeds hoger wordende kosten van de afvalverwijdering een belangrijke invloed kunnen gaan uitoefenen.

Bouw- en sloopafval

Van het hout dat vrijkomt bij bouw- en sloopactiviteiten wordt niet veel hergebruikt. Uitzonderingen gelden misschien voor de zware balken en het hout van grote vloeroppervlakken.

De schatting van de hoeveelheid hout die uit deze categorie opnieuw wordt gebruikt, varieert tussen de 2000 en 4000 ton per jaar.

Of het hout na de sloop opnieuw kan worden gebruikt hangt voor een groot deel af van de wijze van slopen. Bij zorgvuldige sloop, die uiteraard duurder is, komt beter bruikbaar hout vrij.

Verpakkingshout en pallets

Het hout van eenmalige emballage en afgekeurde retouremballage, alsmede van opgebruikte pallets is weinig verontreinigd en heeft, vergeleken met veel sloopdelen, hanteerbaarder afmetingen.

Buitenlandse bronnen – uit de USSR [138] en uit Frankrijk [139] – geven aan dat dergelijk hout met succes kan worden hergebruikt.

In de verkleiningsmachine – in het Russische geval een mobiele eenheid met een messenmolen en in Frankrijk een hamermolen in een vaste opstelling – wordt het hout verkleind en vervolgens elektromagnetisch ontijzerd. Een en ander is aanleiding geweest voor een onderzoek [140] naar de houthoeveelheden aan emballage en pallets die in Nederland vrijkomen. Dit onderzoek is gedaan bij de grootste bron van dit soort afvalhout: de veilingen voor groente en fruit. In Nederland zijn 65 van dergelijke veilingbedrijven. Uit deze branche komen jaarlijks de volgende hoeveelheden afvalhout vrij:

retourfusten ¹⁾	8.000 ton
retourpallets	100 ton
eenmalige pallets	500 ton
eenmalige fusten	46.000 ton
	<hr/>
totaal	54.600 ton

Het probleem is dat slechts het retourfust, de retourpallets en ca. de helft van de eenmalige pallets op de 65 veilingen vrijkomen, terwijl verreweg het

¹⁾ Fust is de verzamelnaam voor houten verpakkingen, in dit geval veilingkisten en -kratten.

grootste deel van het hout bij de ca. 10.000 de-taillisten in het land vrijkomt.

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de hoeveelheid afvalhout slechts een gedeelte is van wat op grond van buitenlandse publikaties mocht worden verwacht en dat de grote spreiding een moeilijkheid vormt voor het hergebruik.

Een andere belangrijke factor is de nog steeds voortdurende omschakeling van hout naar kunststof in deze sector. Niettemin kan het afvalhout van emballage en pallets worden gezien als een interessantste potentiële bron voor hergebruik.

7.3. Waarvoor kan het houtafval worden gebruikt?

De mogelijkheden tot hergebruik van houtafval worden bepaald door de grootte van de partijen en de afstand tussen de plaats van vrijkomen en de plaats waar het afval opnieuw wordt toegepast. Daarnaast zijn de volgende factoren uitermate belangrijk:

- Aard en kwaliteit van het afval
Een belangrijke factor is de samenstelling van het houtafval. Een mengsel van verschillende soorten hout vermindert de toepassingsmogelijkheden.
- Verontreiniging van het afval
Hergebruik van hout kan in sterke mate worden belemmerd door verontreinigingen. Dit geldt vooral voor aanhangend cement en andere bouwmaterialen; ook verf is ongewenst. Het hinderlijkst zijn spijkers, schroeven en andere metalen verbindingstukken. Overwegend is dit ijzer. Kan men deze verontreiniging niet voorkomen, dan moet een goede, maar goedkope, ontijzeringsmethode worden toegepast.

Waar gaat het houtafval op dit ogenblik heen?

Het afval van houtbewerkingsbedrijven gaat op dit moment voornamelijk naar de vezelplaat-, de spaanplaat- en de papierindustrie.

De papierindustrie kan problemen krijgen indien verschillende houtsoorten gemengd worden aangeboden. De problemen zijn afhankelijk van de aard van de vermenging en van de soort papier. De spaanplaat- en vezelplaatindustrie heeft veel minder problemen met de vermenging van verschillende soorten hout.

Moeilijk toepasbaar is echter het afval van tropisch hardhout dat vrijkomt bij de fineerfabricage. Naast het feit dat deze houtsoorten erg hard zijn en daardoor een probleem vormen bij verdere verkleining, bevatten zij bepaalde anorganische stoffen die de toepasbaarheid sterk verminderen, in het bijzonder voor de papierfabricage.

De vezelplaat- en meer nog de spaanplaatindustrie zijn dus de belangrijkste afnemers van afvalhout van de houtverwerkende industrie. Het zijn verhoudingsgewijs belangrijke hoeveelheden. Bij het produceren van gezaagd hout uit rondhout ontstaat ca.

40% afval; bij de schaverijen komt 10 à 15% afval vrij en bij de meubelindustrie nog eens 35 à 40%. Het betreft hier voornamelijk afkortverliezen en verliezen door het kantrechten.

Omdat voornamelijk de spaanplaat- en vezelplaatindustrie gebruik maken van de mogelijkheden die houtafval als grondstof biedt, wordt de grondstofpositie van de papierindustrie verlicht.

Het zaagsel van de houtverwerkende bedrijven wordt wel toegepast bij de fabricage van poreuze stenen. Ook vinden krullen en zaagsel toepassing als bodemstrooisel in de agrarische sector.

Het hardhoutafval is slechts in enkele gevallen toepasbaar. Geperst wordt het aangewend als fundering voor bepaalde wegen en voor het dempen van sloten. Het wordt eveneens gebruikt in loopstallen voor rundvee. Dit zijn echter zeer marginale toepassingen.

Opbrengsten afvalhout

De geldopbrengsten van industrieel afvalhout zijn de laatste jaren niet veel gestegen o.a. vanwege activiteiten van de Oostbloklanden en Zweden.

Franco geleverd aan de vezel- en spaanplaatindustrie zijn de opbrengstprijzen per ton:

Andere mogelijkheden van hergebruik

Veel hout gaat nog in het afval verloren. In de meeste gevallen wordt dit hout niet hergebruikt omdat de kosten van verdere verwerking te hoog zijn. De verdere verwerking bestaat uit het verkleinen en het ontdoen van verontreinigingen.

Om de kosten van deze verdere verwerking enigszins te kunnen dragen is het noodzakelijk dat uit het afval voldoende hout ter beschikking komt.

Een produkt van de verwerking – chips – is, mits voldoende zuiver, goed toepasbaar in de spaanplaatindustrie.

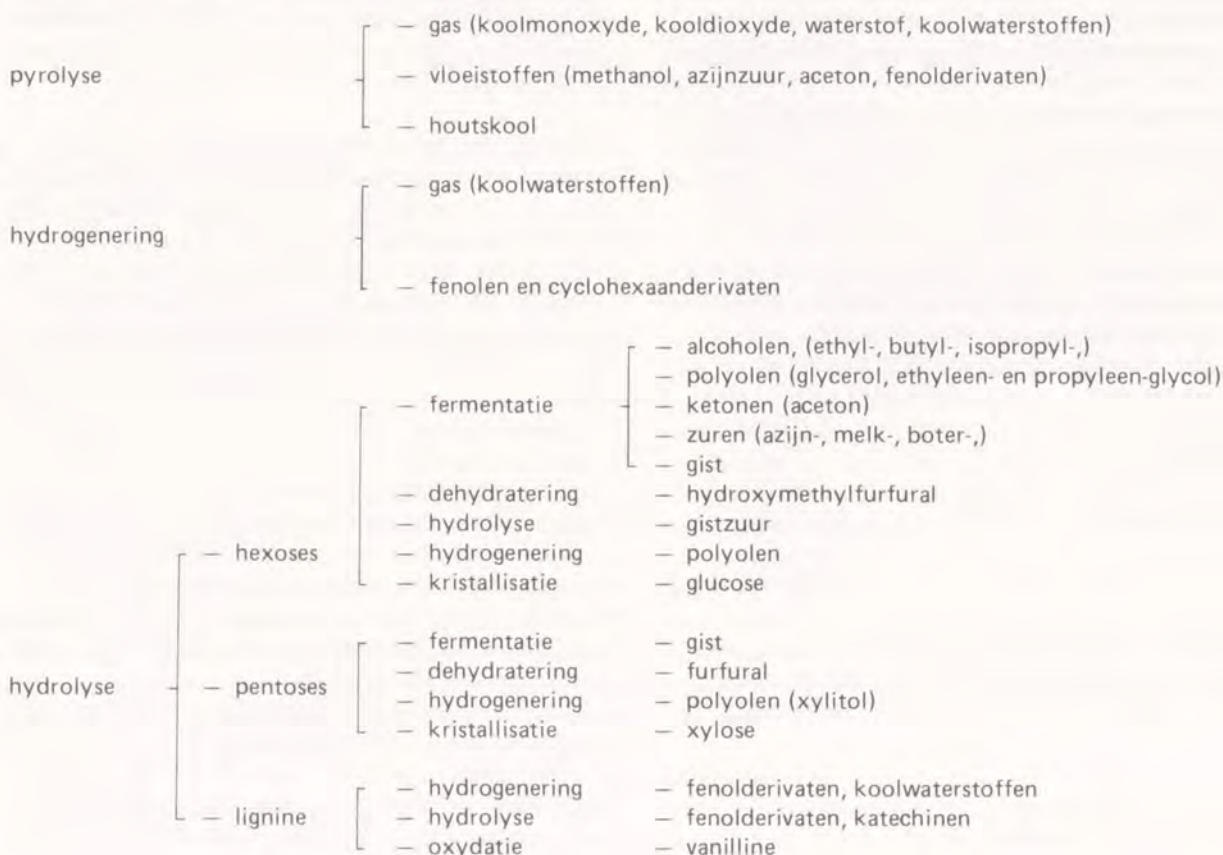
Naast het gebruik van afvalhout voor de spaanplaat- en vezelplaatindustrie kan afvalhout als grondstof dienen ter vervaardiging van diverse chemische produkten [141, 142, 143].

De voornaamste bestanddelen van het hout, de cellulose, de semicellulose en de lignine, zijn polymeren, die kunnen worden omgezet in lager moleculaire organische verbindingen. Gedurende veel jaren is speurwerk in deze richting gedaan, waarbij men in de meeste gevallen niet uitging van afvalhout maar van ongebruikt hout.

Desondanks kan ook afvalhout als uitgangsmateriaal worden gebruikt, waarbij een meer homogene samenstelling van het afvalhout een betere garantie is voor het beheersen van het proces en de kwaliteit van de eindprodukten.

De processen moeten worden toegepast ter vervaardiging van chemische produkten. Indien men

Overzicht 1. Chemische produkten die uit hout kunnen worden verkregen [144].



het eindprodukt slechts gebruikt als alternatieve brandstof, zijn deze processen te duur en kan men het hout beter direct als brandstof gebruiken. Een economisch redelijk verantwoorde uitkomst van dergelijke processen is overigens toch aan sterke twijfel onderhevig. De produkten die uit hout kunnen worden verkregen, zijn in het volgende Overzicht 1 vermeld.

Economische aspecten

Uitgaande van de uit het hout verkregen chemische stoffen zoals ethanol, de polyolen, hydroxymethylfurfural en fenol kan men vele soorten organische oplosmiddelen, kunststoffen, synthetische vezels en synthetische rubbers maken.

In een Amerikaanse studie [142] is aannemelijk gemaakt dat het houtafval al voldoende zou zijn om aan de vraag naar deze produkten te voldoen.

De moeilijkheid is, dat al deze produkten ook uit aardolie kunnen worden gemaakt. Alles hangt af van de verhouding tussen de hout- en de olieprijs. Voor afvalhout lijkt deze verhouding niet ongunstig, maar het eigenlijke probleem is voldoende hout in de juiste kwaliteit en de juiste soort bij elkaar te krijgen. Met minder dan 3000 ton per dag behoeft men niet aan een renderend proces te denken [143].

Sinds de sterke stijging van de olieprijs is de situatie enigszins verbeterd. Vandaar dat de interesse weer wat meer in deze richting gaat. De totale hoeveelheid olie die zou worden bespaard indien deze produkten in het vervolg uit hout zouden worden gemaakt is slechts marginaal. Immers 94% van alle olie in de westerse wereld wordt gebruikt voor het dekken van de energiebehoeften.

Hoofdstuk V. Papier en karton

1. Inleiding

door ir. G.A. Schoonkind

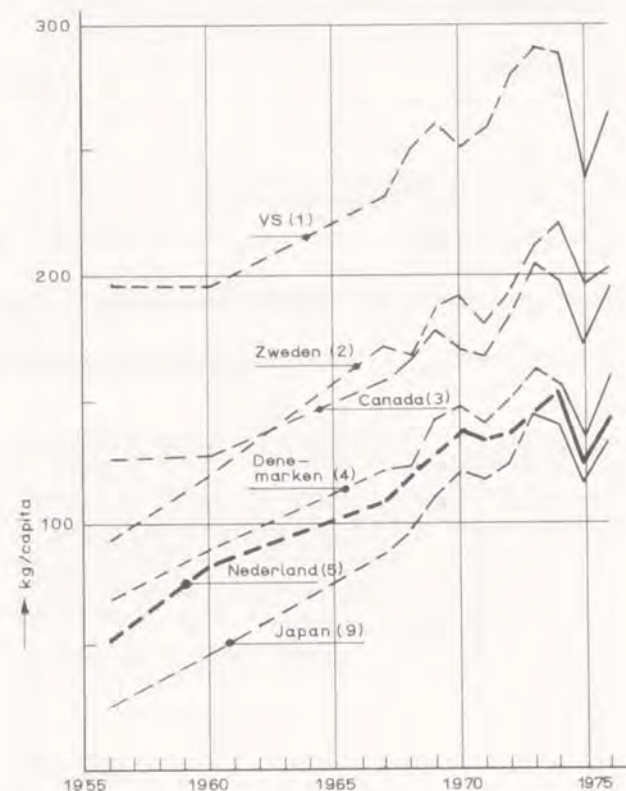
1.1. Geschiedenis

Papier en karton zijn niet uit onze samenleving weg te denken. De toepassingen ervan vindt men op de meest uiteenlopende gebieden, van kranten tot toilet papier, van golfkarton tot bonbondoos, van ponskaart tot geboortekaartje, van behang tot aquarel. De fabricage van papier heeft reeds een zeer lange geschiedenis [145]. Naar alle waarschijnlijkheid was Tsai Lun in China omstreeks 105 A.D. de eerste, die plantaardige vezels in water suspendeerde, daarna deze suspensie op een zeef van bamboe ontwaterde en tot een vlies vormde. Na persen en drogen was het blad papier gereed voor verdere bewerking om het beschrijfbaar te maken. Zo deed het papier zijn intrede als communicatiemiddel. De kunst van het papiermaken verspreidde zich allengs over de gehele wereld. In Japan begon men rond 600; tussen 700 en 800 werd het ambacht meestal door krijgsgevangenen via Samarkand naar Damascus overgebracht. Tussen 1000 en 1100 introduceerden de Moren via Marokko het papiermaken in Spanje. Daarna volgden Frankrijk, Italië, Duitsland (1389, Neurenberg), Engeland (omstreeks 1500), Nederland (1586, Dordrecht, Alkmaar) en Noord-Amerika (omstreeks 1700). Het papiermaken bleef tot het eind van de 18e eeuw grotendeels handwerk. Als grondstof werden praktisch alleen linnen en katoenen lompen, oud touwwerk e.d. gebruikt. Het verwerken hiervan geschiedde door koken van het vezelmateriaal in water met potas of kalk op een hout- of turf vuur, gevolgd door vervezeling in stampwerk tuigen, aangedreven door mankracht, paardekracht, waterrad of windmolen. De zo verkregen vezelsuspensie werd met de hand op een zeef van koper gaas geschept, het natte vel werd vervolgens tussen wollen vilten in een handpers geperst en daarna te drogen gehangen in een droogschuur. Na dompelen in een zetmeel- of gelatine-oplossing en opnieuw drogen was het papier beschrijfbaar en bedrukbaar. Door de uitvinding van de boekdrukkunst en de daarmee gepaard gaande steeds snellere vermindering van het analfabetisme nam de vraag naar papier zo sterk toe, dat er grondstoffenproblemen ontstonden. De beschikbaarheid van lompen werd ontoereikend; bovendien konden alleen witte lompen worden gebruikt voor de witte schrijf- en drukpapieren. Gekleurde lompen werden verwerkt tot grove pakpapieren. Enige verbetering bracht de ontdekking van het chloor in 1774, waardoor men rond 1790 de gekleurde lompen met hypochloriet

begon te bleken. Doch ook dit was onvoldoende om het grondstoffenprobleem op te lossen.

Het zou nog nijpender worden. De industriële revolutie had ook een revolutie in het papiermaken tot gevolg. In 1799 werd de papiermachine uitgevonden en in de daaropvolgende jaren tot ontwikkeling gebracht. Een eindloze, rondlopende zeef van koper gaas, gevolgd door enige persrollen en een aantal met stoom verhitte droogtrommels opende de mogelijkheid een continu toestromende vezelsuspensie om te zetten in een eindloze papierbaan, die in één arbeidsgang werd ontwaterd, geperst, gedroogd en opgerold. Het geheel werd aangedreven door een stoommachine. Vergeleken met het oude handwerk was de capaciteit van een dergelijke machine zo groot dat nu het grondstoffenprobleem kritiek begon te worden. Allerwege werd gezocht naar bruikbare vezels die op grote schaal beschikbaar konden komen.

De oplossing van het probleem was het vervezelen van hout. Omstreeks 1840 ontdekte men de mogelijkheid hout door middel van een slijpsteen en water te vervezelen tot de zogenoemde houtslip.



Figuur 1. Het jaarlijks papier- en kartonverbruik per inwoner voor enige landen.

Deze vezelmassa bleek echter slechts beperkt bruikbaar; te veel houtslip in het lompenpapier maakte dit te zwak, en bovendien bleek het papier snel te vergelen.

Pas tussen 1850 en 1870 kwam de grote doorbraak, toen men ontdekte hoe langs chemische weg de lignine (natuurlijke bindstof tussen de houtvezels) kon worden opgelost, waardoor de vezels konden worden vrijgemaakt. Ook andere vezelmaterialen, zoals stro, bamboe, espartogras, enz. bleken op deze wijze te kunnen worden omgezet in een bruikbare grondstof voor de papierfabricage. Nu lag de weg open naar een uitbreiding op grote schaal, en sindsdien hebben de vraag naar en het aanbod van papier en karton een snelle groei doorgemaakt. Figuur 1 geeft een beeld van de ontwikkeling van het verbruik van papier en karton per inwoner voor een aantal landen. Tussen Nederland en Japan liggen Finland, West-Duitsland en Zwit-

serland. Een aantal Afrikaanse en Aziatische landen heeft slechts een jaarlijks verbruik van ca. 0,1 kg/capita [146].

Uit Figuur 1 blijkt duidelijk de terugval in verbruik na 1973/74 als gevolg van de wereldrecessie. Het gevolg was een grote onderbezetting van het produktieapparaat in 1975 en 1976. In hoeverre het verbruik weer terugkeert naar de trend van voor 1973/74 is een open vraag. Er heeft tot nu toe een nauwe correlatie bestaan tussen het jaarlijks verbruik in kg/capita en het bruto nationaal produkt per capita [147]. Op deze basis werden vroeger de prognoses gemaakt van het toekomstige papiergebruik. Thans wordt echter rekening gehouden met een trendbreuk in genoemde samenhang.

Het productie/consumptiebeeld voor de gehele wereld in 1974 vindt men in Tabel 1.

Tabel 1. Wereldproductie en -consumptie van papier, 1974 (Mt) [146]

landen	totaal		ontwikkelde landen		ontwikkelingslanden		plan-economieën	
	prod.	cons.	prod.	cons.	prod.	cons.	prod.	cons.
Noord-Amerika	68,5	63,7	68,5	63,7	—	—	—	—
Europa	54,4	53,0	41,5	40,0	—	—	12,9	13,0
Azië/Oceanië	27,4	29,8	17,6	18,0	3,4	5,1	6,4	6,7
Latijns-Amerika	5,1	6,9	—	—	5,1	6,9	—	—
Afrika	1,3	2,3	0,9	1,2	0,4	1,1	—	—
Totaal (afgerond)	157	156	129	123	9	13	19	20
Jaarverbruik kg/cap.	41		164		7		17	

Landenverdeling als volgt:

ontwikkelde landen : Noord-Amerika, West-Europa, Australië, Nieuw-Zeeland, Israël, Zuid-Afrika, Japan.

ontwikkelingslanden : Afrika (overig), Latijns-Amerika, Azië (overig).

planeconomieën : China, Noord-Korea, Noord-Vietnam, Albanië, Comeconlanden.

De productie van de daarvoor benodigde vezelstoffen geeft Tabel 2.

Het verschil tussen de totale productie van papier en karton en de productie van vezelstof komt grotendeels door het gebruik van oud papier. Dit is niet in de vezelstofproductie begrepen en is mondiaal slechts indirect te schatten¹⁾.

Duidelijk blijkt uit de cijfers in Tabel 1 het enorme

¹⁾ Deze schatting verloopt als volgt [148]:

Voor 1000 kg (luchtdroog) papier is 1025 kg vezelstof (met 10% vocht) nodig. De papierproductie 1974 van 156,7 Mt vraagt dus 160,7 Mt vezels. Ruw gerekend moet hiervan 160,7 - 122,65 = 38,1 Mt uit oud papier gekomen zijn, d.w.z. bijna 25% van de gebruikte vezels is gerecupereerd.

Tabel 2. Productie niet-gerecupereerde vezelstoffen, 1974 (Mt) [146]

	totaal	ontwikkelde landen	ontwikkelingslanden	planeconomieën
Noord-Amerika	62,9	62,9	—	—
Europa	39,9	28,3	—	11,6
Azië/Oceanië	15,6	11,5	2,1	2,0
Latijns-Amerika	3,0	—	3,0	—
Afrika	1,2	0,9	0,3	—
Wereld (afgerond)	123	104	5	14

verbruikspotentieel in de ontwikkelingslanden en de planeconomieën, die samen 80% van de wereldbevolking omvatten. Opnieuw doet zich de vraag voor of de beschikbaarheid van vezelmateriaal een knelpunt zal gaan vormen.

1.2. Toepassingsgebieden

Het gebruik van papier en karton voor communicatie en verpakking is kwantitatief het belangrijkste.

Communicatie is het oudste toepassingsgebied van papier.

De volgende soorten behoren tot deze categorie:

- courantenpapier
- tijdschriftenpapier
- overige drukpapieren (boeken, catalogi, enz.)
- schrijfpapier en karton (o.a. schriften, blocnotes)
- enveloppenpapieren
- ponskaartenkarton
- kettingformulieren
- telexrollen, ponsbanden
- fotopapieren
- fotocopieerpapieren
- carbonpapieren

De kenmerkende functie van papier bij dit toepassingsgebied is het dragen van informatie. Het is relatief goedkoop en eenvoudig.

Verpakking is in kwantitatief opzicht het grootste toepassingsgebied van papier en karton. In een schier eindeloze reeks van vormen en modificaties, al dan niet behandeld met chemicaliën, al dan niet gecombineerd met plastics of metaalfolie, of in composities uit verschillende soorten papier en karton, wordt het materiaal gebruikt voor het verpakken van vloeistoffen en vaste stoffen, levensmiddelen, chemicaliën, apparaten, geneesmiddelen, enz. Het type verpakking loopt van de meest simpele kruidenierszak (bijna uitgestorven) tot de zware meerlaags golfkartonnen doos voor wasautomaten, van het sinterklaaspapier tot de luxe bonbondoo. Een wandeling door een supermarkt geeft een impressie van de enorme variatie aan verpakkingen, die nog slechts een deel vormt van alle verpakkingstoepassingen. Ook hier geldt dat papier en karton een relatief goedkoop basismateriaal vormen, licht van gewicht, goed te modificeren en te regenereren. Concurrerende mogelijkheden zijn verpakkingen gemaakt van metaal (blik), glas, hout, plastics. Vooral de plastics hebben op verschillende terreinen het papier en karton verdrongen (dozen, zakken, folies, e.d.); daarentegen hebben papier en karton in combinatie met plastics terrein veroverd ten koste van blik en glas (olie, jams, e.d.). Het gehele verpakkingsveld is continu aan veranderingen onderhevig. Dit wordt vooral veroorzaakt door veranderingen in de produktenstroom en de verpakkingstechniek. Bovendien kunnen hierbij milieu-overwegingen een rol spelen.

Een derde, sterk groeiend, toepassingsgebied is het gebruik van papier voor huishoudelijke en hygiënische doeleinden. Toilet papier, zakdoekjes, handdoeken, keukenrollen, papieren luiers worden steeds meer gebruikt. De vervanging van textiel, het besparen van de kosten en vooral de tijd en moeite van het wassen, is kenmerkend voor een groot deel van deze toepassingen. Ook in de medische sector gaat men steeds meer over naar éénmalig te gebruiken artikelen, gemaakt van papier en karton.

Van de vele kleinere toepassingsgebieden zijn sommige specialiteiten het vermelden waard zoals het releasepapier (met siliconen behandeld, als bescherming van zelfklevend materiaal, zoals etiketten, stickers), de kunststofplaten (met thermohardende harsen geïmpregneerd papier, in meer lagen op elkaar geperst), schuurpapier, isolatiepapier, filterpapier.

Tabel 3 geeft een indruk van de omvang van het verbruik van papier en karton voor de genoemde toepassingsgebieden.

Tabel 3. Verbruik van papier en karton in Nederland in 1972, (kt) [149]

Toepassingsgebied	Verbruik
Communicatie	842
Verpakking	866
Huishoudelijke en hygiënische toepassingen	80
Overige toepassingen	25
Totaal	1.813

2. Papier- en kartonfabricage

2.1. Verwerking van hout tot grondstof

door ir. G.A. Schoonkind

Houtvezels vormen de belangrijkste grondstof voor de papier- en kartonfabricage. De houtvezels worden direct uit hout verkregen (houtslijp, celstof) of gerecupereerd uit oud papier. Oorspronkelijk was het vezelhout uitsluitend naaldhout, dat een lange, sterke vezel geeft. Meer en meer wordt ook loofhout als grondstof toegepast. Dit levert weliswaar een kortere, minder sterke vezel, maar in mengsels met naaldhoutvezels geeft het aan diverse papiersoorten - vooral drukpapieren - betere eigenschappen.

Het hout wordt aangevoerd als rondhout en als houtafval van zagerijen en schaverijen. Het vervellen, d.w.z. het verbreken van de binding tussen

de houtvezels, geschiedt langs mechanische, thermische of chemische weg [150]. De zo verkregen natuurlijke vezel heeft een lengte van 1 tot 4 mm, afhankelijk van de houtsoort. De vezeldiameter varieert tussen 0,01 en 0,1 mm. Bij het fibrilleren (verrafelen) kan de gemiddelde vezeldiameter slinken. Bij het vermalen kan de gemiddelde vezellengte door breuk minder worden.

2.1.1. Houtslip

Houtslip wordt gemaakt door ontschorste palen van één of twee meter lengte tegen een natte, sneldraaiende slijpsteen te drukken. De standaardisatie op paallengte bij de houtslijperij heeft invloed op de houtoogst in het bos. De vezels worden uit het hout gerukt en met water van de steen gespoeld. Na het uitzeven van splinters is het tussenprodukt, de halfstof, gereed voor gebruik in houthoudende papieren (voor kranten e.d.).

Het rendement in gewicht is hoog (bijna 100%); de kwaliteit van het vezelmateriaal is laag (veel gebroken vezels, hoog ligninegehalte, waardoor verdeling en lage sterkte van het papierblad); de energieconsumptie is hoog.

2.1.2. Celstof

Celstof wordt vervaardigd door ontschorste palen en houtafval eerst te verkleinen in hakselmachines en vervolgens onder druk en hoge temperatuur (boven 100°C) met chemicaliën te behandelen. De lignine wordt gedeeltelijk opgelost; de vezels laten zich daarna gemakkelijk van elkaar losmalen. De ontsluiting geschiedt in zuur of alkalisch milieu. Voor het zure milieu wordt een bisulfietoplossing

gebruikt, oorspronkelijk calciumbisulfiet, tegenwoordig magnesium- of natriumbisulfiet (regeneerebaar). Men spreekt van sulfietcelstof.

Alkalisch geschiedt de ontsluiting met natriumhydroxyde of natriumsulfide. Regeneratie van de chemicaliën vindt meestal plaats en het sulfideverlies wordt aangevuld door reductie van natriumsulfaat. Men spreekt dan ook van sulfaatcelstof, natroncelstof, of kraftcelstof.

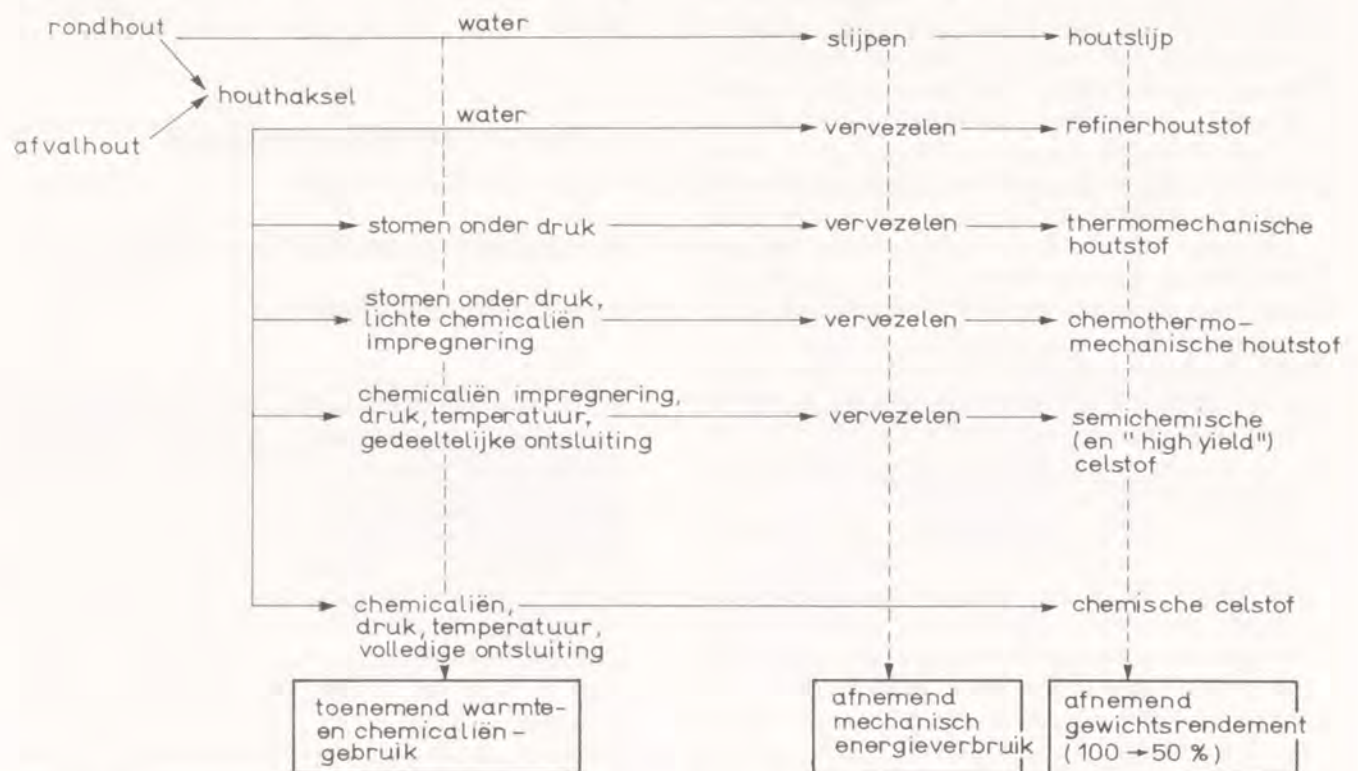
Deze celstofprocessen worden gekenmerkt door een vezelrendement van ca. 50%, gave vezels, crèmegrijze kleur bij sulfiet, bruine kleur bij sulfaat, hoge sterkte van het papier (vooral bij sulfaatbruine pakpapieren).

Door bleken met chloorgas, chloordioxyde, zuurstof, hypochloriet in verschillende combinaties en achtereenvolgende stappen, wordt een meer of minder witte vezel verkregen, die zeer duurzaam is.

2.1.3. Andere pulpprocessen

Er zijn reeds enige jaren ontwikkelingen gaande om halfstoffen te produceren die tussen houtslip en celstof in liggen. De voornaamste beweegreden is het economisch optimaliseren van kwantiteit en kwaliteit van vezelmateriaal uit hout. Minder verontsluiten van het hout langs chemische weg gevolgd door een mechanische vervezeling geeft 'high yield' celstoffen, die voor verschillende doeleinden bruikbaar zijn.

Bij een andere benadering wordt het klassieke slijpproces vervangen door het mechanisch vervezelen van houthaksel tussen schijven ('refiner' houtstof). Wanneer men hierbij vooraf het haksel met stoom



Figuur 2. De omzetting van hout tot vezelmateriaal voor de papier- en kartonfabricage.

verhit, waardoor de lignine zacht wordt, dan wordt een thermo-mechanische houtstof verkregen met hoog vezelrendement en met eigenschappen die vervanging van een deel van de klassieke celstoffen mogelijk maken. Wordt het haksel vooraf onder druk en temperatuurverhoging met chemicaliën geïmpregneerd, dan wordt een semichemische celstof geproduceerd, die in kwaliteit dicht bij de 'high yield' celstoffen ligt. De produktie-eenheden voor deze halfstoffen worden in grootte bepaald door de vervezelapparaten. Daardoor is het mogelijk met kleinere capaciteiten (enige tienduizenden tonnen/jaar) toch rendabel te werken.

Figuur 2 geeft een beeld van de verschillende processen en halffabrikaten uit hout [151].

Situatie voor Nederland

In Nederland wordt in twee bedrijven, gekoppeld aan papierfabrieken, het houtlijpproces toegepast. De slijperijen dekken circa 75% van de behoefte aan houtlijp. In het verleden werden deze slijperijen bevoorrad met geïmporteerd naaldhout, voornamelijk uit Canada en de Sowjet Unie. Via technologische aanpassingen is men sinds een jaar of tien overgegaan op het gebruik van Nederlands en Westduits naaldhout en de verwachting is dat binnen enkele jaren het gebruik van overzees hout niet meer nodig zal zijn. Het bezwaar van het lijpproces is dat slechts gave, rechte rondhoutstukken van standaardlengte kunnen worden gebruikt.

Er zijn plannen om met het thermomechanische houtstofproces nog meer binnenlands hout (krom, afval, e.d.) te gaan verwerken.

In één bedrijf, gekoppeld aan een kartonfabriek, wordt uit populierenhout refinerhoutstof geproduceerd.

Een semichemische celstofinstallatie, gekoppeld aan een golfkartonfabriek, verwerkte gemengd loofhout. Deze installatie is inmiddels stilgezet als gevolg van verzwaarde milieu-eisen.

Tot 1958 werd hier te lande ook sulfietcelstof geproduceerd uit geïmporteerd hout. Uit economische overwegingen moest deze produktie worden gestaakt.

2.1.4. Oud papier

Oud papier dekt thans reeds ca. 40% van de totale Nederlandse vezelbehoefte. Het toekomstig plafond zal rond 55% kunnen liggen, tenzij naast de bestaande methoden van inzameling ook nog de terugwinning uit huishoudelijk afval op grote schaal zou gaan worden toegepast. Er bestaan twijfels over het nut van terugwinning uit huisvuil omdat dit waarschijnlijk geen uitbreiding, doch in hoofdzaak een verschuiving van het oudpapiergebruik in Nederland zou geven [152].

Het oud papier is de tweede grondstof in hoeveelheid en waarde. De winning hiervan geschiedt uit vele bronnen.

Ongebruikt papier en karton, al dan niet bedrukt, wordt verkregen van papierverwerkende bedrijven, kartonnagebedrijven en drukkerijen.

Gebruikt papier en karton, al dan niet verontreinigd, is afkomstig van kantoren, archieven en huishoudingen.

De stroom oud papier loopt van deze bronnen via inzameling, detailhandel, groothandel naar de papier- en kartonfabrieken. Een groot deel van de inzameling is sterk afhankelijk van de prijsstelling; bij lage prijzen is er een geringe bereidheid bij de detailhandel tot opkopen.

Daardoor stagneert dan vooral de inzameling bij huishoudingen door jeugdverenigingen, clubs e.d.¹⁾

Systematische inzameling bij gezinshuishoudingen door het gescheiden houden van oud papier (kranten, tijdschriften, verpakkingen) en overig huishoudafval blijkt moeilijk uitvoerbaar, ondanks pogingen daartoe in samenwerking met de gemeentelijke overheden.

Door sortering bij de groothandel is een scala van oud papier- en kartonkwaliteiten in de handel, lopend van zeer hoogwaardige afsnijdsels van witte, onbedrukte papieren tot bont, zeer sterk verontreinigd afvalpapier. De papierfabrikant maakt hieruit zijn keuze, al naar de kwaliteit papier of karton die hij wenst te produceren. De verwerking geschiedt door vervezelen in water en reinigen van de vezelmasse. Een procédé dat in Nederland thans nog slechts op zeer geringe schaal wordt toegepast, is het ontinkten van oud papier.

Door middel van wassing of van flotatie wordt de vezel van de inkt gescheiden. Hiermee is bij de vervaardiging van drukpapier nog een belangrijke besparing aan nieuwe vezels mogelijk.

De terugwinning van vezels uit huis- en straatvuil verkeert nog in een experimenteel stadium.

Tenslotte valt nog een aspect te noemen: elke papiervezel wordt bij het doorlopen van het papierfabricageproces zwakker en korter. De mate van degradatie hangt af van de sortering van de grondstof en de instelling van de machines voor het bedoelde produkt. Mede dank zij het feit dat een groot deel van het in Nederland op de markt gebrachte papier wordt geïmporteerd uit landen waar tot nu toe slechts lage percentages oud papier worden gebruikt bij de papierfabricage (bijvoorbeeld Zweden 7%, Finland 3% in 1972), is de bruikbaarheid van ons oud papier vooralsnog groot.

2.1.5. Andere grondstoffen

Stro, eens een belangrijke grondstof voor de Nederlandse papier- en kartonfabricage, verliest steeds meer aan betekenis. De oorspronkelijke strokartonfabricage in Noord-Nederland was ge-

¹⁾ Ter ondervanging van deze bezwaren is intussen het 'Loodsenproject' op gang gekomen.

Tabel 4. Chemische samenstelling en fysische eigenschappen van de meest gebruikte vulstoffen en hun toepassing in de papierindustrie [153].

Vulstof	Chemische samenstelling	Dichtheid in kg/dm ³	Gemiddelde deeltjes-grootte in micro-meter	Spec. oppervlakte m ² /g	Brekings-index	Witheid in % MgO = 100 %	Toepassing in de papierindustrie
Silicaat, Kaolin	Al ₄ (OH) ₈ (Si ₄ O ₁₀)	2,5–2,8	0,5–1,0	7,5	1,56	70–90	Alle soorten druk- en schrijfpapier en -kartons, voor het strijken van papier en karton.
Talc	3MgO.4(SiO ₂ .H ₂)	2,8	1–10		1,57	70–90	Voor drukpapier met glad en glanzend oppervlak. Bontpapier. Glansverbeterend in strijkmassa.
Asbestine	Calciumvrije Mg-Sil. Calciumhoudend Sil.	2,5–2,7++					Isolatie- en asbestpapier, langvezel voor textielindustrie, vezel voor opdikkende druk-, filtreer- en vloeipapier.
Calciumsilicaat-pigment	CaO(SiO ₂) _{3...5} .(H ₂ O) _{2...3} CaSiO ₃ .H ₂ O	2,1 2,9	0,03 2–20		1,47 1,62	95 92–96	Vervanging titaandioxyde.
Calciumsulfaat	CaSO ₄ .2H ₂ O CaSO ₄	2,36 2,96	1–5 1–5		1,52 1,58	70–80 (95–97)+ 96(99)+	Goedgelijmd en mat schrijfpapier en -karton. Ivoorkarton.
Calciumsulfo-aluminaat	3CaO.Al ₂ O ₃ .3CaSO ₄ .31H ₂ O						Hoogwaardig druk- en schrijfpapier, foto-basis papier en -karton. Strijkmassa papier en karton.
Bariumsulfaat	BaSO ₄ BaSO ₄	4,48 4,35	2–5 0,5–2	4,5	1,64 1,65	95 98	Ongelijmde papieren Sigarettenpapier.
Calciumcarbonaat	CaCO ₃ CaCO ₃	2,7 2,7–3,0	3–5 0,2–0,5	6,5	1,56 1,56	93 95	Bijbedruk. Sigarettenpapier. Wit maken van dunne papieren.
Magnesium	MgCO ₃	3,01+					
Bariumcarbonaat	BaCO ₃ BaCO ₃	4,2–4,3 4,2–4,3					
Titaandioxyde	TiO ₂	3,9	0,2–0,5	9,0	2,55	98–99	Hoogwaardige, ondoorzichtige dun- en bijbedruk.
Titaanwit.	TiO ₂	4,2	0,55		2,70	98	Zeer witte fijnpapieren, strijkmassa en technische papieren.
Titaan-Calciummengsel	50%CaSO ₄ .50%TiO ₂ (R) 70%CaSO ₄ .30%TiO ₂ (R)	3,25 3,47	0,55		1,98 1,84	98	(R) = in rutiel kristalvorm.
Kieselgoer	Hoofbestanddeel SiO ₂	2,3	2–10		1,33	60–90	Zeer dunne papieren. Filtreer- en vloeipapieren.
Zinkoxyde	ZnO	5,6	0,3–0,5		2,01	97–98	
Zinksulfide	ZnS 72% BaSO ₄ , 28% ZnS	4,0 4,3	0,3–0,5 0,2–0,5		2,37 1,84	97–98 97–98	Hoogwaardige, zeer witte fijn- en speciaalpapieren.

baseerd op een gedeeltelijke ontsluiting van de strovezels met kalk. Het effect van het lozen van de afvalloog op de Groningse kanalen is algemeen bekend. Door het kweken van kortstengelige granen en de moderne oogstmethode met 'combines' is de beschikbare hoeveelheid stro teruggelopen en is het stro te hoog in prijs geworden.

De fabrikanten van strokarton en -papier hebben hun productie in de loop der jaren steeds meer overgeschakeld op het gebruik van oud papier in plaats van stro.

De eindprodukten zijn het z.g. grijskarton en -papier.

In 1972 bedroeg de produktie van strovezels nog 177.000 ton, waarnaast ook nog 25.000 ton strocelstof als witte, gebleekte vezel werd geproduceerd. Dit laatste wordt niet meer geproduceerd sinds het betreffende produktieapparaat door brand is verwoest.

Gegevens over het stroverbruik in Nederland in 1974 zijn te vinden in Tabellen 14 en 15.

Overige vezelstoffen

In 1974 werd nog rond 6.200 ton celstof gebruikt uit andere materialen, voornamelijk katoen (linters). Hiervan wordt ca. 1.500 ton hier te lande gemaakt. Het wordt gebruikt voor de fabricage van enkele bijzondere papiersoorten.

2.1.6. Hulpgrondstoffen

door ir. W.P.C. Zeeman

Het papier bevat naast vezelmaterialen hulpgrondstoffen. Deels worden die toegepast als goedkoop vervangingsmateriaal voor de natuurlijke vezels. Anderzijds worden zij toegevoegd om specifieke eigenschappen aan het papier te geven. De belangrijkste toevoegingen zijn ondergebracht in de volgende groepen.

Vulstoffen. Deze worden gebruikt om het aandeel van het duurere vezelmateriaal te verminderen, maar ook ter verbetering van enkele belangrijke eigenschappen, zoals bedrukbaarheid, gelijkmatiger doorzicht, grotere ondoorzichtigheid, diffuse lichtreflectie en witheid.

Vulstoffen waren oorspronkelijk mineraal, tegenwoordig zijn het ook vaak chemisch vervaardigde anorganische produkten. Men onderscheidt silicaten, sulfaten, carbonaten en oxyden.

De chemische opbouw en fysische eigenschappen zijn in Tabel 4 aangegeven.

Lijmstoffen. Deze worden toegevoegd om het opzuigend vermogen van het vezelkleed te beïnvloeden en ook de inwendige samenhang te versterken. Gebruikt worden harslijm, dierlijm, zetmeel, caseïne, montanwas, waterglas en bentoniet.

Voor de hechting van de hars op de vezel wordt in het algemeen aluminiumsulfaat toegevoegd.

Bindmiddelen. Voor de verkrijging van goede op-

pervlakte-eigenschappen van het papier en voor de procesdoelmatigheid is het nodig dat de vulstoffen en lijmstoffen aan de oppervlakte van de papierbaan worden gebracht. De bindmiddelen in de strijkmassa omvatten naast lijmstoffen, ook nog diverse kunstharsen en latices.

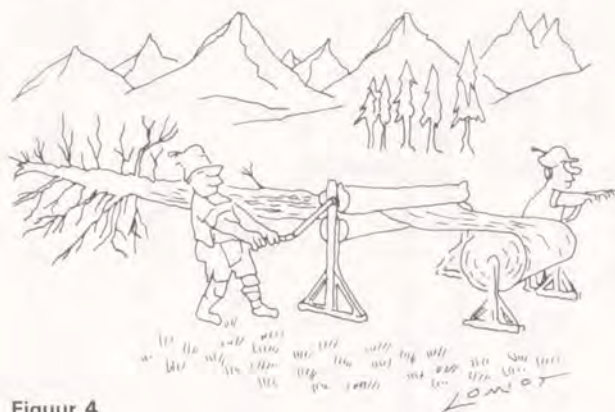
Kleurstoffen. De gebruikelijke synthetische organische kleurstoffen zijn te onderscheiden in basische, zure, substantieve en pigmentkleurstoffen. De toepassing is afhankelijk van de vereiste kleureigenschappen, alleen aan de oppervlakte of in het papier.

Bleekmiddelen. Door bleken van het vezelmateriaal kan de witheid van het papier worden beïnvloed. Bleekmiddelen worden meestal slechts toegepast in houtvrije papiersoorten.

Fixeermiddelen. De papierfabricage is een verviltingsproces, met water als transport- en distributiemiddel. Tijdens het ontwateringsproces kunnen delen van alle grond- en hulpgrondstoffen in de papiermassa met het water uit het zich vormende blad worden verwijderd. Door fixatie en gebruik van retentiemiddelen wordt er naar gestreefd deze verliezen te verminderen. In het perspectief van de vermindering van de afvalwatervervuiling komt een nieuw accent op deze middelen te liggen.

2.2. Energieaspecten

door ir. W.P.C. Zeeman












Figuur 4.

2.2.1. Vezelwinning

We laten hier buiten beschouwing de energiebehoefte voor het kappen, ontschorsen, afkorten, sorteren en transporteren van het hout.

De energiebehoefte is sterk afhankelijk van het type proces en van de wijze waarop de energie wordt gebruikt. Van bijzonder belang is de invloed van de integratie van een pulpfabriek met een papierfabriek.

Uiteraard spelen de soort en kwaliteit van het aangevoerde hout en het gewenste vezelresultaat bij de proceskeuze de belangrijkste rol.

benodigd	papier eerste kwaliteit	papier gemiddelde kwaliteit	kringlooppapier
hout (kg)	 2385	 1710	 slechts oud papier
vers water (m ³)	 max 440	 max 280	 max 1,8
energie (kWh)	 7600	 4750	 2750

Figuur 5. Grondstof- en energiebehoefte per ton papier.

Tabel 5 geeft de hoeveelheden waarover het gaat.

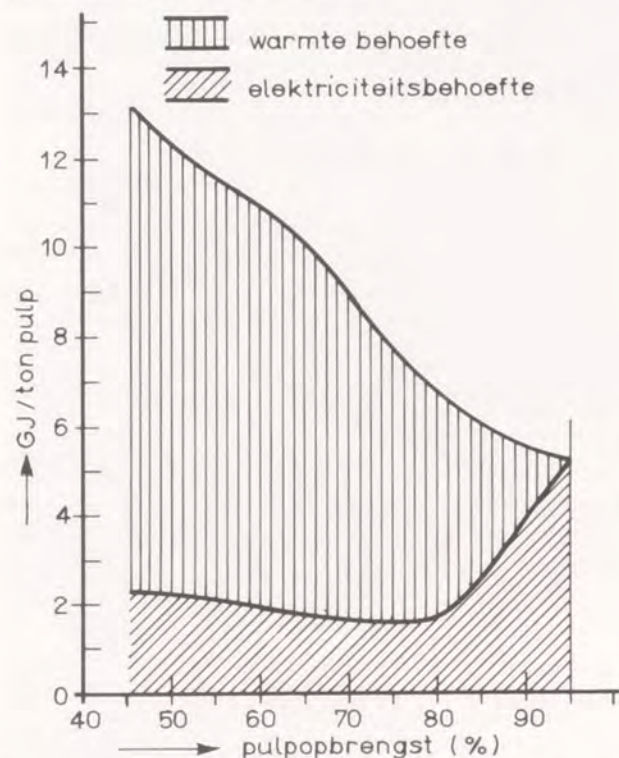
Tabel 5. Inkopen van energie door de papier- en kartonindustrie in Nederland. In 1976, totaal 155 mln gulden [154, 155]

	hoeveelheid	waarde $f \times 10^6$
1. LPG, benzine en diesel-olie	$0,8 \times 10^6$ l	0,3
2. Stookolie		
licht	1.000 m ³	0,3
zwaar	32.000 t	6,8
3. Aardgas		
van plaatselijk gasbedrijf	23×10^6 m ³	3,7
rechtstreeks van Gasunie	588×10^6 m ³	88,8
4. Elektrische energie	611×10^6 kWh	55,4
5. Overige energiedragers		0,3
6. Steenkool, steenkool-cokes of -briketten	0	0,0

Het houtrendement van de vezelwinningsprocessen is als volgt (vergelijk met Figuur 2):

houtslijp, refinerslijp, thermo-mechanische pulp	90%
semichemische pulp	70-90%
high yield pulp	55-70%
sulfietpulp	50-65%
sulfaatpulp	45-55%

In de navolgende grafiek (Figuur 6) wordt de benodigde energie opgegeven voor de pulpprocesen, met inachtnaame van een zo gesloten mogelijke procesvoering. Deze grafiek geldt voor een op zich zelf staande pulpfabriek.



Figuur 6. Energiegebruik als functie van het rendement van de pulpbereiding [156]

De technische doelstelling van de pulpindustrie is de bereiding van de hoogste kwaliteit met het gunstigste rendement.

Zeker is, dat wijzigingen van de kwaliteitseisen, grondstof- (i.c. hout-) besparing, zuinigheid met energie en vermindering van de milieuvuiling door het proces, ontwikkelingen zijn, die economisch en maatschappelijk grote invloed kunnen uitoefenen.

2.2.2. Papierfabricage

Het energieverbruik en de warmtebehoefte zijn sterk afhankelijk van de papiersoort. Bovendien zijn de produktiecapaciteit en de energetische proces-optimalisering van belang.

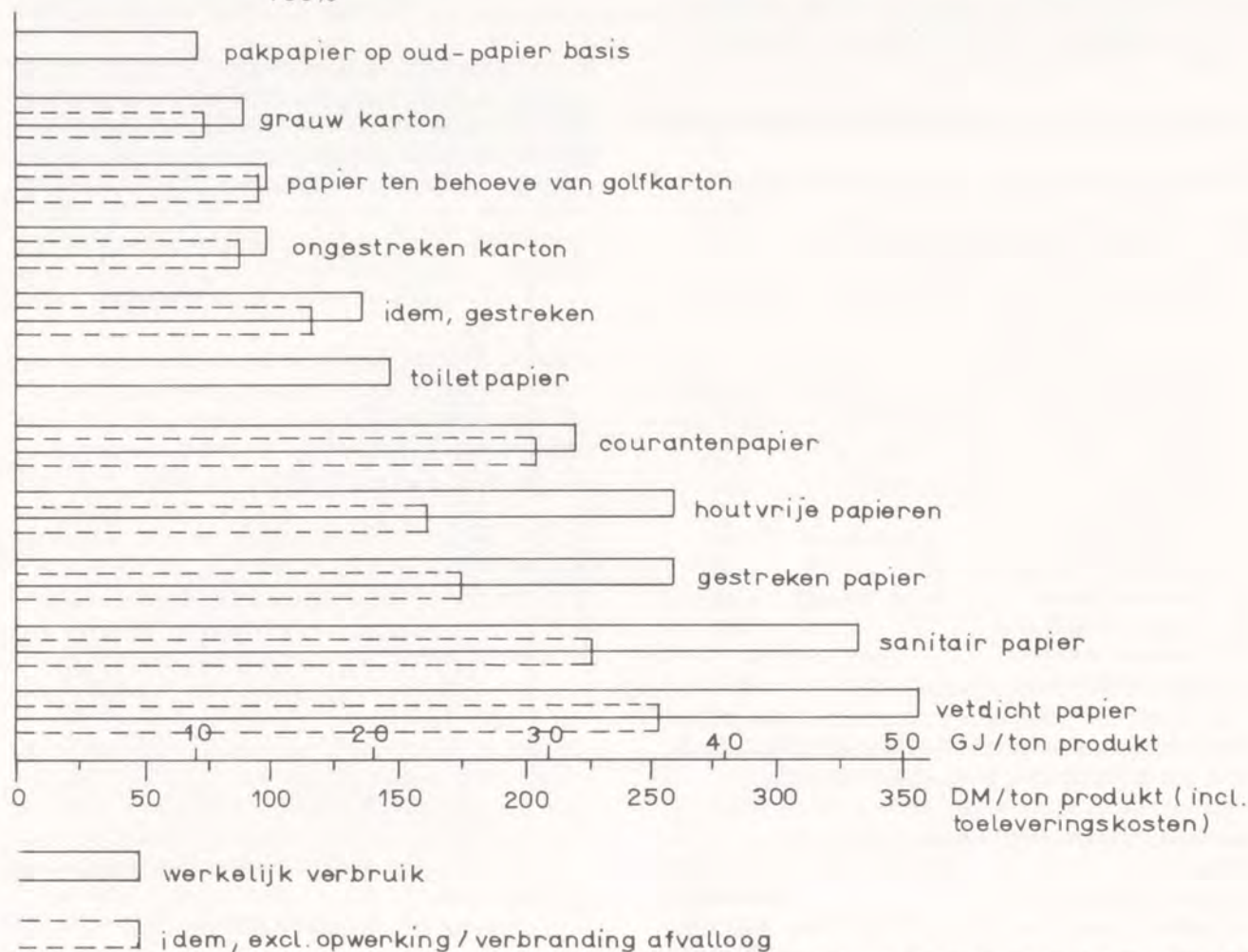
Energiekosten verdeling binnen het proces

Het energieverbruik van het fabricageproces is globaal in te delen als onderstaand is weergegeven.

Kosten van energieverbruik

Stofbereiding	10%
Papiermachine	75%
Afwerking (op vellen)	3%
Verlichting	1,5%
Verwarming	9,5% (koudewintermaand)

100%



Een samenvatting van het energieverbruik per ton produkt van enige soorten in Duitsland geeft de volgende lijst. Op basis van een zekere groepsindeling is voor die groepen papier en karton de bij de fabricage opgenomen energie aangeduid [157].

	elektrische energie in GJ per ton produkt	warmte-energie in GJ per ton produkt
Grafische soorten	2,8	6,3
Verpakkingspapier	2,3	5,9
Hygiënisch papier	4,1	7,3
Speciale papieren	6,8	11,4
Karton	1,9	6,9
Speciale kartonnages	1,5	5,6

Ter verdere indicatie van de orde van grootte van de benodigde energie volgt het navolgende histogram, Figuur 7, dat geldt voor een geïntegreerd werkende pulp- en papierfabriek.

2.2.3. Energievoorziening

Een gecombineerde warmte-kraftinstallatie komt in aanmerking, als men door integratie van het verpulpsingsproces met het papierfabricageproces de mogelijkheid van besparing op de energiebehoefte wil optimaliseren [158].

Voor het houtslip-pulpproces is immers vooral motorenergie nodig. Voor het chemische pulpproces is de warmtebehoefte veel groter dan de daarbij vereiste motorenergie. Voor het papierfabricageproces is in het algemeen de energiebehoefte voor motoren groter dan voor de daarbij vereiste warmtebehoefte, hoewel er uitzonderingen op deze regel zijn bij speciale papiersorten.

Bij de geïntegreerde pulp- en papierfabricage is, met inschakeling van een tegendrukturbine, een oplossing gevonden voor de warmte- en krachtopwekking.

De huidige technieken bieden o.a. met gasturbines en afgassenketels nieuwe mogelijkheden, eventueel in combinatie met het reeds genoemde tegendrukturbinesysteem.

Het belang van de energie is voor de Nederlandse Papier- en Kartonfabrieken in 1970 gemiddeld 5 à 6% van de produktiewaarde van papier en karton, hetgeen toen ca. 62 miljoen gulden betekende. In 1976 is dit opgelopen tot bijna 9% met een bedrag van 156 miljoen gulden.

Alleen door regelmatig een systematische analyse van de energiebehoefte te maken is een garantie voor een technisch-economische en maatschappelijke optimale inzet van de beperkte natuurlijke bronnen van vezelmateriaal en energie te verkrijgen.

2.3. Milieu-aspecten

2.3.1. Beleid aangaande waterverontreiniging

door ir. M.C.M. van Oirschot

In 1970 is in ons land de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO) in werking getreden. Krachtens genoemde wet dient elke vijf jaar een Indicatief Meerjaren Programma (IMP) te worden vastgesteld, dat richtinggevend dient te zijn voor de bestrijding van de waterverontreiniging. In 1975 is het eerste IMP verschenen [159].

Volgens dit programma mag op grond van de huidige ontwikkelingen worden verwacht dat de lozing van zuurstofbindende stoffen, voor zover het tenminste biologisch afbreekbare stoffen betreft, omstreeks 1985 zal zijn gesaneerd. Het accent zal bij verdergaande maatregelen meer komen te liggen op de waterverontreiniging met stoffen die biologisch niet of slecht afbreekbaar zijn. Het gaat hier om een grote verscheidenheid aan stoffen afkomstig van diverse bronnen.

Door industriële afvalwaterlozers moeten maatregelen worden getroffen om de waterverontreiniging te beperken. Plannen hiertoe dienen door de bedrijven zelf te worden ontwikkeld. In dit verband

is het gewenst dat er duidelijkheid is over de criteria waaraan de plannen behoren te voldoen en over het doel van de sanering. Ook is het wenselijk dat aan vergelijkbare bedrijven vergelijkbare of uniforme eisen worden opgelegd. Het vergunningenbeleid in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren zal een belangrijk middel zijn om het bovengestelde te bereiken.

De maatregelen die door de bedrijven moeten worden getroffen, zullen moeten bestaan uit interne saneringsmaatregelen, eventueel gecombineerd met externe maatregelen. Incidenteel kunnen interne maatregelen leiden tot een nagenoeg volledige oplossing van het afvalwaterprobleem. Een dergelijke oplossing is echter meer uitzondering dan regel, zodat in de meeste gevallen een aanvullende externe behandeling van het afvalwater nodig zal zijn.

Indien het afvalwater voornamelijk stoffen bevat die goed biologisch afbreekbaar zijn, zal een externe behandeling van het afvalwater in nagenoeg alle gevallen bestaan uit een oxydatief biologische zuivering. Een biologische zuiveringsinstallatie zal moeten worden beoordeeld op het rendement van de vermindering in het biochemisch zuurstofverbruik BZV¹⁾. Deze vermindering moet onder normale omstandigheden 90 à 95% bedragen. De bacteriën en andere micro-organismen die deze oxydatieve afbraak van organisch materiaal in afvalwater bewerkstelligen, vormen daarbij vlokke klontertjes, die als waterig slib moeten worden afgescheiden alvorens lozing van het behandelde water mag plaatsvinden. Een deel van dit slib wordt als entmateriaal teruggevoerd naar de inlaat van de installatie. De rest van het slib wordt gewoonlijk apart ingedikt. Het vrijkomende water wordt teruggevoerd in het waterzuiveringssysteem. Het ingedikte slib wordt verbrand danwel afgevoerd voor een andere bestemming.

In beginsel kan een dergelijke zuivering plaats vinden hetzij in een regionale overheidsinstallatie, dan wel in een eigen installatie. Indien het afvalwater tevens aanzienlijke hoeveelheden stoffen bevat die niet of slecht biologisch afbreekbaar zijn, zal een andere zuiveringsmethode of een aanvullende behandeling moeten worden overwogen. Afhankelijk van de omstandigheden, kan een deel van deze stoffen in het vlokke slib door adsorptie worden gebonden.

Het lozen van toxische stoffen dient in alle gevallen te worden vermeden. Toch kan het voorkomen dat deze stoffen zich ongewild in het afvalwater bevinden. Ook in zo'n geval kan een deel van de toxische stoffen worden geadsorbeerd aan het slib, waar

¹⁾ Onder BZV wordt verstaan de gewichtshoeveelheid zuurstof die door micro-organismen per liter water wordt verbruikt gedurende 5 dagen onder de voorgeschreven proefcondities. In normale omstandigheden wordt de proef bij 20°C uitgevoerd; in sommige notaties wordt dit aangeduid als BZV²⁰. In de Engelse literatuur wordt over 'biological oxygen demand' (BOD) gesproken.

door het afvloeiende water (effluent) een lager gehalte aan toxische stoffen vertoont dan het toegevoerde afvalwater. Het slib bevat dan een concentraat van die ongewenste stoffen.

Lozing van afvalwater afkomstig van de houtverwerkende industrie vindt in Nederland in hoofdzaak plaats bij de papier- en pulpindustrie.

Bij een aantal van deze bedrijven zijn reeds de nodige maatregelen getroffen of in voorbereiding. Dit blijkt uit Tabel 6, waarin een overzicht is gegeven van de vervuilingswaarden van het afvalwater van deze industrie in 1969 en 1976 en schattingen voor 1980.

Tabel 6. Vervuilingswaarde van het afvalwater van de Nederlandse papier- en pulpindustrie in i.e.¹⁾

1969	2.000.000 à 3.000.000 ²⁾
1976	ca. 1.000.000 ³⁾
1980	ca. 150.000

¹⁾ i.e. = inwonerequivalent = het biochemisch zuurstofgebruik van het afvalwater van de gemiddelde inwoner; voor Europa 54 g zuurstof per dag; voor de VS 76 g zuurstof per dag; (het verschil is dat in de VS veel organisch keukenafval door een molentje in de gootsteenafvoer in het afvalwater terecht komt).

²⁾ aandeel stroverwerkende bedrijven ca. 1.000.000 i.e.

³⁾ aandeel stroverwerkende bedrijven ca. 200.000 i.e.

Voor de berekening van het aantal inwoner-equivalenten is gebruik gemaakt van de zogenaamde rijksformule op basis van het chemisch zuurstofverbruik (CZV) die is opgenomen in het Uitvoeringsbesluit Verontreiniging Rijkswateren van 5 november 1970.

Indien het afvalwater biologisch wordt gezuiverd, wordt de vervuilingswaarde van het effluent berekend met behulp van een formule op basis van het biochemisch zuurstofverbruik (BZV).

Bedoelde formules worden gebruikt voor het vaststellen van de vervuilingswaarde van het afvalwater voor de heffing. Wanneer echter de CZV/BZV-verhouding van het afvalwater groter is dan 2,5 – en dat is bij papier- en pulpfabrieken vaak het geval – dan vindt de aanslag plaats op basis van de BZV-formule. Dit geldt op het moment van het schrijven van deze bijdrage (begin 1979). Deze regeling die een gevolg is van de uitspraak van de Hoge Raad van 12 april 1978 nr. 18.365, is in ieder geval van kracht voor lozingen op rijkswater. Echter dient er rekening mee te worden gehouden dat door wijziging van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren deze heffing op basis van de BZV-formule van tijdelijke aard zal zijn.

Voor wat betreft de vervuilingswaarden, die in Tabel 6 zijn opgenomen is echter met deze uitspraak geen rekening gehouden. Het afvalwater van zowel de papier- als pulpbedrijven kan, zelfs nadat de

noodzakelijke interne saneringsmaatregelen zijn getroffen, nog een relatief hoog gehalte aan organische stoffen bevatten die niet of onvoldoende worden verwijderd in een oxydatieve biologische zuiveringsinstallatie. Dan zijn aanvullende maatregelen nodig.

De Nederlandse wetgeving kent geen sectoriële normen, diverse andere landen daarentegen wel. Als voorbeeld hiervan kunnen de Verenigde Staten van Amerika worden genoemd. In januari 1976 zijn door de 'Environmental Protection Agency' (EPA) effluentnormen opgesteld voor de papier- en pulpindustrie. De invoering van deze lozingsnormen zal in etappen geschieden waarbij men uitgaat van de volgende indeling:

- toepassing op 1-7-1977 van de 'best practicable control technology, currently available', d.w.z. de beste, praktisch uitvoerbare technieken;
- toepassing op 1-7-1983 van de 'best available control technology, economically achievable', d.w.z. de beste bestaande economisch haalbare technieken (wat economisch haalbaar is kan een Salomo's oordeel vergen);
- toepassing van 'new source performance standards' bij nieuwe bronnen van verontreiniging.

Een overzicht van deze door de EPA voorgestelde emissienormen [160] voor een aantal soorten pulp- en papierbedrijven is weergegeven in Tabel 7.

Ook binnen de EEG is men bezig tot emissienormen te komen voor afzonderlijke bedrijfstakken. Tot de bedrijfstakken die als eerste in aanmerking kwamen voor een dergelijke benadering, behoort de pulpindustrie.

Uit oogpunt van waterkwaliteitsbeheer is juist voor Nederland een aanpak van de waterverontreiniging bij de pulpindustrie van groot belang. Van de totale vracht aan opgeloste organische stoffen die via de Rijn ons land wordt binnengevoerd, is een belangrijk deel niet of slecht biologisch afbreekbaar. Deze stoffen bestaan voornamelijk uit lignosulfon-zuren en zijn in hoofdzaak afkomstig van de in de Rijnlanden gevestigde pulpbedrijven [161]. Een verbetering van de waterkwaliteit van de Rijn is o.a. voor de drinkwaterbereiding voor Nederland van uitermate groot belang. Onderhandelingen tussen de lidstaten over de emissienormen waren eind 1977 nog gaande. Het spreekt vanzelf dat deze normen tevens zullen zijn afgestemd op de aanwezigheid van moeilijk afbreekbare stoffen.

Voor de papier- en kartonfabricage is de eerste en belangrijkste milieuwet de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren¹⁾. Zijdellings heeft deze bedrijfstak ook met andere milieuwetten nog wat te maken, waarop hier niet zal worden ingegaan.

¹⁾ Dit gedeelte is verzorgd door ir. W.P.C. Zeeman.

Tabel 7. Maximum E.P.A.- emissienormen voor pulp- en papierbedrijven, uitgedrukt in BZV (kg O₂ per ton produkt) en kg zwevende stof per ton produkt (= ZS).

Proces	Gemiddelde waarden over een aaneengesloten periode van 30 dagen						Maximale dagwaarden					
	b.p.c.t.c.a. ¹⁾		b.a.c.t.e.a. ²⁾		n.s.p.s. ³⁾		b.p.c.t.c.a.		b.a.c.t.e.a.		n.s.p.s.	
	BZV	ZS	BZV	ZS	BZV	ZS	BZV	ZS	BZV	ZS	BZV	ZS
mechanische pulp	4,45	7,9	1,85	1,45	2,0	3,15	8,55	14,7	3,55	2,65	3,85	5,85
semi-chemische pulp	7,05	10,45	3,9	1,65	3,9	3,3	13,50	19,45	7,5	3,1	7,5	6,15
sulfiet pulp	20,85	26,65	10,05	3,45	4,65	2,9	40	49,5	19,3	6,4	8,95	5,35
kraft pulp (gebleekt)	7,9	15,85	3,55	2,6	2,65	2,9	15,2	29,4	6,8	4,8	5,15	5,35
papierproduktie	6,25	5,0	2,15	1,1	2,15	2,2	11,4	10,25	4,15	2,05	4,15	4,1
papier uit oud papier	6,4	9,45	1,9	1,0	1,9	1,95	12,3	17,6	3,7	1,85	3,7	3,15

¹⁾ best practicable control technology currently available

²⁾ best available control technology economically achievable

³⁾ new source performance standards

Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren

De strekking van deze wet is:

Tegengaan en voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren.

Het aan deze wet verbonden vergunningenstelsel omvat:

Verbod en vergunningenstelsel voor lozen m.b.v. een daartoe bestemd werk op rijkswateren en niet-rijkswateren.

Verbod om de in het Uitvoeringsbesluit van 1974 aangegeven stoffen te lozen.

Verbod- en vergunningenstelsel voor lozen op volle zee enz.

De beleids- en adviesinstanties zijn:

Minister van Verkeer en Waterstaat (voor Rijkswateren) en Gedeputeerde Staten of Water- of Zuiveringsschap (voor niet-rijkswateren).

Adviserende instanties o.a.: Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater, Regionale Milieuspectie, Provinciale Waterstaat.

De financiële aspecten van deze wet omvatten: Heffingen op basis van inwonerequivalenten en hoeveelheden. Voor niet-rijkswateren is de hoogte van de heffing per regio verschillend. Er is een uitkering mogelijk voor bestaande bedrijven ter tegemoetkoming in de kosten van vereiste maatregelen.

Enkele bijzonderheden van de wet zijn:

In werking getreden in 1970. Besluiten, o.a.:

– Uitvoeringsbesluit verontreiniging rijkswateren (1972);

– Uitvoeringsbesluit artikel 1, derde lid (1974).

Bij overtreding maximaal 1 jaar hechtenis of maximaal f 25.000,- boete.

Tengevolge van de grote waterhoeveelheden, de toegepaste processen en de niet-gesloten kringlopen, werd deze wet van bijzonder belang voor de Nederlandse pulp-, karton- en papierindustrie. De eisen brachten voor de pulpindustrie mee dat de fabrieken van sulfietcellulose moesten veranderen of sluiten en dat het sulfaatproces overbleef.

In Nederland kwamen de strokartonfabrieken in een onhoudbare situatie. De voortzetting kon slechts worden gerealiseerd door de overgang op oud papier als grondstof. Ook het semi-chemische pulpproces kon de hoge zuiveringslasten niet opbrengen, ondanks de gunstiger kwaliteit van de grondstof ten opzichte van oud papier.

Uit de jaarrede (1977) van de voorzitter van de Ver. Ned. Papierfabrikanten [162] kan worden opgemaakt hoe belangrijk de waterverontreiniging is: 'Reeds lang voor de invoering van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren werd door de papieren kartonindustrie gewerkt aan vermindering van het waterverbruik teneinde het verlies van waardevolle grondstoffen, die zich in het afvalwater bevinden, te beperken, c.q. vezels terug te winnen. Na de invoering van de W.V.O. is onze industrie thans bezig in snel tempo milieu-beschermende installaties te realiseren, waarvoor de investeringen in een periode van 5 jaar circa f 250 miljoen bedroegen'.

De papier- en kartonindustrie streeft naar vermindering van het waterverbruik. Dat bedroeg in 1967 73 m³ per ton en in 1972 nog slechts 58 m³ per ton. Volgens een prognose van het Vezelinstituut TNO, zal het waterverbruik in 1980 ca. 37 m³ per ton en in 1990 circa 21,5 m³ per ton produkt bedragen.

Zowel individueel als collectief wordt door de papier- en kartonindustrie grote aandacht aan research op het gebied van waterhuishouding en afvalwaterreiniging besteed.

2.3.2. Overig milieubeleid

door ir. W.P.C. Zeeman

De overige milieubescherpende wetten zullen hier niet uitputtend worden behandeld. Er zullen slechts enkele voor de pulppapier- en kartonindustrie belangrijke facetten worden genoemd.

Wet inzake de luchtverontreiniging

Voor de Nederlandse industrie in het algemeen zal de overgang van aardgas op kolen of olie zware lasten meebrengen, zowel door de investeringen als door de maatregelen om te voldoen aan de luchtverontreinigingseisen. De relatief veel warmte en kracht vereisende bedrijfstak voor papier en karton ziet dan ook tegen die tijd een zware belasting opdoemen.

Wetten afvalstoffen

Deze wetten hebben voor de papier- en kartonindustrie een probleem gebracht dat in gezamenlijk overleg zal moeten worden opgelost, nl. het slib uit de reinigingsinstallaties voor het afvalwater. Bij een totale jaarproduktie van ca. 1,8 Mt papier- en karton zou naar schatting 18.000 à 27.000 t slib (droog) vrijkomen. Bij een gehalte aan droge stof van ca. 40%, zou dit overeenkomen met 45.000 à 68.000 t nat slib, dat vervoerd, gestort of verbrand, of voor andere toepassingen zou moeten worden gebruikt.

Uit Amerikaanse en Zweedse publikaties is bekend dat de prijzen van het eindprodukt door de exploitatiekosten van afvalwaterreiniging en slibverwijdering gemiddeld met 5% zouden moeten stijgen.

Grondwaterwet (in behandeling)

Vanzelfsprekend is de Nederlandse papier- en kartonindustrie een voorstander van een goede wettelijke regeling, die een zorgvuldig en doelmatig gebruik van het grondwater bevordert [163]. De aanwezigheid van voldoende grondwater van goede kwaliteit was historisch en nu nog steeds een der bepalende factoren voor de plaats van vestiging van de papierindustrie.

Zelfs als er voldoende oppervlaktewater aanwezig is, blijft het de vraag of dit oppervlaktewater, ook na zuivering, voldoet aan de hoge eisen die het papierproduktieproces stelt. De Nederlandse papier- en kartonindustrie produceert circa 1.700.000 ton papier en karton per jaar; heeft circa 12.000 werk-

nemers in dienst en neemt ongeveer 12% van het totale industriële waterverbruik in Nederland voor haar rekening.

Heffingen op wateraanvoer boven de bestaande winningskosten zouden onoverkomelijke lastenverzwaringen ten gevolge kunnen hebben. Bijvoorbeeld zou een amendement (Van Kuyen) van maart 1977 op het grondwaterwetsvoorstel, een lastenverzwaring van 50 à 60 miljoen gulden per jaar ten gevolge hebben gehad voor de Nederlandse papier- en kartonindustrie. Haar concurrentiemogelijkheden met het soortgelijke buitenlandse produkt zouden daardoor nog ernstiger worden verzwakt.

Voorbeeld

De enorme investeringen die in de semi-chemische pulpbereiding nodig waren om aan de milieuwetgeving te voldoen, hebben reeds geresulteerd in bedrijfssluitingen. Zo heeft het enige Nederlandse bedrijf dat semi-chemische pulp produceerde, in 1977 de produktie moeten beëindigen. Het is Papierfabriek De Hoop te Eerbeek, die na een onderzoek naar de mogelijkheid tot verwerking van inlands loofhout, in 1961 begon met de produktie van semi-chemische pulp.

In en bij een aantal woningen op minder dan 100 m afstand van het fabrieksterrein werd geluids-overlast ondervonden. Door het treffen van bouwkundige maatregelen en de plaatsing van geluidswerende muren op en rond het terrein kon tenslotte vrijwel worden voldaan aan de norm voor geluidshinder overdag.

Minder oplosbaar bleken de problemen van stankoverlast en waterverontreiniging. De investeringen die nodig zouden zijn geweest tot opheffing van deze problemen waren veel te hoog om in de kostprijs van semi-chemische pulp te worden doorberekend. Bovendien was, o.a. vanwege de te verwachten kostenstijging van semi-chemische pulp, een nieuw proces ontwikkeld op basis van oud papier.

Deze ontwikkelingen leidden tenslotte tot beëindiging van de semi-chemische pulpbereiding in Nederland.

2.3.3. Het afvalwater van de papier- en pulpbedrijven

door ir. M.C.M. van Oirschot

De grootste verontreiniging kan worden veroorzaakt door de pulpbedrijven, waar door chemische ontsluiting van hout, cellulose wordt gewonnen.

De verontreiniging door het afvalwater van een pulpfabriek is behalve van de te verwerken houtsoort, sterk afhankelijk van het ontsluitingsproces, van de mate van ontsluiting en van nabehandeling van de gewonnen vezel. Het afvalwater bevat organische stoffen, zoals suikers en lagere vetzuren en biologisch slecht afbreekbare organische componenten, zoals lignineverbindingen. Indien bleking van de vezels met chloor plaatsvindt, kan het afvalwater tevens chloorhoudende verbindingen

bevatten, waarvan vooral de eventueel gevormde gechlorideerde lignineverbindingen bijzondere aandacht verdienen. Door lozing van zuurstofbindende stoffen wordt de zuurstofhuishouding van het ontvangende water beïnvloed. Voor de bepaling van het gehalte aan zuurstofbindende stoffen wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde BZV- en de CZV-methode (Biologisch Zuurstof Verbruik en Chemisch Zuurstof Verbruik). De BZV-waarde geeft een beeld over de aanwezigheid in het afvalwater van goed biologisch afbreekbare componenten; de CZV-methode, die met bichromaat/zwavelzuur werkt, geeft een maat voor het gehalte aan alle oxydeerbare materialen in het water.

In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de vuilvrachtniveaus van enige soorten pulpbedrijven [164]. De vuilvrachten van het afvalwater zijn uitgedrukt in kg BZV, resp. kg zwevende stof per ton produkt. Voldoende betrouwbare gegevens over de CZV-waarden, die een inzicht geven in de totale hoeveelheid te lozen zuurstofbindende stoffen, inclusief de biologisch slecht afbreekbare stoffen, ontbreken nog. De richtwaarde voor de papier- en kartonbedrijven ligt iets hoger dan 2,5 x de BZV-waarde die gemiddeld voor huishoudelijk afvalwater geldt.

Tabel 8. Vuilvrachtniveaus in het afvalwater van pulpbedrijven, uitgerust met een standaard technologie voor 1970.

pulpproces	gemiddelde vuilvrachtniveaus in kg per ton produkt	
	zwevende stof	BZV
mechanisch (houtslijp)	30	10
semi-chemisch		
a) met terugwinning van ontsluitingsvloeistof	40	90
b) zonder terugwinning van ontsluitingsvloeistof	50	290
sulfiet		
a) met terugwinning van ontsluitingsvloeistof	50	250
b) zonder terugwinning van ontsluitingsvloeistof	60	450
kraft/sulfaat (gebleekt)		
a) met terugwinning van ontsluitingsvloeistof	40	90
b) zonder terugwinning van ontsluitingsvloeistof	50	290

Het afvalwater van papier- en kartonfabrieken, voor zover ze niet zijn geïntegreerd met een pulpbedrijf, is aanzienlijk minder verontreinigd.

Onder deze categorie van bedrijven kunnen tevens worden gerekend de bedrijven die oud papier verpulpen en de daaruit gewonnen vezel verder verwerken tot karton of papier.

In het afvalwater van een papier-, cq. kartonbedrijf zullen, behalve vezels, stoffen aanwezig zijn die vrijkomen bij het in suspensie brengen van de ingekochte pulp, dan wel bij het verpulpen van oud papier en hulpstoffen, zoals lijmen, zetmelen, kleurstoffen, vulstoffen enz. In dit verband verdient ook de mogelijke toepassing van biociden de nodige aandacht, zowel bij de papier- als bij de pulpindustrie. Deze biociden kunnen geheel of gedeeltelijk in het afvalwater terecht komen.

In Tabel 9 is een overzicht gegeven van de specifieke vuilvrachten van papier- en kartonbedrijven. Gegevens over het zwevende stofgehalte zijn achterweg gelaten gezien de grote variaties die hierin kunnen optreden.

Tabel 9. Vuilvrachtniveaus in het afvalwater van papier- en kartonbedrijven, uitgerust met een standaard technologie voor 1970 [152].

	gemiddelde vuilvracht in kg per ton produkt	
	CZV	BZV
houtvrij papier	10,5	4,3
gestreken papier	14,2	7,1
krantenpapier	14,3	6,6
papier uit oud papier	18,9	8,6
karton uit oud papier	11,3	7,0

De vervuilingswaarde van het afvalwater van papier- en pulpbedrijven kan in belangrijke mate worden verminderd door een combinatie van interne en externe maatregelen.

Als voorbeelden van interne maatregelen zijn te noemen:

recirculatie van proceswater, indamping van ontsluitingsvloeistoffen, eventueel gecombineerd met terugwinning van chemicaliën.

Voor externe behandeling komt oxydatief-biologische zuivering in aanmerking, eventueel in combinatie met fysisch-chemische zuivering.

2.3.4. Gezamenlijke Eerbeekse waterzuivering door ir. J.A.S. Berns

Historische ontwikkeling

Sedert de 17e eeuw bevindt zich in Eerbeek een grote concentratie van papierfabrieken die allerlei soorten papier produceren. De aanwezigheid van geschikt proceswater zal niet vreemd zijn geweest aan de keuze van deze lokatie. De nabije aanwezigheid van bossen kan in de 17e eeuw geen overweging zijn geweest omdat pas in het midden van de 19e eeuw hout als grondstof voor papier kon worden gebruikt.

Lang voordat er sprake was van wetgeving inzake de zuivering van afvalwater, hield de Eerbeekse papierindustrie zich hiermee bezig.

Ongeveer 25 jaar geleden begon men met centrale zuivering van het afvalwater. Dit resulteerde in de aanleg van grote bezinkvijvers. Het daaruit afkomstige slib, in hoofdzaak bestaande uit houtvezels en vulstoffen, is in die jaren grondig bezien op mogelijke toepassing in de landbouw. Uit het onderzoek bleek dat het slib geen bemestende waarde had. Wel bleek dat het waterhoudend vermogen van humusarme zandgronden door toediening van slib werd verhoogd. Na een verdere uitbouw van de waterzuivering tot een mechanische installatie (vijzelgemaal, harkrooster, zandvanger, voorbezinktank, trommelfilterinstallatie) werd aan het slib een andere bestemming gegeven: het werd voor hergebruik naar een van de papierfabrieken teruggevoerd.

Na het van kracht worden van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren van 13 november 1969 werd naar nieuwe oplossingen gezocht om aan de eisen van de nieuwe wetgeving te kunnen voldoen.

Herkomst afvalwater

Het afvalwater dat op 'Industriewater Eerbeek B.V.' wordt aangevoerd is afkomstig van een aantal in dit bedrijf participerende papierfabrieken. De grondstoffen voor de papierbedrijven bestaan thans in hoofdzaak uit geïmporteerde cellulose en binnenlands oud papier. Bij één van de bedrijven werd voor de produktie van halfcellulose voornamelijk inlands loofhout gebruikt. De ontsluiting van de houtvezel geschiedde aldaar aanvankelijk met natriumsulfiet; later is men op ammoniumsulfiet overgegaan. De bij de ontsluiting vrijkomende zwartloog werd, na een voorbehandeling door indamping, afgevoerd naar de mechanische zuiveringsinstallatie. Het afvalwater dat naar Industriewater wordt afgevoerd, bevat verder o.a.: vezels, vulstoffen (zoals kaolien), hulpstoffen (zoals harslijm en aluin), alsmede kleurstoffen. Na mechanische voorzuivering bedroeg het aantal geloosde inwonerequivalenten (i.e.) in 1974, gemiddeld over het jaar, ca. 130.000 per etmaal¹⁾. De aangevoerde hoeveelheid afvalwater bedroeg ca. 1500 m³/h. De hoeveelheid slib bedroeg op jaarbasis ca. 9.000 ton (bepaald als droge stof).

Aangezien deze lozingen hoge heffingen met zich meebrachten, moest naar nieuwe oplossingen worden gezocht voor aanvullende zuiveringsmogelijkheden.

¹⁾ Dit was toen ongeveer 6% van de vuilozing door de Nederlandse papier- en kartonindustrie ($2,1 \times 10^6$ i.e., waaraan de huishoudingen (13,6 miljoen inwoners) $13,6 \times 10^6$ i.e. bijdroegen.

Beoordelingscriteria

Om tot een weloverwogen en verantwoorde keuze van een zuiveringsinstallatie te komen, is het nodig een aantal beoordelingscriteria te formuleren, waaraan dient te worden voldaan. Dit zijn o.a.:

- eisen voor het te lozen water
- stankhinder
- geluidoverlast
- slibproduktie en slibeigenschappen
- gevoeligheid van het systeem voor wisselende belastingen, temperatuur en giflozingen
- benodigd terreinoppervlak
- planologie
- flexibiliteit ten aanzien van eventuele nieuwe ontwikkelingen en stringentere lozingseisen
- eenvoudige bedrijfsvoering
- investeringskosten
- totale jaarlijkse kosten (vast en variabel)

Met het oog op deze beoordelingscriteria, de steeds toenemende lastenheffing en de stijgende grondstoffenkosten dient te worden onderzocht in hoeverre het te lozen water zowel naar aard van de geloosde stoffen als naar concentratie is te beperken. Dit onderzoek dient te zijn gericht op de ontwikkeling en toepassing van nieuwe technologische processen alsmede op toepassing van nieuwe grond- en hulpstoffen. Hiertoe is in de afgelopen jaren door de aangesloten bedrijven veel onderzoek verricht. Dit heeft tot gevolg dat de geloosde hoeveelheden afvalwater en afvalstoffen door interne maatregelen kunnen gaan verminderen. Tevens werd het sterk verontreinigende proces ter bereiding van halfcellulose beëindigd.

Een overzicht van de vervuiling na mechanische voorzuivering voor en na de interne saneringen, wordt in onderstaande Tabel 10 weergegeven.

Tabel 10. Vervuiling van te behandelen afvalwater (na voorzuivering).

	voor sanering	na sanering
debiet m ³ /uur	1.500	750
BZV ₅ kg/dag	—	3.300
totaal kg stikstof per dag (Kjeldahl)	1.600	270
primair slib, ton droge stof per jaar	9.000	2.200

Zuiveringsmethoden

In het algemeen komen voor de zuivering van afvalwater de volgende methoden in aanmerking:

1. mechanisch
2. fysisch/chemisch
3. biologisch (aerob of anaerob) of combinaties van deze methoden.

Bij het aerobe proces kan qua uitvoering nog weer een onderscheid worden gemaakt in:

- a. oxydatiebedden (deels aerob/anaerob) of
- b. actief-slibinstallaties, waarvan diverse uitvoeringen mogelijk zijn.

ad 1

Daar er reeds een mechanische voorzuivering bestond, behoefde dit onderdeel geen nader onderzoek bij de sanering.

ad 2

Onderzocht is in hoeverre het mogelijk was het mechanisch voorbehandelde water fysisch-chemisch te zuiveren. Uit het onderzoek bleek, dat:

- het rendement van het zuiveringsproces door toevoeging van chemicaliën werd verhoogd met slechts ca. 10% (tot een totaal rendement van 35-40%); deze toename werd veroorzaakt door verwijdering van colloïdale stoffen.
- de jaarlijkse kosten voor chemicaliëndosering dermate hoog waren, dat van het gebruik van deze methode moest worden afgezien.

ad 3

Veel onderzoek is verricht naar de biologische afbreekbaarheid van het afval.

Oxydatiebedden

De toepassing van oxydatiebedden is in het geheel niet overwogen. De redenen hiervoor zijn:

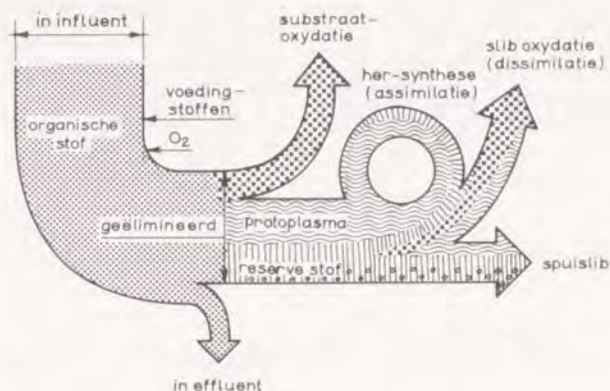
- de mogelijke kans op verstoppingen van de bedden,
- geringe flexibiliteit bij de bedrijfsvoering,
- het teruglopen van het zuiveringsrendement en van de oxydatie van stikstofverbindingen bij lage temperatuur, derhalve onvoldoende garanties t.a.v. de kwaliteit van het effluent.

Actiefslibinstallaties

Bij de actiefslibinstallatie wordt het afvalwater in een beluchtingsruimte in contact gebracht met actief slib. Het slib-watremengsel wordt dan intensief belucht. Het actief slib bestaat uit vlokken waarin bacteriën en protozoën leven. Deze micro-organismen nemen de organische stoffen in zich op en zetten deze om; daarbij wordt nieuw bacteriemateriaal gevormd (assimilatie). De netto produktie aan nieuw bacteriemateriaal dient regelmatig uit het systeem te worden verwijderd (surplusslib), teneinde een bepaalde bacteriemassa te handhaven. Afhankelijk van de gemiddelde verblijftijd van de bacteriemassa in het systeem zal een deel van het gevormde nieuwe bacteriemateriaal endogeen worden verteerd (dissimilatie). Schematisch kunnen deze processen als volgt worden weergegeven (zie Figuur 8).

De gekozen installatie

Er is gekozen voor de aanbouw van een actiefslibinstallatie. Ter verkrijging van meer informatie zijn proefinstallaties gebouwd, waarbij zijn vergeleken:



Figuur 8. Oxydatief-biologische zuivering van afvalwater onder toevoeging van luchtzuurstof en voedingsstoffen.

- de laagbelaste actiefslibinstallatie,
- de tweetraps-actiefslibinstallatie.

Het doel was het vaststellen van de diverse dimensioneringsgrondslagen, alsmede de te bereiken zuiveringspercentages, om via vergelijking van beide systemen een keuze te kunnen maken. Redenen om een tweetrapsinstallatie in de beschouwing op te nemen, waren o.a.:

- de sterk wisselende belastingen van het te zuiveren afvalwater, zowel in hoeveelheid als in samenstelling,
- de eis van een effluent met een geringe restvervuiling,
- de te verwachten hoge nitrificatiegraad in de tweede trap, van belang vanwege de eventuele hoge lastenheffing t.g.v. lozing van niet-geoxydeerde stikstofverbindingen,
- de voordelen van goede bezinkingseigenschappen van het slib (slibindex),
- de relatief geringe hoeveelheid surplusslib.

Op basis van de verkregen proefresultaten, is gekozen voor een tweetraps-actiefslibinstallatie. Een belangrijke extra overweging bij de keuze was bedrijfszekerheid.

Uitgangspunten

Bij het ontwerp van de installatie is van de volgende hoeveelheden uitgegaan:

debiet	: 900 m ³ /h
BZV	: 4000 kg/d
totaal stikstof (Kjeldahl)	: 330 kg/d
primair slib (droge stof)	: 7200 kg/d
surplus slib (droge stof)	: 3800 kg/d

Bij een wateraanvoer groter dan 900 m³/h wordt het afvalwater (na mechanische voorzuivering) afgevoerd naar een egalisatiebassin. Naderhand kan het dan toch worden behandeld.

Een overzicht van de installatie is gegeven in Figuur 9.

Tabel 11. Elektrische vermogens in de Eerbeekse afvalwaterzuivering (kW).

		geïnstalleerd ver- mogen	gemiddeld opgenomen vermogen
influentvijzel		22	7
harkrooster		2	1
zandvanger		3	2
voorzinktank		1,5	1
slibindikker		1,5	1
effluentgemaal		100	30
doseervijzel		4	3
luchtcompressoren	4 stuks	220 totaal	204
retourslibvijzels	3 stuks	33 totaal	21
nabezinktanks	2 stuks	3 totaal	2
slibindikker		3	2
slibpompen	3 stuks	9 totaal	8
kelderwaterpompjes	2 stuks	3 totaal	2
hogedruk pomp		7,5	7
dompelpomp		4	3
bufferpers		2,5	2
krachtcontactdozen	5 stuks	10 totaal	9
vuilversnijders	2 stuks	6	5
slibvoedingspompen		22	12
centrifuge		30	25
zeefbandpers		5	4
meetinstallatie		1	1
verlichting en verwarming		18	18
subtotaal		511	371
kabelverliezen			23
subtotaal 'normaal bedrijf'		511	394
extra bij grote aanvoer			60
subtotaal 'verhoogde bedrijvigheid'		511	454
nog in reserve		89	

Gerekend wordt op een totaal geïnstalleerd vermogen van 600 kW, in een gelijktijdig op te nemen vermogen tot 500 kW.

Daaruit valt af te leiden dat het zwaartepunt bij de compressoren ligt. Met behulp van de compressoren wordt de voor het biologische zuiveringsproces benodigde zuurstof (lucht) in het afvalwater gebracht. Het ligt voor de hand dat energiebesparende maatregelen in eerste instantie voor het beluchtingsgedeelte worden getroffen. Dit is mogelijk door bij het ontwerp uit te gaan van

- een beluchtingssysteem met een optimaal rendement voor alle voorkomende belastingen; de beluchtingscapaciteit dient derhalve regelbaar te zijn;
- een continue meting en registratie van de zuurstofconcentratie in het water met automatische regeling van de compressoren.

Bij het ontwerp is gekozen voor compressoren volgens het verdringerprincipe (roots-blowers). Regeling van de luchthoeveelheid door smoren in de persleiding is energetisch ongunstig. Daarom is gekozen voor vier compressoren. Hiervan worden twee uitgerust met een poolomschakelbare elektromotor (verhouding toerentallen 1 : 2).

Na de compressoren nemen van de continu draaiende onderdelen de retourslibvijzels het grootste deel van het vermogen voor hun rekening. Het energiegebruik per inwonerequivalent is op jaarbasis gering. De besparingen die kunnen worden verkregen door beperking van het verval in de installatie, wegen niet op tegen de extra investeringskosten.

Van de niet continu draaiende onderdelen wordt het vermogen grotendeels bepaald door slibvoedingspompen en de centrifuge. In hoeverre hier op energiegebruik valt te besparen zal t.z.t. de bedrijfsvoering moeten uitwijzen.

Op basis van de geïnstalleerde vermogens, het aantal geraamde draaiuren van de verschillende onderdelen en de totale jaarlijkse aanvoer aan afvalwater, BZV en slib wordt het totale jaarlijkse energiegebruik geraamd op ca. $9,4 \times 10^6$ MJ.

Het jaarlijkse specifieke energiegebruik is als volgt:

	MJ per i.e.
watertransport	16
beluchting	54
slibverwerking	8
	<hr/>
totaal	78

Resultaat

Het effluent van de installatie moet voldoen aan de volgende eisen:

	gemiddeld	enkel monster
BZV volgens NEN 3235-5,4	max. 20 mg/l	max. 30 mg/l
bezinkbare bestanddelen	max. 0,3 mg/l	max. 0,5 mg/l
zwevende bestanddelen	max. 20 mg/l	max. 30 mg/l

Te berekenen is dat de in deze installatie te behandelen 750 m³/h een effluent zal leveren met een rest-zuurstofbehoefte van ten hoogste ca. 360 kg zuurstof per dag.

Dit komt neer op een reductie van de zuurstofbehoefte van ca. 90%.

De eigenschappen van het slib kunnen pas definitief blijken na de start van de installatie. Alsdan zal blijken op welke wijze, het slib het beste nuttig kan worden gebruikt.

Afhankelijk van de aard van mogelijke sporen-verontreinigingen in de voeding, zal een deel worden geoxydeerd. De resterende sporen-verontreinigingen zullen ten dele in het effluent en de rest in het slib worden afgevoerd.

Tabel 13. Verdeling van de wereldproductie van vezelhout in 1972 (10⁶ m³ rondhout) [166].

Landen	Naaldhout	Loofhout	Totaal
Geïndustrialiseerde landen	170	71	241
	w.o.: USA 73	w.o.: USA 31	
	Canada 33	Japan 13	
	Zweden 27	Frankrijk 5	
	Finland 14	Zweden 4	
		Canada 4	
Ontwikkelingslanden	8	6	14
Economisch centraal geleide landen	45	4	49
	w.o.: USSR 35		
Totaal	223	81	304

Daarnaast spelen zagerij-afval een steeds belangrijker rol als bron van houtvezels. Zo gebruikt men in de VS thans voor de vezelproductie ruim 1/3 zagerij-afval naast 2/3 rondhout. Dit is mede het gevolg van moderne houtbewerkingsmethoden.

3. De ontwikkeling van produktie en gebruik van papier en karton

3.1. Grondstoffenvoorziening

door ir. G.A. Schoonkind

De papierfabricage vormde een toepassingsgebied, dat naast de aloude toepassingen als brandhout, zaaghout, mijnhout en palen, een vergroting van het houtgebruik veroorzaakte. Een beeld van het wereldhoutverbruik in 1972 in zijn verschillende toepassingen geeft Tabel 12.

Tabel 12. Wereldverbruik in 1972 van loofhout en naaldhout naar toepassingen (10⁶ m³ rondhout) [166].

Materiaal	Naaldhout	Loofhout	Totaal
Brandhout	172	967	1.140
Zaaghout	588	220	808
Mijnhout	22	10	32
Palen, enz.	102	67	169
Vezelhout	223 (=20%)	81 (=6%)	304 (=12%)
Totaal	1.107	1.345	2.453

De produktie van de in Tabel 12 aangegeven hoeveelheden vezelhout was verdeeld zoals aangegeven in Tabel 13.

De bronnen van het vezelhout zijn in hoofdzaak Noord-Amerika, de Noordepese landen en Rusland. De verwerking tot halfstof (houtslijp en celstof) en vervolgens tot papier heeft echter duidelijke verschuivingen ondergaan. In het begin van

deze eeuw werden overal celstof- en houtslijp- fabrieken opgericht om de papierfabrieken, die sterk op lokale markten waren georiënteerd, van grondstoffen te kunnen voorzien. Houtarme landen, zoals Nederland, moesten daartoe, voornamelijk uit de genoemde drie gebieden, vezel hout importeren. Daarnaast groeide in deze brongebieden een eigen houtslip- en celstofindustrie, die halfstoffen exporteerde en ook in eigen papierfabrieken verwerkte. Naarmate tariefbarrières wegvielen (EEG, EFTA, GATT), traden grote verschuivingen op. De houtverwerkende industrieën in de bosrijke landen groeiden uit tot grote geïntegreerde bedrijven met eigen bossen, zagerijen, halfstof- en papierfabrieken. Deze kunnen de bulkpapiersoorten (krantenpapier, zakkenpapier, kraftpapier voor golfkarton) zoveel goedkoper produceren, dat de papierfabrieken in de houtarme landen zich steeds meer moeten beperken tot de fabricage van specialiteiten. Deze moeten bij voorkeur in het eigen marktgebied worden gemaakt (service, vrachtkosten). Ook is, door de daarvoor nodige hoogwaardige specialistische kennis, de fabricageplaats minder gevoelig voor de voordelen van integratie. Voor deze papieren speelt de invoer van celstof uit de Noordegroep landen en Noord-Amerika een belangrijke rol. De vraag is echter of dit op langere termijn voldoende mogelijkheden biedt. De Scandinavische celstof- en papierindustrie is praktisch aan de limiet van de toelaatbare kap (er wordt daar zelfs al hout uit Rusland ingevoerd). Ook in Noord-Amerika zijn ogenschijnlijk limieten aan de economisch exploitatiebare houtvoorraad [167]. In Rusland wordt het hout op steeds grotere schaal in het land zelf tot papier verwerkt. Meer en meer wordt daarom het oog gericht op subtropische en tropische streken, waar snelle groei van de bomen grotere mogelijkheden biedt. Latijns-Amerika (vooral Brazilië), Afrika en Indonesië zijn gebieden waar een celstofindustrie tot ontwikkeling kan komen die als bron van grondstof voor de papierindustrie in de houtarme landen kan dienen. Maar ook in deze brongebieden zal op langere termijn de sterk stijgende eigen behoefte aan papier beslag op de eigen grondstof kunnen leggen. De vraag rijst dus of de papierindustrie in de toekomst wel voldoende houtvezels ter beschikking zal hebben. Prognoses op dit punt lopen uiteen. Technisch zal het probleem wel kun-

nen worden overwonnen. Het gebruiken van de gehele boom inclusief takken, enz. lijkt uitkomst te kunnen bieden. Een uitgebreid overzicht over de mogelijkheden van deze z.g. 'full-forest-utilization' vindt men in [168, 169]. Een tweede vraag is in het hoeverre andere vezelmateriaal de houtvezels kunnen vervangen bij de papier- en kartonfabricage. Mondiaal gezien worden bamboe en ook éénjarige planten, zoals graanstro, rijststro, riet, kenaf en katoen als grondstof voor de papierfabricage gebruikt; doch de toepassing hiervan is sterk plaatsgebonden en vormt slechts ca. 5% van het totale vezelgebruik. Daarbij zijn de vezels van deze éénjarige planten in het algemeen minder sterk dan houtvezels. Inzameling en transport vergen hoge kosten, terwijl alternatief gebruik (bijv. ampas als brandstof) de toepassing als vezelgrondstof kan belemmeren. Andere vezelstoffen die als vervanging van houtvezels kunnen dienen, zijn:

- minerale vezels (asbest, glas, steenwol), die met synthetische bindmiddelen (latices) tot een papier of karton kunnen worden verwerkt. Deze grondstoffen zijn duur in vergelijking met houtvezels en worden daarom slechts voor speciale toepassingen gebruikt;
- synthetische vezels (nylon, polyester enz.) en synthetische houtpulp uit polyethyleen (Japan, VS, Europa). Ook deze materialen zijn duur t.o.v. houtvezels en worden slechts gebruikt in speciale toepassingen ('non-wovens').

Resumerend zal toch hout de belangrijkste grondstoffenbron voor papier en karton blijven. De halfstoffabricage, al dan niet geïntegreerd met papierfabricage, zal de bosrijke landen - vooral in subtropische en tropische streken - in de toekomst een dominerende positie verschaffen. Daarbij kunnen hun politieke en economische omstandigheden grote problemen geven voor de papiervoorziening in de ontwikkelde landen.

De voorziening van grondstoffen en halfstoffen voor de Nederlandse papierindustrie in 1974 wordt in Tabellen 14 en 15 getoond. Uit de cijfers voor de eigen produktie en de import van halfstoffen blijkt duidelijk de afhankelijkheid van geïmporteerde celstof.

Tabel 16 toont daarbij het produktie/consumptiebeeld 1974 voor papier/karton.

Tabel 14. Grondstoffenvoorziening voor papier en karton in Nederland, 1974, (in 1000 ton) [170].

Grondstoffen	Produktie inlands	Export			Import			Consumptie en voorraad	
		totaal	EEG	overig	totaal	EEG	Scan. N.Am. overig		
Papierhout (1000 m ³)	288	—	—	—	257	137	—	120	545
Stro	213	—	—	—	41	41	—	—	254
Textielafval	2	—	—	—	—	—	—	—	2
Oud papier	949	344	324	20	181	175	—	6	786

Tabel 15. Halfstoffen voor papier en karton in Nederland, 1974, (in 1000 ton) [170].

Halfstoffen	Productie inlands	Export			Import					Consumptie
		totaal	EEG	overig	totaal	EEG	Scan.	N.Am.	overig	
Houtslijp e.d.	157,4	1,1	1,0	0,1	66,6	4,1	61,7	0,8	—	222,9
Semichem. celstof	31,4	—	—	—	—	—	—	—	—	31,4
Sulfietcelstof	—	0,3	0,3	—	166,7	17,8	118,8	26,7	3,4	166,4
Sulfaatcelstof	—	11,6	11,5	0,1	459,7	33,3	215,2	183,6	27,6	448,1
Strocelstof	26,3	8,3	7,8	0,5	—	—	—	—	—	18,0
Strocartonstof	166,1	—	—	—	—	—	—	—	—	166,1
Celstof uit textielafval	1,5	—	—	—	0,1	—	—	—	0,1	1,6
Celstof uit katoenlinters	—	—	—	—	4,6	—	—	—	—	4,6
Subtotaal	382,7	21,3	20,6	0,7	697,7	55,2	395,7	215,6	31,2	1059,1
Vezelmasa uit oud-papier	682,0	—	—	—	—	—	—	—	—	682,0
Totale vezelmasa:	1064,7	21,3			697,7					1741,1

Tabel 16. Eindprodukten van papier en karton in Nederland, 1974, (in 1000 ton) [170].

Eindprodukten	Productie inlands	Export			Import					Consumptie
		totaal	EEG	overig	totaal	EEG	Scan.	N.Am.	overig	
Kranten-, druk-, schrijf-, grafisch en ander papier	750,9	389,8	339,9	49,9	611,2	291,7	274,2	25,0	20,3	972,3
Pakpapieren	405,7	132,7	123,9	8,8	320,1	85,0	172,0	47,8	15,3	593,1
Huishoudelijk, sanitair en overige papieren	88,5	11,5	9,6	1,9	33,1	23,9	7,2	0,6	1,4	110,1
Kartonnen	520,6	252,1	239,4	12,7	117,2	70,8	33,9	10,7	1,8	385,7
Totaal	1.765,7	786,1	712,8	73,3	1.081,6	471,4	487,3	84,1	38,8	2.061,2

Import en binnenlandse voorziening (productie minus export) zijn op 10% na gelijk. De bulksoorten (krantenpapier, kraftliner, zakkenkrappapier) zijn grote importsoorten; de export bestaat voornamelijk uit druk- en schrijfpapier, speciale grafische soorten en grijs karton. Het belangrijkste probleem voor de Nederlandse papierindustrie is de geringe hoeveelheid binnenlandse primaire vezelbronnen. Dit betekent dat ook op langere termijn de papierindustrie hier te lande voor een groot deel zal moeten blijven werken met geïmporteerde halfstof [171].

Als we het geheel overzien vormt het binnenlandse hout slechts een bescheiden bijdrage in de grondstoffenvoorziening van de Nederlandse papierindustrie. In 1970 zou voor de gehele Nederlandse papierindustrie een houthoeveelheid van 5,7 miljoen m³ nodig zijn geweest. In dat jaar bedroeg de Nederlandse houtproductie ca. 950.000 m³, waarvan ca. 355.000 m³ vezelhout. Om toch een iets grotere binnenlandse voorziening te bereiken, wordt sterke aandacht op de overheid uitgeoefend om meer populieren- en naaldhoutbossen aan te laten leggen, zowel op marginale landbouwgronden en andere daarvoor geschikte gronden, als in landschapsparken en in de IJsselmeerpolders. Te zamen met een groter gebruik van zagerij-afval zou

in het jaar 2000 een dekking van 17% kunnen worden bereikt [172]. Recente plannen van overheidszijde houden een uitbreiding in van het Nederlandse bosareaal met ca. 20% (50.000 ha) voor 1990 [171].

Veel is reeds gepubliceerd over de voorwaarden waaronder zo'n uitbreiding mogelijk zou kunnen worden gemaakt [173].

De additionele hoeveelheid hout is te klein voor de vestiging van grote celstoffabrieken; de verwerking zal daarom moeten worden gezocht in thermomechanische pulpbereiding. Een fabriek voor thermomechanische pulpbereiding is in aanbouw. Toch blijft ook dan de Nederlandse papierindustrie nog grotendeels afhankelijk van geïmporteerde halfstoffen en van de houtvezel die uit oud papier en oud karton wordt teruggewonnen.

3.2. Economische aspecten

door ir. W.P.C. Zeeman

Het wereldverbruik en het verbruik in de EEG van papier en karton [162] sinds 1946 is gegeven in Tabellen 17a en b.

Tabel 17a. Wereldverbruik papier/karton (x 1.000 ton) [162].

1946	1958	1974	1975	1976
30.000	63.000	151.000	132.000	148.000

Tabel 17b. E.E.G. verbruik papier en karton (x 1.000 ton).

1973	1974	1975	1976
30.300	31.200	24.600	29.300

E.E.G. produktie (x 1.000 ton).

22.800	23.300	18.800	22.100
--------	--------	--------	--------

Hieruit valt af te leiden dat de EEG ca. 20% van het wereldtotaal consumeert.

Bovendien blijkt dat de EEG ca. 75% van haar verbruik zelf produceert.

De Nederlandse produktie en het verbruik van papier en karton zijn samengevat in Tabel 18.

Tabel 18. Papier en karton, Nederland (x 1.000 ton).

	1973	1974	1975	1976
Produktie	1.722	1.814	1.344	1.638
Afzet	1.741	1.766	1.320	1.603
Invoer	1.029	1.082	875	1.047
Uitvoer	800	787	508	709
Verbruik	1.970	2.061	1.687	1.941

De belangrijkste kanttekeningen bij het voorgaande cijfermateriaal zijn:

- Nederland produceert ca. 1,2% van het wereldverbruik;
- Nederland dekt 84% van zijn papier- en kartonbehoefte met binnenlandse produktie;

Tabel 21. Specificatie van de industriële inkopen, 1976 [154].

	Hoeveelheid 1.000 ton	Waarde f x 10 ⁶
Naaldhout ¹⁾ - in 1000 m ³	345,3	29,6
Stro	58,9	4,9
Lompen ²⁾		
Oud papier	780,6	108,3
Houtslip ³⁾	47,6	34,5
Semi-chemische pulp	4,4	3,6
Sulfietcellulose ³⁾		
ongebleekt	39,1	43,6
geheel of gedeeltelijk gebleekt	63,1	73,0
Sulfaat- en natroncellulose ³⁾		
ongebleekt	59,1	60,8
geheel of gedeeltelijk gebleekt	261,1	295,6
Cellulose uit stro, riet e.d. ³⁾	8,2	6,5
Beplakkingspapieren		
natronkraft	4,7	6,3
wit papier	4,7	6,7
andere papiersoorten	18,1	21,5

- ca. 43% van de eigen produktie wordt uitgevoerd;

- ca. 54% van het papier kartonverbruik wordt gedekt door import.

Het verbruikspatroon is na de groeiperiode van 1948 tot 1973 (oliecrisis), afgezien van tijdelijke verstoringen, in een stabiliseringsfase gekomen. Het zwaartepunt van het exportpakket ligt in de grafische sector.

De voornaamste gegevens van de produktiestatistiek zijn samengebracht in Tabellen 19, 20, 21 en 22 [154].

Tabel 19. Enkele gegevens van de industriële activiteiten op papier- en kartongebied in Nederland, 1976 [154].

Aantal bedrijven	37
Personeel	12.100
	f x 10 ⁶
Industriële verkopen	1.766,5
waarvan aan buitenlandse afnemers	760,3
Produktiewaarde	1.769,1
Verbruikswaarde	1.066,6
Industrieel waardeverschil	702,5
Arbeidskosten	456,0
Overige kosten en exploitatiesaldo	246,5

Tabel 20. Industriële verkopen, 1976 [154].

	f x 10 ⁶
1. Grafisch papier en karton	994,9
2. Verpakkingspapier en -karton	643,1
3. Hygiënische en sanitaire papiersoorten	95,9
4. Overige speciale papier- en kartonsoorten	12,0
5. Overige produkten en dienstverlening	20,6
6. Totaal	1.766,5

(vervolg Tabel 21)

	Hoeveelheid 1.000 ton	Waarde f × 10 ⁶
Kalk	2,5	0,3
Natronloog	3,0	1,6
Waterglas	9,5	1,5
Aardappelmeel en -derivaten	9,5	10,1
Bindmiddelen (natuurlijke en synthetische)	50,7	63,8
Aluminiumsulfaat	19,1	4,9
Zoutzuur	0,4	0,1
Porseleinaarde (kaolien)	48,2	7,8
Overige vulstoffen	87,7	23,5
Overige grond- en hulpstoffen ³⁾ en proceswater		48,0
Totaal grond- en hulpstoffen		856,5
Energie		156,0
Verpakkingsmiddelen		27,8
In rekening gebracht door derden voor:		
diensten		0,3
arbeid		1,6
Totaal inkopen van grond- en hulpstoffen e.d., diensten enz.		1.042,2

¹⁾ Loofhout is opgenomen onder de post 'overige grond- en hulpstoffen'.

²⁾ Opgenomen onder de post 'overige grond- en hulpstoffen'.

³⁾ Gewicht in absoluut droge toestand.

Tabel 22. Kostenopbouw en andere kengetallen van de papier- en kartonindustrie in Nederland, 1976, in % [154].

Verbruik van:	
Grond- en hulpstoffen	49,9
Verpakkingsmiddelen	1,5
Diensten en door derden ter beschikking gestelde arbeidskrachten	1,1
Energie	8,8
Totaal verbruik	60,3
Arbeidskosten	25,9
Overige kosten, zoals afschrijving, belastingen, heffingen en winst	13,8
Totaal waardeverschil	39,7
Produktiewaarde ¹⁾	100
Gegevens per werknemer (x f 1.000)	
Waardeverschil	58,2
Arbeidskosten	38,0

¹⁾ Dit is de produktiewaarde van de industriële activiteiten vermeerderd met de handelsmarge.

Het is uit de inkoopgegevens van Tabel 21 duidelijk dat naast cellulose, het oud papier een belangrijke vezelleverancier is. Van de hulpstoffen zijn van belang de zetmeel van eigen bodem, de overige bindmiddelen (die relatief kostbaar zijn) en de goedkope vulstof, welke echter moet worden geïmporteerd.

Uit de kostenopbouw van Tabel 22 en uit Tabel 23 springen nog in het oog de arbeidskosten en de kosten van de energie. Het verloop hiervan met de jaren is eveneens interessant:

	1974	1975	1976
arbeidskosten	21,7%	29,1%	25,9%
energie (f × 10 ⁶)	84	111	155

Slechts één factor is uit deze statistische samenvattingen niet te analyseren, nl. het verloop van de milieukosten waarmee de papierindustrie in extreme mate werd geconfronteerd.

Bovendien is water, dat lang en goedkoop in overvloed beschikbaar was, nu een belangrijke kosten-

Tabel 23. Waarde van grondstoffen en energie in de Nederlandse papier- en kartonindustrie in 1976 [154], personeelsbestand: 12.100 man.

	Waarde in f x 10 ⁶
Hout	35,7
Stro	5,7
Oud papier	113,5
Houtsluij	34,1
Celstof	508
Lompen	—
Totaal vezelstoffen	697
Overige grond- en hulpstoffen	185
Totaal grond- en hulpstoffen	882
Energie	155
Verpakking	27
Totaal generaal	1.064

post geworden. Dit kan leiden tot grote economische consequenties voor de papierindustrie vanwege de invloed op het milieu bij toevoer en afvoer.

Water is een onontbeerlijk medium bij de pulp-, papier- en kartonfabricage.

Aantal arbeidsplaatsen in de papier- en kartonindustrie

Jaar	Nederland	Duitsland	Frankrijk	Engeland
1970	13.600 (100%)	68.500 (100%)	41.290 (100%)	92.100 (100%)
1975	12.330 (91%)	57.560 (82%)	38.290 (93%)	60.000 (65%)
1976	11.780 (87%)	54.710 (80%)	36.790 (89%)	56.100 (61%)

De daling van het aantal arbeidsplaatsen moet voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan het in gebruik nemen van steeds grotere productie-eenheden met een toenemende mechanisering en automatisering van het productieproces.

De geringe groei van de productie kon de daling van de arbeidsplaatsen niet compenseren. Ook hebben samenvoeging van bedrijven en stopzetting van een aantal niet meer rendabele productielijnen ge-

	1970	1971	1972
Nederland	117	122	128
Duitsland	80	—	96
Frankrijk	100	106	114
Engeland	53	55	59

De verschillen houden voornamelijk verband met de grootte van de fabrieken. Zo was in 1976 het aandeel in de productie van kleine fabrieken met een capaciteit tot 10.000 ton per jaar in Nederland 15%, in Duitsland 43%, in Frankrijk 48% en Engeland 39%.

De totale kosten voor proceswater zijn opgebouwd uit:

- aanpompkosten;
- kosten voor de reiniging van het proceswater;
- zuiveringskosten van het afvalwater;
- effluent heffingen.

Het waterverbruik per ton papier of karton (bijna evenveel als de afvalwaterproduktie) is teruggebracht van ongeveer van 75 m³ tot 25 m³ per ton of minder. Dit verbruik is sterk afhankelijk van de te fabriceren papier of kartonsoort, de kwaliteit en de kosten van waterwinning en afvalwaterzuivering.

Sociale aspecten en werkgelegenheid

Na een geleidelijke toeneming van de werkgelegenheid in de papier- en kartonindustrie in de vijftiger jaren en het begin van de jaren zestig nam het aantal arbeidsplaatsen na 1965 geleidelijk af van 14.700 in 1965, 14.200 in 1967 tot 13.600 in 1970 [162]. In 1976 bedroeg in de Nederlandse papier- en kartonindustrie het aantal werkzame personen circa 13% minder dan in 1970.

Dezelfde ontwikkeling is te constateren in de andere EEG-landen, zoals blijkt uit de volgende gegevens [155].

volgen gehad voor de werkgelegenheid.

De opvallende daling in Engeland is grotendeels te verklaren uit de vermindering van de invoerrechten op Scandinavische produkten, waardoor de Engelse binnenlandse industrie bepaalde marktsegmenten moest loslaten.

De jaarproductiviteit per werknemer (in tonnen) ontwikkelde zich als volgt:

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Nederland	117	122	128	132	139	109	133
Duitsland	80	—	96	106	—	92	117
Frankrijk	100	106	114	121	124	107	125
Engeland	53	55	59	67	—	60	73

3.3. Toekomstverwachtingen

3.3.1. Mondiaal

door ir. G.A. Schoonkind

Het probleem op mondiale schaal is de grondstoffenvoorziening op lange termijn bij een verder toenemend verbruik van papier en karton. De beschik-

baarheid van hout als primaire grondstoffenbron is reeds jaren onderwerp van discussie. Enerzijds wordt de economische beschikbaarheid als beperkt gekenschetst, mede gezien de nog steeds toenemende behoefte aan zaaghout.

Anderzijds zijn de mogelijkheden tot exploitatie van tropische wouden zeer groot. Brazilië is op dit moment één van de gebieden waar de fabricage van celstof een snelle groei doormaakt. Eucalyptus is een zeer snel groeiende boom en speelt een belangrijke rol. De verwerking van tropisch oerwoud, gevolgd door monocultures van snelgroeiende naald- en loofhoutsoorten is één van de wegen om de vezelopbrengst per oppervlakte-eenheid te vergroten. Het feit dat houtsoorten in de Noord-europese landen, Rusland en Canada een cyclus van 70 jaar nodig hebben, terwijl deze cyclus in de tropische gebieden 10 tot 15 jaar bedraagt, opent perspectieven voor vergroting van de vezelproductie. De politieke en economische situatie in deze tropische regio's vormt voorlopig nog op vele plaatsen een rem op deze ontwikkelingen.

Tabel 24. Wereldcapaciteit 1965-1980 [175].

	Totale capaciteit, in Mt				Toename in % / jr		
	1965	1970	1975	1980	65/70	70/75	75/80
Houtvezels	80,8	105,8	126,8	149,6	5,5	3,7	3,4
waarvan:							
mechanisch	23,1	27,2	30,0	34,1	3,3	2,0	2,6
semi chemisch	6,0	8,5	10,2	12,4	7,2	3,8	3,9
chemisch	51,7	70,1	86,6	103,2	6,3	4,3	3,6
Andere vezels	6,1	7,6	9,3	12,0	4,6	4,2	5,0
Papier/karton	106,2	140,8	175,0	206,1	5,8	4,4	3,3
waarvan:							
courantdruk	19,0	23,5	25,2	29,7	4,4	1,4	3,4
druk/schrijf	20,5	30,6	38,6	45,9	8,3	1,4	3,5
overig papier/karton	66,7	86,7	111,2	130,4	5,4	5,1	3,2

Duidelijk blijkt hieruit de recessie en de verwachting dat de hoge groeicijfers van de zestiger jaren zich niet zullen herhalen.

Op lange termijn verwacht men, dat de papier- en kartonbehoefte groeit tot ca. 415 Mt in 2000. De consequentie hiervan voor het houtverbruik zijn onderzocht door Keays e.a. [168, 169], die een opsomming geven van de potentiële aanvullende houtvezelbronnen die nodig zijn om deze behoefte te dekken.

Europa

Het productie- en consumptiebeeld in 1974 wordt getoond in Tabel 25.

Tabel 26 geeft het bijbehorende beeld van de productie en het gebruik van vezelstoffen.

Duidelijk blijkt hier het tekort in de EEG, zowel voor papier en karton, als voor de primaire grondstof.

Daarnaast wordt steeds meer aandacht geschonken aan de mogelijkheden van 'whole tree chipping' van de bestaande productiebossen - een werkwijze waarbij de gehele boom, inclusief takken en wortels, schors en bast wordt gebruikt [174]. Twee kanttekeningen hierbij:

- de kwaliteit van het haksel is lager dan van geschilde stammen en dus alleen bruikbaar voor minder hoogwaardige vezelstofproductie;
- takken, bladeren en wortelstompen vormen bij de klassieke houtoogst een natuurlijke bemesting van de opnieuw te bebossen grond. Bij de 'whole tree chipping' methode ontbreekt deze recirculatie van organisch materiaal en zouten. In kwantitatief opzicht kan, mondiaal gezien, de vezelvoorziening uit hout, aangevuld met andere vezelstoffen zoals bamboe, riet, stro, kenaf, enz. op langere termijn voldoende zijn.

De ontwikkeling van de productiecapaciteit op middellange termijn, zowel van papier en karton als van de grondstoffen daarvoor, volgt uit Tabel 24.

Tabel 25. Productie en consumptie van papier/karton (Mt), 1974 [146].

	produk- tie	con- sumptie	surplus/ deficit
EEG	23,4	31,3	- 7,9
Noord-Europa	12,5	3,0	+ 9,5
Overig West-Europa	5,6	5,8	- 0,2
Comecon	12,9	13,0	- 0,1
Totaal	54,4	53,0	+ 1,4

Noord-Europa met zijn surplusen, zowel in papier- en karton, als in vezelgrondstoffen, is de eerst aangewezen leverancier van de EEG. Opvallend is verder het contrast tussen het hoge gebruik van oud papier binnen de EEG en het zeer lage oud papiergebruik in de andere Noordepese landen. Op middellange termijn worden de volgende toenames in capaciteit verwacht (Tabel 27).

Tabel 26. Productie en gebruik van vezelstoffen (Mt), 1974 [146].

	productie	houtslip/celstoffen		gebruik oud papier
		gebruik	surplus/ deficit	
EEG	6,4	14,4	- 8,0	9,6
Noord-Europa	18,5	11,9	+ 6,6	0,6
Overig West-Europa	3,4	3,8	- 0,4	2,1
Comecon	11,6	11,9	- 0,3	2,9
Totaal	39,8	42,0	- 2,2	15,2

Tabel 27. Capaciteitstoename 1975-1980 (Mt) [175].

	houtslip/ celstoffen	papier/ karton
EEG	1,1	4,7
Noord-Europa	2,3	3,1
Overig West-Europa	1,3	1,3
Comecon	3,1	3,8
Totaal	7,8	12,9

Voor geheel West- en Noord-Europa samen betekent dit een capaciteitsgroei in vezelstoffabricage van 3,0% per jaar, in papier- en kartonfabricage van 3,6% per jaar. De behoefte aan vezelgrondstoffen binnen de EEG zal nog meer moeten worden gedekt uit importen, waarbij de rol van Noord-Europa relatief zal verminderen.

Het is derhalve begrijpelijk, dat binnen de EEG alerwegen plannen worden ontwikkeld om de eigen bosbouw op grote schaal te stimuleren, en daarnaast de inzameling en het gebruik van oud papier nog verder op te voeren [176].

3.3.2. Verwachtingen voor Nederland

door ir. G.A. Schoonkind en ir. W.P.C. Zeeman
Uit al het voorgaande moet worden geconstateerd dat Nederland sterk afhankelijk is van het buitenland, zowel in de voorziening van papier en karton (ongeveer de helft), als in de voorziening van de halfstoffen en hulpgrondstoffen voor onze eigen papierfabricage. Meer gebruik van inlands hout en van oud papier kan hierin nog wat verschuiving geven. De invoer van celstof zal voornamelijk uit de Noordealpeese landen en Noord-Amerika geschieden. Op langere termijn kan Brazilië hierbij een rol gaan spelen, evenals andere bosrijke landen.

In grote lijnen is het beeld voor de toekomst van de Nederlandse papierindustrie als volgt:

- import van standaard-bulksoorten (krantenpapier, kraftpapieren e.d.) uit de bosrijke landen (Noord-Europa, Noord-Amerika);
- eigen productie van bulkprodukten uit regionaal hout en oud papier;
- import van celstof (d.m.v. meerjaren-contracten of samenwerkingsovereenkomsten met celstof-

fabrikanten) voor de fabricage van specialiteiten die concurrerend in het eigen marktgebied kunnen worden gemaakt.

Daarbij is een aantal trends waarneembaar om tot vezelbesparing te komen:

- meer gebruik van houthoudende papieren in plaats van houtvrije papieren, meer vulstofgebruik en meer oud papiergebruik (d.w.z. meer papier uit een ton hout);
- het gebruik van dunnere papieren. Zo is het krantenpapier reeds teruggebracht van 52 g/m² tot 48,8 g/m² en deze trend zet door naar 45 g/m² en lager (d.w.z. meer papieroppervlakte per ton papier);

- onderzoek naar de mogelijkheden om vezels terug te winnen uit stedelijk afval;

Door het toenemend gebruik van plastics en plastic-papier-combinaties bij verpakkingstoepassingen worden eveneens vezels bespaard.

Het blijkt bijzonder moeilijk te zijn de gebruiker van papier bewust te maken van het feit dat natuurlijke vezels schaarser zullen worden en men energie moet besparen. Ook waar dit technisch niet nodig is, vraagt de consument onder andere:

- hoge witheid van het papier (voor zover witte hulpstoffen niet afdoende zijn, is hiervoor sterk gebleekte celstof nodig, waarbij het bleekproces een extra milieubelasting en extra energieverbruik vraagt);
- hoge glans (verkregen door een extra bewerking van het papier in superkalenders, wat extra energie kost);
- minimale verontreiniging van het papier (wat extra reiniging vraagt van halfstoffen en papierstof, hetgeen extra milieubelasting en energiegebruik meebrengt);
- voor toepassingen met korte levensduur wordt nog het duurzame houtvrije papier uit zuivere chemische celstof gevraagd, waar het minder duurzame houthoudende papier uit houtslip even goed bruikbaar zou zijn.

Drukpapier volledig op basis van oud papier (het z.g. kringlooppapier), vindt nog weinig aftrek, al begint men er meer aandacht aan te schenken.

Het is te verwachten dat de relatieve schaarste van de grondstoffen en de daarmee gepaard gaande prijsverschuivingen tenslotte de consument zullen dwingen tot een optimaal gebruik van papier en pa-

piersoorten. Vezelschaarste en energieschaarste kunnen hierbij tegengestelde effecten opwekken. Houthoudende papieren vragen minder hout, maar meer energie.

De Nederlandse industrie zal in de toekomst de volgende ontwikkelingen te zien geven:

- De arbeidskosten zullen relatief verminderen door de installatie van grote eenheden voor bulkproducten, alsmede door concentratie op het vervaardigen van gespecialiseerde papierproducten.
- Hoewel de behoefte aan papier slechts een beperkte groei zal blijven vertonen, is voor de Nederlandse papierindustrie een groei mogelijk, in het bijzonder daar waar de relatie tussen fabrikant en verwerker/gebruiker technisch van belang is.

- De hoge investeringskosten, de krappe geldmarkt en de stijgende exploitatielasten stimuleren andere technische methoden, integratie in de bedrijfstak en economisch technische antwoorden op vezeltekort en energietekort.
- Lokaal en algemeen zullen nieuwe vezelbronnen effectief worden. Nieuwe methoden van hergebruik (niet slechts voor papier, maar ook voor hout en andere vezels) zullen economisch rendabel worden.
- De energiefactor in het papier- en kartonproces zal door chemische niet-milieubezwarende processen ter ontleding van de vezelbindingen worden begrensd. Warmte-krachtssystemen zullen worden geïnstalleerd.
- De fabricage volgens nieuwe methoden zal minder waterverbruik en minder afvalstoffen met zich meebrengen.

Hoofdstuk VI. Toekomstverwachting voor bos en hout

1. Integratie van energie- en milieu-aspecten met het bosbeheer

door prof.ir. M.M.G.R. Bol, ir. J.A. Lasschuit en prof.dr. M.F. Mörzer Bruyns

Houtvoorraden en bijgroei

Bij het bekijken van de diverse functies van het bos dient men niet alleen bekend te zijn met voldoende bijzonderheden over het bosareaal, maar ook met de staande houtmassa. Feitelijk zouden hier nog andere bijzonderheden bij moeten komen, zoals de kwaliteit van het bos, de samenstelling naar soorten, de spreiding en de afstand tot de verbruikscentra, de toegankelijkheid enz. Voorts is het van belang geïnformeerd te zijn over de arealen die thans geen bos dragen maar die dat wél zouden kunnen. Het areaal op aarde dat tot het bos kan worden gerekend, bedraagt ca. $4,5 \times 10^9$ ha, waarvan ca. $3,8 \times 10^9$ ha noemenswaardig bebost is. In de laatste millennia is door toedoen van de mens ca. 1×10^9 ha bos verdwenen; daarvan zou – naar wordt aangenomen – minstens de helft kunnen worden herbebest. Dit is niet zo maar te realiseren; er bestaat onvoldoende belangstelling voor, o.a. omdat er grote kapitalen mee gemoeid zijn die men meent beter aan andere doelen te kunnen besteden. Ook bestaat er – globaal gesproken – onvoldoende waardering voor het bos. Het wordt veelal beschouwd als een grootheid die er is en blijft en geen aandacht of zorg behoeft. De staande massa van het wereldbos bedraagt, ruwweg geschat, $400\text{--}500 \times 10^9 \text{ m}^3$, waaraan – op de in exploitatie zijnde arealen – een jaarlijkse bijgroei is te verwachten van ca. $2,5\text{--}3 \times 10^9 \text{ m}^3$. De bijgroei op de niet in exploitatie zijnde arealen is niet bekend; hij kan niet hoog zijn, aangezien in dergelijke oerbossen de vulling vrijwel maximaal is. D.w.z. er is wel bijgroei, maar die vult in hoofdzaak slechts de tijdelijke hiaten op die kunnen ontstaan als er iets door een natuurlijke dood of een catastrofe verdwijnt. Daarom hebben beschouwingen over het theoretische bijgroei-potentieel ook weinig praktisch nut.

Economische betekenis van bossen

Het bos heeft directe en indirecte economische betekenis. De indirecte betreft de welzijnsfuncties, zoals bodembehoud, waterhuishouding, recreatie, natuurbehoud e.d. Laatstgenoemde zijn moeilijk in cijfers uit te drukken, maar het wordt erkend dat daarmee enorme waarden zijn gemoeid.

De directe economische betekenis betreft hout en houtprodukten en bos-bijprodukten. Voor de laatstgenoemde groep bestaan geen samenvattende statistieken. Hun aantal loopt in de tien- tot honderdduizenden, terwijl slechts een beperkt aan-

tal algemene bekendheid en betekenis heeft, zoals rubber, farmaceutica waaronder de natuurlijke kina, vruchten, genotmiddelen, wierook en specerijen. De belangrijkste zijn soms aangeplant in monocultures. Zij worden dan niet meer tot het begrip bos gerekend (rubberplantage, cacao-aanplant, boomgaard).

De geregistreerde wereldhoutoogst kan worden uitgedrukt in volume of geldswaarde, maar beide zijn weinig exact. De volume-cijfers dienen het totaal van de houtproductie te geven, teruggebracht op één vorm: ruwhout op stam. Dit is dus inclusief het afval, waarvan het aandeel plaatselijk sterk uiteen kan lopen. Door de FAO wordt aangenomen dat 50–70% van de wereldhoutkap rechtstreeks en ongeregistreerd verdwijnt in brandhout en simpel geriefhout, hoewel daar ook weer een deel van het zo juist genoemde afval toe kan behoren. Bij de wel geregistreerde oogst is de hoeveelheid brandhout onduidelijk. Aangenomen kan worden dat de werkelijke wereldhoutkap minstens het dubbele bedraagt van de volume-cijfers die in de statistieken worden gegeven.

De terugrekening van eindprodukten en halfprodukten naar het gemeenschappelijke beginmateriaal leidt tot twijfelachtige uitkomsten, doordat het afval tijdens de bewerkingen onzeker is en doordat het afval soms in een andere bedrijfstak wordt gebruikt als grondstof. Nog moeilijker wordt het als de opgaven zijn verstrekt in gewichten (onzekerheid over het vochtgehalte) of in vlaktematen (bij plaatmateriaal). Aldus is de betrouwbaarheid van cijfers over hoeveelheden onzeker.

Iets dergelijks geldt voor de geldswaarde: hout op stam in een ontoegankelijk gebied heeft geen economische waarde, maar dezelfde houtsoort in verwerkte vorm kan een hoge waarde hebben (soms tot duizenden guldens per m^3). Ondanks deze onzekerheden staat wel vast dat de wereldhoutmarkt hoog op de ranglijst staat van de belangrijke handelsgoederen, na fossiele brandstoffen, staal en zuivel-produkten.

Extrapolerend uit cijfers van een aantal jaren geleden zou thans de geregistreerde jaarlijkse wereldhoutkap enkele miljarden m^3 per jaar bedragen met een gemiddelde waarde van enige tientallen dollars per m^3 . Deze wereldhoutkap zou in verband met de toekomstige behoefte aan hout moeten toenemen. In hoeverre aan deze behoefte ook zal kunnen worden voldaan, zal afhangen van de beslissingen die thans inzake wereldbosbeheer, bebossing en herbebossing worden genomen.

Welzijnsfuncties van bossen

De produktie van hout en bos-bijprodukten is een zeer belangrijke functie van het bos. Daarnaast heeft het bos een aantal andere functies, die van

zo'n vitaal belang zijn voor de samenleving, dat daaraan ook een zeer grote waarde moet worden toegekend. Deze functies zijn in ieder geval van dien aard, dat er bij het beheer van bossen overal op aarde rekening mee moet worden gehouden. Dat wordt nog niet in alle landen gedaan. In de toekomst zal dat anders moeten zijn. De welzijnsfuncties kunnen in drie categorieën worden onderscheiden:

- Functies voor het klimaat, de waterhuishouding en de bescherming van topografie en bodem. Deze functies zijn zo vitaal voor de menselijke samenleving, dat het verontachtzamen ervan beschavingen ten onder heeft doen gaan.
- Functies voor planten- en dierenwereld, niet alleen uit een oogpunt van wetenschap en cultuur, maar ook voor het behoud van genenbronnen en het voortbestaan van bosesystemen en hun biologische evenwichten.
- Functies van bossen zowel als elementen van landschapsschoon, als voor de recreatie en voor andere aspecten van volksgezondheid.

Het in stand houden van de welzijnsfuncties geeft werkgelegenheid naast die van de produktiefuncties.

Bosbeheer en exploitatie: integratie van energie- en milieu-aspecten

Het bos zal in de toekomst aan toenemende druk worden blootgesteld als gevolg van de groeiende wereldbevolking, de groeiende welvaart en toenemende houtbehoefte en vrije tijd. Grote arealen bos zijn mede daardoor reeds verdwenen. Het huidige bosareaal van ruim 4×10^9 ha zal dienen te worden beschermd en waar nodig verbeterd, wil het in de toekomst zijn diverse functies zo goed mogelijk kunnen vervullen.

Middelen daartoe zijn, als uitersten, de instelling van reservaten waar flora en fauna zich zoveel mogelijk ongestoord kunnen ontwikkelen en het aanleggen van bosplantages met houtproduktie als enige functie. Daarnaast is er de noodzaak van:

- beter nuttig gebruik en betere bescherming van het grote areaal bos met meervoudige functie;
- verbetering van verwoeste terreinen;
- verbetering van bestaande bossen;
- het in exploitatie brengen van thans niet of slechts ten dele in exploitatie zijnde bossen;
- bebossing van daartoe geschikte andere terreinen.

Daarbij is altijd een deskundig beheer nodig, dat duurzame instandhouding garandeert, zowel wat het bos en zijn produktie als wat de welzijnsfuncties betreft.

Deze twee belangrijke functies van bos met meervoudige doelstelling hebben direct te maken met energie en milieu. Het is daarom van wezenlijk belang, dat deze aspecten bij het bosbeheer zo worden geïntegreerd dat de verschillende functies zo goed mogelijk tot hun recht komen.

Het bos levert grondstoffen, vooral hout. Zonnestraling wordt doorbomen via het assimilatieproces vastgelegd in energierijke stoffen. De zonne-energie nodig voor de produktie van 1 m^3 hout bedraagt ca. $11 \times 10^9 \text{ J}$. Het ingestraalde zonlicht wordt bij de huidige oogstsystemen maar voor een fractie gebruikt. In het huidige Nederlandse opgaande produktiebos is het netto rendement ca. 0,13%. De energiebalans van de houtproduktie is sterk positief. Afgezien van de zonne-energie, zijn de energetische kosten van bosaanleg, verzorging, oogst en transport laag, in Nederland $0,3-0,4 \times 10^{15} \text{ J}$ per jaar, of 300 tot 400 MJ per m^3 geoogst en getransporteerd hout met schors.

Wanneer er bij aanleg, verzorging en oogst geen rekening wordt gehouden met milieuwaarden kan veel verloren gaan.

Het blijkt echter dat bij een deskundig bosbeheer vrijwel alle bosbouwkundige maatregelen zodanig kunnen worden uitgevoerd, dat het milieu niet of niet noemenswaardig wordt geschaad. Voorbeelden zijn in Hoofdstuk III gegeven.

Als gevolg van toenemende houtbehoefte zal er in de toekomst worden getracht nog beter gebruik te maken van de grondstof hout. Dat zal ook betekenen dat wordt getracht een groter deel van de bosbiomassa te verwerven. Daarbij gelden beperkingen van verwerkingstechnische aard, maar er zijn ook beperkingen met betrekking tot het in stand houden van de bodemvruchtbaarheid.

Verdere verdieping van de kennis van de effecten van bosbouwkundige ingrepen op het milieu blijft nodig. Dat is de uitdaging en de opgave aan de bosbouw en het bosbeheer in de toekomst.

Een ontwikkeling is te verwachten bij het gebruik van technische hulpmiddelen. Die technische hulpmiddelen zullen doorgaans niet kunnen worden gemist, alleen al omdat de in pure handkracht uitgevoerde bosarbeid zwaar en gevaarlijk is. Wel zal bij die ontwikkeling veel meer aandacht dienen te worden besteed aan de relatie tussen bosbeheersmaatregelen en het milieu. Dat vraagt de ontwikkeling van aan de lokale situatie van terrein, klimaat, opstand en aan de mogelijkheden van kapitaal en arbeid aangepaste methoden en machines, met als gebruikscriteria niet alleen kosten, maar ook instandhouding van bodem, vegetatie en fauna. Men moet o.a. letten op de grootte en het gewicht van machines, het energiegebruik, de intensiteit van berijding en de aanwezigheidsduur per ha. Eenvoudige, maar ook meer ingewikkelde vormen van techniek zullen nodig zijn.

In het algemeen zullen door verhoogde kwaliteitseisen de kosten van een dergelijk gericht en diep beheer, althans op onderdelen, hoger worden. Het is de moeite waard deze kosten voor het goed functioneren van de welzijnsfuncties op te brengen.

Het is mogelijk in het bosbeheer een integratie tot stand te brengen van de produktiefunctie en de mi-

lieu-functies, zodanig dat die voor alle belanghebbenden aanvaardbaar is, d.w.z. zonder terreinen te sterk te belasten en zonder onomkeerbare processen in gang te zetten. Het inzicht wint veld dat de oogst een proces is op continuïteitsbasis, dat een schakelfunctie vervult. Het is enerzijds gericht op de kwaliteit van bosverzorging en bosverjonging, anderzijds op de maatschappij die hout behoeft. Om deze mogelijkheid ook daadwerkelijk te realiseren, zal informatie, voorlichting en opleiding voor alle betrokkenen nodig zijn: niet alleen voor bosbouwers en bosbeheerder – het belang van het geïntegreerde beheer dient een element te zijn in alle bosbeheersopleidingen op alle niveau's –, maar ook voor andere verantwoordelijke instanties en personen.

Weloverwogen integratie zal ertoe leiden, dat in de toekomst in het totale bosbeheer alle functies, al naar de plaatselijke omstandigheden, op evenwichtige manier tot hun recht zullen kunnen komen. Een dergelijk beheer lijkt in goede overeenstemming te zijn met het motto van het jongste, Wereldbosbouwcongres 'Forest for People' [177].

Onderzoek

Nederland telt ca. 50 IUFRO leden van academisch niveau die zich bezig houden met bosbouwkundig onderzoek en onderwijs. Ongeveer 40 manjaren worden per jaar besteed aan bosbouwkundig onderzoek.

2. Toepassing van hout in de toekomst

door ing. G.V. Vergeer

Opmerkelijk is dat in de geschiedschrijving wel het steentijdperk, het bronstijdperk en zelfs het atoomtijdperk worden onderscheiden, maar dat een houttijdperk in deze reeks ontbreekt.

Blijkbaar is het gebruik van hout sinds mensenheugenis zo vanzelfsprekend geweest, dat het niet mogelijk is een tijdperk af te grenzen waarin hout meer dan in andere tijden in de belangstelling stond.

Het ziet er niet naar uit dat in de toekomst de belangstelling voor hout zal verminderen. Zelfs is het waarschijnlijk dat met de groei van de wereldbevolking en de toenemende welvaart de behoefte aan hout nog verder zal toenemen. Het is echter niet zeker dat aan deze te verwachten behoefte kan worden voldaan.

Bij de hierna uit te spreken verwachtingen is aangenomen dat de toekomstige verkrijgbaarheid van hout kan worden gewaarborgd. Er zal daarom een toekomstbeeld worden geschetst dat voornamelijk is gebaseerd op technische en economische gronden.

De afzetverwachting voor de verschillende toepassingen is in Tabel 1 samengevat. De overwegingen

die tot deze verwachtingen hebben geleid, zullen nader worden aangeduid en toegelicht.

2.1. Overwegingen bij de toepassing van hout

Het is niet waarschijnlijk dat de nu bekende toepassingsgebieden van hout nog aanmerkelijk zullen worden uitgebreid. Veranderingen in het gebruik van hout zullen dan ook voornamelijk betrekking hebben op verschuivingen van de toepassing binnen de bekende groep van produkten.

Daarnaast zal er rekening mee moeten worden gehouden dat in de strijd met concurrerende materialen, zoals metalen en kunststoffen, in de ene sector terrein zal moeten worden prijsgegeven en in de andere sector terrein zal worden ver- of heroverd.

De omvang van het houtgebruik in een bepaalde sector is behalve van het gebruik per eenheid produkt sterk afhankelijk van de afzetmogelijkheden van die produkten. Verder is ook het marktaandeel van de in hout uitgevoerde versie van die produkten van belang. Wanneer dit marktaandeel kleiner is dan 100%, dan kan het produkt blijkbaar ook uit andere materialen worden vervaardigd. De bedreiging van hout door de verschillende vervangende materialen is uiteraard niet in alle sectoren gelijk. Concurrerende materialen in de bouwsector zijn onder andere: baksteen, beton, aluminium, staal en diverse kunststoffen.

Concurrenten voor hout in de verpakkingindustrie, de meubelindustrie en in huishoudelijke apparaten zijn voornamelijk metalen en kunststoffen.

Ook in de scheepsbouw zijn metaal en kunststof de belangrijkste concurrenten; in deze sector is het hout bijna geheel verdrongen.

Weinig concurrentie is te duchten in die sectoren waar gebruik wordt gemaakt van unieke eigenschappen van hout. Zo is hout door zijn bijzondere akoestische eigenschappen nagenoeg niet te vervangen in muziekinstrumenten en bijv. luidsprekerkasten. De gemakkelijke bewerkbaarheid van hout maakt het tot een zeer gewild materiaal op de nog steeds groeiende doe-het-zelf-markt.

Hout is een natuurprodukt dat mensen graag om zich heen hebben. Door de grote verscheidenheid van houtsoorten en het meestal fraaie uiterlijk, wordt hout toegepast ter verfraaiing en ter verbetering van de leef- en werkomgeving. Deze toepassing vormt vooral in de landen met een hoog welvaartsniveau een belangrijk groeiend afzetgebied.

2.2. Materiaalkeuze

Wanneer een produkt zowel uit hout als uit andere materialen kan worden vervaardigd, zal de materiaalkeuze onder andere moeten worden bepaald door de kwaliteit van het produkt, de kostprijs, het energiegebruik bij de produktie en de milieu-aspecten.

Tabel 1. Ontwikkeling van het marktaandeel hout tot het jaar 2000.

	Hout			Houten halfprodukten						Concurrerende materialen						
	massief	finer	houtwol	triplex	houtwolplaat	spaanplaat	hardboard	zachtboard	karton	papier	metaal	kunststof	beton (steen)	baksteen	gipsplaat	overige, w.o. (el.) apparatuur
Bouw																
● Dragende elementen																
– spanten, liggers	+	+		+							●	●	●			
– heipalen	–										●	●	●			
– wanden	+			+							●	●	●			
– vloeren	–			o	o						●	●	●			
– trappen	o					+					●	●				
● Vullende elementen																
– buitenkozijnen, ramen	o			+							●	●				●
– deuren	+			–			o		o		●	●				
– binnenkozijnen	–										●	●				
– wanden	o			–	o								●	●	●	
● Afwerking																
– vloeren	o			o			–					●				●
– wanden	o			o		–	–					●				●
– plafonds	o			–	o	–	–			o		●				●
– lijstwerk e.d.	o					–	–							●		●
Gebruiksgoederen																
– meubelen	o	o		o	+	o		–			●	●				
– gymnastiektoestellen	o										●	●				
– muziekinstrumenten	o	o									●	●				●
– sportartikelen	o	o									●	●				
– speelgoed	–			–							●	●				
– schoeisel	–	–									●	●				
– handgereedschap	–										●	●				●
Verpakking-transport																
● Flexibele verpakking																
– zakken												●				
– vulmateriaal			–									●				
● Stijve verpakking																
– vaten	–			–							●	●				
– kratten e.d.	–			–							●	●				
– speciale verpakking	o			o								●				
– lijkkisten		+														
– pallets	–				+			+								
Diversen																
– waterwerken	–										●	●	●			
– voetgangersbruggen	+										●	●	●			
– speelconstructies	+										●	●	●			
– tuinmeubilering	+										●	●	●			
– afwerken jachten	o										●	●	●			
– wasknijpers	–										●	●	●			
– afrasteringen	–										●	●	●			●
– potloden/kwasten	–										●	●	●			●
– huishoud/keuken artikelen	o										●	●	●			●
– lucifers		–									●	●	●			●
– tandenstokers		–									●	●	●			●
– energie	–															●
– communicatie																●

+ toename
o stabilisatie
– afname

N.B. Toename van:
● Recycling van hout- en papierafval
● Energiewinning uit houtafval.

Kwaliteit

Het vergelijken van de kwaliteit van produkten is geen eenvoudige zaak, vooral wanneer de constructie of de vorm van het produkt in belangrijke mate wordt bepaald door de materiaalkeuze.

Wordt onafhankelijk van de materiaalkeuze aan alle functionele eisen voldaan, dan zullen vooral de vergelijkingen van levensduur en van onderhoudskosten van belang zijn. Daarnaast spelen ook nog enkele secundaire eisen van de markt een rol. In de toekomst zullen levensduur en onderhoud zwaarder wegen dan thans, omdat mag worden aangenomen dat de maatschappelijke aandacht voor meer verantwoord verbruik van materialen zal toenemen.

De steeds fluctuerende en moeilijk grijpbare invloed van de mode is zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten. Wel is bij de afzetverwachting rekening gehouden met de veronderstelling dat de behoefte van de mens aan natuurprodukten in zijn omgeving eerder zal toenemen dan afnemen.

Kostprijs

Een belangrijke factor, die in veel gevallen doorslaggevend is bij de materiaalkeuze, is de kostprijs van het produkt.

Het aandeel van ontwikkeling en ontwerp in de kostprijs van het produkt is groter naarmate het produkt gecompliceerder en de afzet geringer is. Daar de meeste houtprodukten weinig gecompliceerd zijn en in grote aantallen worden afgezet, spelen deze kosten slechts een bescheiden rol.

Desondanks is de bereidheid in de houtindustrie tot onderzoek en (produkt)ontwikkeling niet groot. De verwachting is dat hierin hoogstens onder druk van de omstandigheden verandering zal komen. Hierbij kan worden gedacht aan toenemende concurrentie van vervangende materialen en milieu- en energieaspecten.

De materiaalkosten zijn in de meeste gevallen van grote invloed op de kostprijs van houten produkten. Bij eenvoudige produkten is het aandeel van de materiaalkosten vaak zelfs meer dan 50%. De kostprijs is dan ook sterk te beïnvloeden door de keuze van de houtsoort.

De materiaalkosten kunnen worden verlaagd door het kiezen van een vervangende houtsoort, die nagenoeg dezelfde eigenschappen heeft maar tegen een lagere prijs is te verkrijgen. Ook is het mogelijk een minder geschikte houtsoort zodanig te veredelen dat toch aan de gestelde eisen wordt voldaan. Het veredelen door fineren, waarbij aan de buitenzijde de schaarsere, mooie houtsoorten optimaal worden benut, zal in de toekomst een grote vlucht nemen. De drager van het fineer zal dan in de meeste gevallen een uit zaagsel of spanen opgebouwde plaat zijn.

De mate waarin chemische veredeling zal worden toegepast, is sterk afhankelijk van de in de toekomst te stellen milieu-eisen. Dit geldt in het bij-

zonder voor het verhogen van de duurzaamheid met behulp van verduurzamingsmiddelen die giftige stoffen bevatten.

De fabricagekosten maken een wezenlijk deel uit van de kostprijs en zijn onder andere afhankelijk van de gecompliceerdheid van het produkt, de afzet en de seriegrootte en de graad van mechanisatie van het productieproces.

De gecompliceerdheid van het houten produkt zal in veel gevallen anders zijn dan die van produkten uit andere materialen. Een produkt dat bij gebruik van hout uit verschillende onderdelen moet worden samengesteld, kan bij gebruik van kunststof in een geheel, als pers- of gietprodukt worden vervaardigd. In het laatste geval moeten echter wel speciale en dure gereedschappen worden vervaardigd.

Naarmate de productie-aantallen groter zijn, zal de invloed van de gereedschapskosten op de fabricagekosten geringer zijn. Daardoor zal bij massa-artikelen de balans vaak in het voordeel van het kunststofprodukt doorslaan. Dit is zelfs het geval met zeer eenvoudige artikelen zoals bijvoorbeeld wasknijpers.

Hierbij speelt ook een rol het feit dat het productieproces bij hout moeilijker is en minder goed kan worden beheerst, onder andere door de grotere spreiding in materiaaleigenschappen. Als de loonkosten verder zullen stijgen, is het waarschijnlijk dat het kantelpunt in de toekomst nog verder in de richting van de houtvervangende materialen verschuift.

Energie

De totale hoeveelheid energie die nodig is om het totaal van bewerkingen (van het rooien van de boom tot de laatste afwerking van het produkt) uit te voeren is meestal geringer dan de totale energiebehoefte voor de vervaardiging van een soortgelijk produkt uit een ander materiaal. Gezien de toenemende aandacht voor een meer efficiënt gebruik van energie, zal dit in de toekomst de concurrentiepositie van hout kunnen verbeteren.

Nog meer effect mag worden verwacht wanneer deze overweging, die nu nog slechts min of meer principieel aandacht krijgt, wordt versterkt door een verder stijgende energieprijs. Die krijgt dan een nog duidelijker invloed op de kostprijsvergelijking van de produkten.

Een verhoogde energieprijs kan overigens tevens leiden tot een toenemend nuttig gebruik van de in houtafval aanwezige energie.

Energiebesparing van enige betekenis zal bij het vormgevend bewerken van hout niet kunnen worden bereikt. Dit is wel mogelijk bij het drogen van hout, dat meer dan de helft van de totale energiebehoefte voor de houtbewerking vergt.

De besparing bij drogen kan o.a. worden bereikt door toepassing van andere methoden, verbetering

van het rendement van de installaties en door gebruik van zonne-energie.

Milieu

Afgezien van sommige houtsoorten met bepaalde inhoudstoffen, kan hout als een milieuvriendelijk materiaal worden beschouwd. Ook wordt het bewerken van hout door de meeste mensen als schoon werk beschouwd.

Toch mag worden verwacht dat in de toekomst het nodige zal moeten worden gedaan om het werkklimaat in de houtbewerkingbedrijven te verbeteren.

Een accent zal liggen op de bescherming van de mensen in het bedrijf tegen stof dat vrijkomt bij de verspanende bewerking en het geluid dat hierbij wordt geproduceerd.

Daarnaast moeten ook maatregelen worden getroffen om de emissies van stof en lawaai buiten het bedrijf tegen te gaan. Een en ander zal ongetwijfeld in de kostprijs van het produkt tot uiting komen.

Een andere relatie tussen hout en milieu is de waardevolle invloed van een boom op de omgeving. Bomen zijn mede bepalend voor het landschapsschoon, gaan erosie tegen, zuiveren de lucht enz. Het is daarom zeker niet denkbeeldig dat in de toekomst meer rekening zal moeten worden gehouden met voorschriften die de houtoogst aan banden leggen. Dit benadrukt nog eens de eerder genoemde behoefte aan visie en verstandig beleid aangaande het beheer van de bron van het unieke materiaal hout.

3. Verwachtingen over de ontwikkeling van het gebruik van hout

door ir. T.K. de Haas

Deze paragraaf is in hoofdzaak gebaseerd op de deelverwachtingen die in de vorige hoofdstukken naar voren zijn gekomen. Zo'n verwachting kan van meerdere kanten worden belicht, bijv. vanuit technische mogelijkheden, per gebruikscategorie, vanuit politieke en economische verhoudingen, vanuit zich aandienende schaarste van diverse grondstoffen enz. Daarbij moet men zich er steeds van bewust zijn dat hout slechts kan ontstaan in een biologisch evenwichtig milieu en dat de mens tot in lengte van jaren hout nodig zal hebben.

Vooraf kunnen enkele meer algemene opmerkingen worden gemaakt. Naaldhout vindt thans meer gevarieerde toepassing dan loofhout en dat zal voorlopig nog wel zo blijven.

Met Figuur 10 van Hoofdstuk IV is aannemelijk gemaakt dat het gebruik van hout en houtprodukten tussen de vijftiger en zeventiger jaren van deze eeuw per hoofd van de bevolking in de Westelijke landen (ruim 1 m³/j) ongeveer het dubbele heeft

bedragen van dat in de Derde Wereldlanden en de Oostbloklanden. Er is daarbij weinig neiging te onderkennen van een gelijktrekking tussen de landengroepen. Het lijkt er op dat de afname in het gebruik van brandhout bij toenemende welvaart ongeveer wordt gecompenseerd door een toename in het gebruik aan werkhout. Het houtgebruik per landengroep neemt volgens Figuur 10 wel ongeveer evenredig toe met het inwonertal en dit zal zich met de tijd wel voortzetten. In hoeverre in de toekomst tevens de Oostblok- en de Derde Wereldlanden het gebruiksniveau van de westelijke landen zullen benaderen, danwel omgekeerd valt nu nog niet te overzien. Het is waarschijnlijk dat het gebruik van hout minstens evenredig met de wereldbevolking zal toenemen. Deze verwachting wordt gesteund door het feit dat voor produktie van houtige materialen gewoonlijk veel minder energie nodig is dan voor vele andere materialen, zoals staal, aluminium en cement.

Het is maar goed dat bij doelmatig bosbeheer hout een zichzelf vernieuwende grondstof is. Toch begint men zich af te vragen of het door bijgroei beschikbaar komende hout wel voldoende zal blijven om de toenemende behoefte te dekken.

De toekomstverwachtingen voor enige afzonderlijke gebruikscategorieën zullen achtereenvolgens worden bekeken.

Brandhout

De verwachting is dat het wereldverbruik van brandhout, dat thans ongeveer de helft van de totale houtoogst beslaat, nog zal stijgen, echter minder dan de toename van de bevolking, zie Figuur 10. Daarbij kan het aandeel van houtskool iets toenemen omdat het wat gemakkelijker in transport en gebruik is dan brandhout en omdat de speciale metallurgische en chemische toepassing van houtskool nog wel kan toenemen.

Weinig bewerkt hout

Onder dit begrip vallen hout voor bijv. huttenbouw, mijnhout, dwarsliggers, palen en paaltjes (heipalen, masten, afrastering). Wat hoeveelheid betreft, is dit maar een klein deel (enkele procenten) in het houtgebruik. Voor deze groep mag een relatieve afname worden verwacht, hoewel voor gebruik in de recreatieve sector wellicht op een toenemend gebruik mag worden gerekend.

Werkhout

Hieronder vallen in hoofdzaak de grote groepen zaaghout en papierhout, die samen bijna de helft van het wereldhoutverbruik betekenen. Hoe hoogwaardiger het hout des te groter wordt het aantal gebruikscategorieën waarvoor het zou kunnen worden gebruikt. Vraag en aanbod bepalen dan de uiteindelijke bestemming. Door nieuwe of verbeterde fabricagetechnieken kan een minder gewaardeerde houtgrondstof bruikbaar worden voor een

hoger gewaardeerde toepassing, waardoor er dan een verschuiving in de marktverdeling zal gaan optreden. Het is niet moeilijk te voorspellen dat deze tendens zich in de toekomst zal voortzetten.

De houtafval van een zekere (vaak hoogwaardige) toepassing kan meestal worden gebruikt als grondstof voor een andere (vaak minder hoogwaardige) toepassing; gewoonlijk gebeurt dit dan ook.

Zaaghout en houtplaat

Ongeveer een derde deel van het geoogste hout wordt thans gebruikt als zaaghout. De bestemming in de groep van toepassingen is voortdurend aan veranderingen onderhevig. Een 60% van het zaaghout wordt nu in de bouwnijverheid gebruikt en ca. 10% in de meubelfabricage. Per regio zijn vrij grote afwijkingen van deze getallen mogelijk. In de bouwnijverheid en de meubelindustrie is een duidelijke tendens aan te wijzen van een toename van het gebruik van plaatmateriaal en gelijmde constructies ten koste van het gebruik van massief hout. In Europa bijvoorbeeld steeg in de periode 1950-1969 het verbruik van gezaagd hout met 35% terwijl het verbruik aan plaatmaterialen bijna vertienvoudigde. Het gebruik van massief bezaagd hout ligt thans vermoedelijk nog boven het gebruik aan plaatmateriaal. Het zal daar spoedig wel onder komen te liggen, door verbeteringen in de fabricage van de plaatmaterialen, de ontwikkeling van nieuwe typen plaatmaterialen en de relatieve schaarste aan bezaagd hout.

Bij de plaatmaterialen is een nog voortdurende verschuiving van het ene type plaat naar een ander type waar te nemen.

Het gebruik van meubelplaat zal eerder af- dan toenemen. Voor houtwolcementplaten is in Europa nauwelijks een toename in het gebruik te verwachten; wel in de ontwikkelingslanden. De grootste ontwikkelingen zijn te verwachten bij fineer en triplex, maar ook voor spaanplaat en iets minder voor de vezelplaat bestaan behoorlijke toekomstverwachtingen.

Het werken van hout vormt nog steeds een belemmering voor een aantal gebruiksmogelijkheden. Er wordt dan ook gezocht naar middelen tot betere beheersing van dit probleem.

Er wordt ook gewerkt aan verbetering van de duurzaamheid van hout.

De toepassing van spanen zou vermoedelijk aanmerkelijk kunnen toenemen, als de afmetingen en de kwaliteit van de spanen beter zouden worden genormaliseerd. Tegenwoordig worden spanen ook wel in het bos zelf gemaakt, daarbij moet speciaal worden gewaakt tegen aanhangend vuil. Met de huidige prijsverhoudingen zou een verspaning in het bos pas rendabel zijn bij een aanbod van ongeveer 60.000 m³/j hout, dus bij een zeer groot bosareaal.

De schors is gewoonlijk een minder bruikbaar onderdeel van de boomstam. Kina, kurk en looistoffen

uit schors vormen daarop uitzonderingen. De schors kan bij sommig plaatmateriaal mee worden verwerkt; meestal is dit echter meer een wegwerken dan een welkome toepassing van schors. Schors wordt wel gebruikt als strooisel of brandstof. Gezien de grote hoeveelheden schors die o.a. bij de papierindustrie en de zagerijen vrijkomen, zijn meer toepassingsmogelijkheden voor dit materiaal dringend gewenst.

In 1974 publiceerde de FAO de volgende verwachtingen over de afzet van plaatmateriaal in het jaar 2000 [178]:

	afzet in 10 ⁶ t/j	
	1973	2000
Westelijke landen	73	124
Oostbloklanden	15	55
Derde Wereldlanden	8	33
Wereld	96	212

Ter vergelijking is ook opgegeven de afzetverwachting voor de papier- en kartonindustrie, ook in 10⁶t/j:

Westelijke landen	124	271
Oostbloklanden	17	84
Derde Wereldlanden	7	45
Wereld	148	400

De chemische verwerking van houtpulp is alleen voor de rayon-producten van enige betekenis. De chemische verwerking van hout tot andere producten heeft slechts gedurende de laatste wereldoorlog enige betekenis gehad en kon zich later in de meeste landen economisch niet handhaven. In de Sovjet Unie en Japan bestaan deze fabrieken echter nog en men zoekt verder naar verbeterde werkwijzen. Door stijgende olieprijzen en schaarste aan olieproducten kunnen deze procédés misschien in een wat verdere toekomst meer verbreid toepassing vinden.

De prijsverhoging en de onzekerheid van levering van olie hebben het gebruik van houtafval voor energieopwekking in eigen bedrijf aantrekkelijker gemaakt. Daardoor is een intensief onderzoek in verbrandings-, pyrolyse- en vergassingsprocessen op gang gekomen.

Hout voor papier en karton

Uit bovenstaande tabellarische gegevens is de tendens voor deze bedrijfstak, die thans reeds ongeveer 10% van de wereldhoutoogst vraagt, tot een relatieve stijging van zijn deel in het houtgebruik te zien.

Het is te verwachten dat men zal gaan streven naar nog meer inzameling van oud papier. Dit spaart inkoop van vers hout uit en brengt tevens besparingen mee bij de bereiding van houtpulp. Pulpberei-

ding uit oud papier is gewoonlijk eenvoudiger dan uit vers hout.

Herverwerking van oud papier kan ontinking nodig maken; daarbij moet de afvoer van de inkt zonder schade voor het milieu plaats vinden.

De consument zal moeten leren genoeg te nemen met een produktkwaliteit die past bij zijn doel. Immers, een betere kwaliteit betekent meestal een verminderde hoeveelheid produkt uit de grondstof en meer afval bij de fabricage. Die afval roept weer problemen en extra kosten op bij de afvalverwerking.

Bij de bereiding van hoogwaardige houtpulp voor witpapier ontstaat een afgewerkte oplossing, al naar het gebruikte proces zwartloog of witloog genoemd, waarin zich aanmerkelijke hoeveelheden uit het hout opgeloste bestanddelen bevinden. Op wereldschaal gaat het om meerdere miljoenen tonnen van zeer complexe organische verbindingen. Ondanks alle onderzoek dat naar het nuttig gebruik van deze oplossingen wordt verricht, is men nog nauwelijks verder gevorderd dan terugwinning van een deel van de uitgangslaat door indamping en warmteproductie door verbranding van het overblijvende concentraat. Voorts is in enkele gevallen de winning mogelijk (zij het op zeer beperkte schaal) van veevoedergist en van enkele chemicaliën uit de opgeloste houtbestanddelen. Worden zwartloog of witloog onbehandeld op het oppervlaktewater geloosd, dan ontstaat een enorme watervervuiling. Een doorbraak naar een economisch verantwoord gebruik van de chemische verbindingen in deze oplossingen is nog steeds een grote wens in de wereldpulpbereiding.

Hergebruik

Hergebruik van produkten uit hout is niet alleen een kwestie van geschiktheid voor een hernieuwde toepassing, maar vooral ook een afweging of het maatschappelijk en economisch verantwoord is de inzameling en verwerking van afvalhout en oud papier te organiseren.

Bij de fabricage van papier en karton wordt een hele serie hulpstoffen toegevoegd, niet alleen uit economische overwegingen, maar ook ter verkrijging van papier- en kartoneigenschappen die niet kunnen worden bereikt met uitsluitend hout als grondstof. Deze hulpstoffen en hun hoeveelheden zijn echter niet voor alle soorten papier en karton gelijk. De aanwezigheid van deze hulpstoffen in het oud papier maken een algemene toepasbaarheid voor hergebruik problematisch. Selectie op afvoer en naar het te bereiden produkt is daarom nodig. Dit maakt de toepassing economisch minder aantrekkelijk, evenals de organisatie die voor een regelmatige inzameling van oud papier nodig is. Oud papier dat voor herverwerking ongeschikt is, bezit altijd nog verbrandingswaarde. De terugwinning van relatief laagwaardige houtvezel uit huisvuil bevindt zich in een proefstadium. Oud papier kan bij de verwerking van afval een aanvaardbare component van compost vormen.

Hergebruik van massief hout is in principe mogelijk en vindt ook wel plaats, vooral indien het gaat om hout van hoge kwaliteit. Voor houtplaten en gelamineerd hout zijn de mogelijkheden gewoonlijk geringer. Gedeeltelijk vergaan hout is niet erg geschikt voor hergebruik. Afvalhout waarin spijkers, schroeven, lijm, verf, cement enz voorkomen, is moeilijk voor hergebruik geschikt te maken. Soms kan het alleen nog worden gebruikt als brandhout. Wanneer verduurzaamd afvalhout als brandstof wordt gebruikt, dient men er op te letten dat de hoeveelheid voor het milieu ongewenste stoffen in as en rookgas de toegestane normen niet kan overschrijden.

De menging van hout met houtvreemde materialen vindt in toenemende mate plaats, niet alleen uit economische overwegingen, maar ook omdat zonder deze menging bepaalde toepassingen niet mogelijk zijn.

Men zou – maar dat vereist een verziende blik – hout nu zodanig kunnen gaan gebruiken dat later het sloophout op eenvoudige wijze voor een waardig gebruik in aanmerking komt. Dat betekent een extra investering nu, die later wellicht een ruime rente kan opleveren.

Het wordt duidelijk dat de nu nog bestaande reserves aan bos en de bijgroei in de nu onder beheer gebrachte bossen te kort gaan schieten in het bijhouden van het toekomstige gebruik van hout. De mens zal daarom vakkundig moeten ingrijpen door geëxploiteerde bossen te hercultiveren en onder regelmatig beheer te brengen [179, 180]. Gezien de tijd die het bos er over doet om op te groeien, zullen de beslissingen daarover nu en op voldoende grote schaal moeten worden genomen ten einde de van wereldbelang wordende houtschaarste van straks te kunnen ondervangen. Men zal nu terreinen en financiële middelen beschikbaar moeten stellen, om straks de gewenste hoeveelheden hout beschikbaar te krijgen.

Een algemeen aanvaard schema voor het overschakelen van de houtreserves in het natuurbos naar een houtproduktie afkomstig uit de bijgroei van onder regelmatig beheer staande bossen is er nog niet. De grote vraag is of zo'n schema en de bijbehorende organisatie voldoende snel hun beslag zullen krijgen opdat in de toekomst een stagnatie in de wereldhoutvoorziening kan worden ondervangen.

Internationaal overleg (bijvoorbeeld binnen de Verenigde Naties of de FAO) lijkt onmisbaar. Als de kosten van het bosbeheer in de houtproducerende landen niet direct in de houtprijs tot uiting kunnen komen, zullen die misschien moeten worden gedragen door de houtinvoerende landen.

Het gaat echter niet alleen om de toekomstige hoeveelheden hout, maar ook om behoud of verbetering van de vele milieu- en welzijnsfuncties die het wereldbos voor de samenleving op aarde vervult.

Literatuur

- [1] J.A. Over e.a. Materialen voor onze Samenleving. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Publikatie nr. 22, Den Haag, 1976.
- [2] Ministerie van Landbouw en Visserij. Structuurvisie op het bos en de bosbouw. Staatsuitgeverij, Den Haag, 1977.
- [3] FAO. World forest statistics, Rome, 1958 en 1963.
- [4] R. Persson. World forest resources. Research note nr. 17 of Royal College of Forestry, Stockholm, 1974.
- [5] FAO. World forest resources, Rome, 1955.
- [6] a. FAO. Forest products statistics, Rome, 1965 en
b. FAO. Trends in the utilization of wood and its products, Rome, meerdere jaarpublikaties.
- [7] CBS. Nederlandse bosstatistiek, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1964-1968.
- [8] a. LEI. Het personeelsbestand in dienst bij eigenaren en beheerders (excl. gemeenten) van bossen en natuurreinen, 1976.
b. LEI. Het personeelsbestand van inlands rondhout handelaren, 1977
- [9] A. Dengler, A. Bonneman en E. Röhrig. Waldbau auf ökologischer Grundlage. 4e dr., Hamburg-Berlijn, 1971/1972.
- [10] H. Leibundgut. Der Wald, ein Lebensgemeinschaft. Frauenfeld, 1970.
- [11] J. Houtzagers. Houtteelt der gematigde luchtstreken. Zwolle, 1954/1956.
- [12] R.S. Troup. Silvicultural systems. Oxford, 1955.
- [13] P.W. Richards. The tropical rain forest. Cambridge, 1964.
- [14] J.W. Meyer. Timber boom and land-use problems in Indonesia. Environmental conservation, 1, 1, 1974, p. 20.
- [15] Wereld Natuur Fonds. Informatie bij de affiche, uitgegeven in het kader van de actie Redt het tropisch regenwoud, 1976.
- [16] E. Mälkönen. The effect of fuller biomass harvesting on soil fertility. Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass, Hyvinkää, Finland, 1976.
- [17] S. Conway. Logging practices. San Francisco, 1976.
- [18] G.K. Winogorow. Holzeinschlagarbeiten. Moskau, 1972.
- [19] Mc Coll en Pepler. The development of mechanical logging methods for eastern Canada. Woodland Section CPPA, index 1325 (B-1), augustus, 1963.
- [20] FAO. Forestry Paper 2: Planning forest roads and harvesting systems. Rome, 1977.
- [21] C.R. Silversides. Developments in the technology of harvesting timber. Ottawa, 1974.
- [22] E. Pestal. Seilbahnen und Seilkräne für Holz- und Materialtransport. Wenen, 1961.
- [23] D.D. Studier en V.W. Binkly. Cable logging systems. Division of timber management. Forest Service, U.S.D.A., Portland, Oregon USA, 1974.
- [24] A.M. Garlicki en J. Richenhaller. Logging with balloons and helicopters. Information Report FMR-X-69, Forest Management Institute, Ottawa, 1975.
- [25] D.P. Dijkstra. Production rates and costs for yarding by cable, balloon and helicopter, compared for clear cutting and partial cuttings. Research bulletin 22, Forest research laboratory School of forestry, Oregon State University, Cornwallis, Oregon, 1976.
- [26] McNally. Trucks and trailers and their application to logging operations. University of New Brunswick, 1975.
- [27] Conference on transportation of tropical wood products. State University of New York, Syracuse, New York, november 1971.
- [28] TRADA. Softwood handling project. Final report, Timber research and development association. Hughenden Valley, High Wycombe, Buckinghamshire, U.K., 1968.
- [29] A.M. van Genderen. Aardse en astronomische oorzaken van klimaatveranderingen. Suppl. 5 Hemel en dampkring, Wolters, 1966.
- [30] D.A. de Vries. Radiation at Wageningen. Mededelingen L.H. Wageningen, 55, nr. 6, 1955.
- [31] J.W. Aardema. Energieproductie en energieconsumptie in het huidige Nederlandse opgaande bos. Landbouwhogeschool Wageningen. Vakgroep Bosbouwtechniek, Intern rapport 1978, nr. 1.
- [32] G. Leach. Energy and Food Production, 1975.
- [33] L'activité agricole et l'énergie; Etudes du CNEEMA nr. 408, 1975.
- [34] M.A. Nieuwenhuis. Energieconsumptie bij het kweken van plantsoen voor bosaanleg. Landbouwhogeschool Wageningen, Vakgroep Bosbouwtechniek, Doctoraalscriptie 1979 nr. 1.
- [35] Mededeling van de afdeling Projectvoorbereiding en Statistiek van het Staatsbosbeheer, Utrecht, 1978.
- [36] Statistisch Zakboek 1977, CBS.
- [37] J. Reisch. Waldschutz und Umwelt. Springer Verslag 1974.
- [38] J. Luitjes. De economische betekenis van insektenplagen in bossen. Bosbescherming, Pudoc, Wageningen 1969. p. 190-202.
- [39] G. Sissingh. Betekenis en gevolgen van menselijke ingrepen voor de samenstelling en instandhouding van bossen speciaal onder Nederlandse omstandigheden. Ned. Bosbouw Tijdschrift, 98, 1976. p. 86-96.

- [40] C.P. van Goor, Grondbewerking en diagnose. Ned. Bosbouw Tijdschrift, 25, 1953, p. 90-109.
- [41] H. Eysackers. Mogelijke neveneffecten van bestrijdingsmiddelen tegen *Prunus serotina*. Ned. Bosbouw Tijdschrift 46, 1974. p. 55-62.
- [42] J.A. Keverling Buisman. Chemische aspecten Seveso-ramp. Chemisch Weekblad, 72, 34, 1976. p. 1.
- [43] Chloor in het milieu. Milieubeheer, 1, 3, 1976. p. 16.
- [44] M.A.M. Bell e.a. Impact of harvesting on forest environments and resources. Pacific Forest Research Centre, Victoria B.C., Canada. 1974.
- [45] M.M.G.R. Bol. Gezichtspunten uit de bosbouwtechniek, Veenman, Wageningen, 1972.
- [46] Stichting Bosbouwproefstation 'De Dorschkamp'. Aanbevelingen voor het werken met motorzagen en bosmaaiers op grond van economische en arbeidsgeneeskundige overwegingen. Uitv. verslag 10, 1, (1971).
- [47] J.P. de Vries. De invloed van gemechaniseerde hutoogstmethoden op de omgeving. Ned. Bosbouw Tijdschrift 45, 3, (1973) p. 96-103.
- [48] E.F. Hooven. A wildlife brief for the clearcut logging of Douglas-fir. J. of Forestry 71, (1973) p. 211-214.
- [49] I.N. Gabrielson. The correlation of forestry and wildlife management. J. of Forestry. 34, 2, (1963) p. 98-193.
- [50] G.M. Prick. Bosbouw en recreatie. Ned. Bosbouw Tijdschrift 43, 12, (1971) p. 266-273.
- [51] J.L. Graham and F.D. Schaumburg. Pollutants leached from species of wood in log storage waters. Industrial Waste Conference, 24th Proc. Part 1. Purdue University, Lafayette, Ind., mei 1969, p. 99-113.
- [52] J.A. Servizi e.a. Toxicity and oxygen demand of decaying bark. Journal of the Water Pollution Control Fed. 43, 2, 1971, p. 278-292.
- [53] B.C. Pease. Effects of log dumping and rafting on the marine environment of southeast Alaska. USDA. Pacific North West and Rang. Exp. Station. General Technical Report, 1974.
- [54] W. Heij e.a. Het bewaren van hout. Ned. Bosbouw Tijdschrift 45, 6, 1973, p. 191-203.
- [55] M.M.G.R. Bol. The role of mechanization in small-scale forestry. Ways and means of reconciling silvicultural and operational methods in modern forestry. Joint IU-FRO/FAO meeting, 1976.
- [56] N. Meyers. Forests for people. New Scientist. 21/28 december, 1978.
- [57] Houtvademeccum, deel I. Houtvoorlichtingsinstituut, Amsterdam.
- [58] Ch.J. Japing en H.W. Japing. Houthandboek Surinaamse houtsoorten. Paramaribo, 1960.
- [59] F.F.P. Kollmann e.a. Principles of wood science, deel I solid wood 1968; deel II Wood based materials 1975. Heidelberg-New York.
- [60] H.H. Bosshard. Holzkunde; deel I, Microscopie und Macroscopie des Holzes, 1974; deel II, Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes, 1974; deel III, Aspekte der Holzbearbeitung und Holzverwertung, 1975.
- [61] M.H. Zimmerman en C.L. Brown. Trees, structure and function. 3e druk, New York, 1977.
- [62] H.E. Desch. Timber, its structure and properties. 5e druk, London, 1973.
- [63] W. Knigge en H. Schulz. Grundriss der Forstbenutzung. Hamburg-Berlijn, 1966.
- [64] A.J. Panshin, C. de Zeeuw en H.P. Brown. Textbook of wood technology; deel 1. New York, 1970.
- [65] P.B. Laming, J.F. Rijdsdijk en J.C. Verwijs. Houtsoorten, informatie voor de praktijk, Delft 1978.
- [66] C. Skaar. Water in wood. New York, 1972.
- [67] D. Korfker. Modern construeren met hout. 2e druk, Haarlem, 1965.
- [68] D. Korfker. Hout in perspectief. Houtwereld, 1 en 15 augustus, 1969.
- [69] R. von Halasz. Holzbautaschenbuch. 7e druk, Berlijn, 1974.
- [70] H.F.J. Wenzl. The chemical technology of wood. New York, 1970.
- [71] J.H. Pestman. Vormgeving in hout. Van ligger tot schaaldak. Houtvoorlichtingsinstituut. 2 j., Amsterdam.
- [72] H.A. Lehmann en B.J. Stolze. Ingenieurholzbau. Stuttgart, 1975.
- [73] A.J. Stamm. Wood and cellulose science. New York, 1964.
- [74] W. Sandermann. Chemische Holzverwertung. München, 1963.
- [75] K.V. Sarkanen en C.H. Ludwig. Lignins. New York, 1971.
- [76] D. Görlach. Wunderbares Holz. Stuttgart, 2e druk 1974.
- [77] W. Boerhave Beekman, e.a. Hout in alle tijden. 6 delen. Kluwer, 1949-1955.
- [78] W.L. Goodman. The history of woodworking tools. London, 1964.
- [79] D. Barnes en L. Rankin. The energy economics of building constructions. Building International 8, nr. 1, 1975, p. 31-42.
- [80] H. Schultz en W. Patzak. Entwicklung und Zukunft der Holzverwendung. Holz als Roh- und Werkstoff, 33, 1975, p. 381-392.
- [81] FAO. News release, 12 juni 1978.
- [82] H. Singer. Improvement of fuelwood cooking stoves and economy of fuelwood consumption. FAO report, expanded technical assistance program no. 1315, 1961.

- [83] Duurzame energiebronnen voor de Derde Wereld. Symposium Technische Hogeschool Eindhoven, 30 november 1978.
- [84] K. Mantel. Holzmarktlehre. Neudamm, 1973.
- [85] H. Steinlin. Holzaufkommen und Holzverbrauch, gegenwärtig und zukünftig in Europa. Holz als Roh- und Werkstoff, 33, 1975, p. 461-466.
- [86] FAO. Yearbook of Forest Product 1973, 1975.
- [87] FAO. Statistical yearbook 1974, 1975.
- [88] FAO. Raw materials for wood based panels. World consultation on wood-based panels. New Delhi, 1974.
- [89] FAO. Wood, world trends and prospects; basic study nr. 16, 1967.
- [90] Technische Documentatie Plaatmateriaal. Uitgave Plamabo, Amsterdam, aug. 1973 of latere uitgave.
- [91] D. Korfker. Houtconstructies: keuzeaspecten bij het ontwerpen. Monografie Afdeling Bouwkunde, TH Delft, 1975.
- [92] D. Korfker. Over aspecten van schaarste als richtlijn voor het bouwen, 'Vorm en inhoud/Vormen in hout', afscheidsrede, afdeling Bouwkunde, TH Delft, 1977.
- [93] Stichting Bouwresearch. Houtskeletbouw. Rotterdam, 3e druk, 1977.
- [94] Veilig werken met houtbewerkingsmachines. Stichting Veiligheidsinstituut, Amsterdam.
- [95] Enkele voorbeeldstudies van bouwmaterialen; Materialen voor onze samenleving. Publikatie 22, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenhage, 1976.
- [96] De Houtwereld, om de twee weken verschijnend vakblad voor houthandel en houtverwerkende industrie, uitgave Roelants, Schiedam.
- [97] NEN 3180. Kwaliteitseisen voor hout voor bouwkundige en waterbouwkundige doeleinden, KVH 1970 (Tabel III en aanhangsel IV, Tabel I).
- [98] Petersen e.a. Holz als Roh- und Werkstoff, 1972 (p. 325).
- [99] Wood epoxy saturationtechnique. West system; Bay City, Mich., 1978.
- [100] NEN 3852. Technische grondslagen voor bouwvoorschriften - Hout, 1972 (2.4, Tabel 2 en 6.4.3 en 2.4.3).
- [101] Rapport ECE (Economic Commission for Europe): 'The impact of energy considerations on the planning and development of human settlements' van Conferentie 'Housing, building and planning', Ottawa, oktober 1977.
- [102] P.C. Kreijger. Environment, pollution, energy and materials. Matériaux et construction, 6, 1973, p. 36.
- [103] CHR Brochure 78-2 van het Centrum voor houtresearch, betreffende houtverbindingen, Amsterdam, 1978.
- [104] G. Meyer. Kunststoffen uit afval, Shell-Venster, dec. 1978.
- [105] NEN 3253. Bouwkundige maatregelen ter bescherming van houtconstructies, 1973; vergelijk ook NEN 3251 en NEN 3252, betreffende preventieve en resp. curatieve bescherming met chemische middelen.
- [106] Bauen mit Holz, maandblad, Bruderverslag, Karlsruhe.
- [107] De Houtconstructeur, tweemaandelijks uitgave van de Vereniging van Houtconstructeurs, Amsterdam.
- [108] NEN 3519. Triplex, bepaling van mechanische eigenschappen.
- [109] F.F.P. Kollmann e.a. Principles of Wood Science and Technology, Springer Verslag, 2 delen, 1968 en 1975 (II, p. 178, 176, 312, 314, 418).
- [110] A. van der Velden. Hout en lijm. Bouwwereld, nr. 46, 1971.
- [111] Documentatie 7a en Brochure B4a van Houtvoorlichtingsinstituut (HVI), Amsterdam, over keuze van de lijmsoort, 1970, en resp. algemene gegevens over lijmverbindingen, 1969.
- [112] Documentaties 10, 13 en 14 van Houtvoorlichtingsinstituut (HVI) Amsterdam, over houten liggers met lijfplaten van triplex, resp. over knoopplaten van triplex en over op buiging belaste triplex ribpanelen.
- [113] Problemen rond spaanplaat met ureumformaldehydelijm. Houtinstituut TNO, 1977.
- [114] CHR Brochure 78-3 van het Centrum voor Houtresearch en geconcipeerd door Houtinstituut TNO, Delft, betreffende spaanplaat; uitgave HVI, Amsterdam, 1978.
- [115] Petersen e.a. Holz als Roh- und Werkstoff, 1972 (p. 429).
- [116] G. Langendorf. Handbuch für den Holzschutz.
- [117] H. Lampert. Faserplatten.
- [118] L. Vorreiter. Handbuch für Holzabfallwirtschaft.
- [119] R. Trendelenburg. Das Holz als Rohstoff.
- [120] K. Hirst en K.F. Plombey. Holzforschung, 13, 6, 1958, p. 182-184.
- [121] G. Becker. Holz-Zentralblatt, 85, 82, 1959, p. 1075.
- [122] E. Künzelmann. Holztechnologie, 1, 1960, 1, p. 44-51 en 2, p. 129-134.
- [123] J. Ortel. Holztechnologie, 2, 2, 1961, p. 150-157.
- [124] D.A. Tillman, K.V. Sarkanen en L.L. Anderson. Fuels and energy from renewable resources. New York 1977.
- [125] D.A. Tillman. Wood as an energy resource. New York, 1978.
- [126] Forest Products Research Society. Energy and the wood products industry. Proceedings of The meeting on 'Energy and the

- wood products industry', 1976. Atlanta, Georgia, USA.
- [127] Office of energy research and development Oregon State University. Wood and bark residues for energy. 1975. Proceedings of a conference, mei 1974.
- [128] TH Twente bouwt vergassers voor Tanzania. *De Ingenieur*, 91, 7, 1979, p. 128.
- [129] D.D. Nicholas. Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments, Volume I - Degradation and Protection of Wood, Volume II - Preservatives and Preservative Systems. Syracuse University Press, 1973.
- [130] D.L. Harrison en C.G.W. Mason. The toxicity of wood preservatives to stock; part 3 Fixed arsenates. *The New Zealand Veterinary Journal*, vol. 7.
- [131] E.W.B. de Costa. C.C.A.-treated Pine Rounds and ideal, safe material for Playground Equipment. CSIRO, Forest Products Newsletter, Hight, Victoria 3190; 1, 1975.
- [132] F.W.M. Jaffé. Food contamination tests on timber impregnated with Hickson's Tanalith-C. Richardson and Jaffé, Analytical and Consulting Chemists, Bradford 5, England; mei 1956.
- [133] M.P. Levi, D. Huisingh, W.B. Nesbitt. Uptake by grape plants of preservatives from pressure-treated posts not detected. *Forest Products Journal*, Vol. 24, nr. 9.
- [134] Een literatuurstudie voor het zoeken van mogelijkheden die er zijn om tot houtverduurzamingsmiddelen te komen, die het milieu zo min mogelijk belasten. TNO, 1974.
- [135] Stichting Verwijdering Afvalstoffen, SVA/2430. Overzicht Afvalverwijdering in Nederland; december 1977.
- [136] SVA/2092. Sorteerprouwen met huishoudelijk afval uit wijken van de gemeenten: Arnhem, Amsterdam en Overasselt - Periode 1971 tot en met 1976; februari 1977.
- [137] SVA/jaarverslag 1976.
- [138] A Moscou des panneaux à partir de vieilles caisses. Papier, carton et cellulose, juni 1975.
- [139] Maurice Pariat. Une source de matière première négligée: les bois d'emballages perdus. *La papétrie*, 1974, no. 6.
- [140] SVA/1367. Inventarisatie van de hoeveelheid afvalhout op groente- en fruitveilingen, juli 1975.
- [141] K.M. Thomson e.a. Feasibility study of production of chemical feedstock from wood waste. Pulp and Paper research institute of Canada, 1975.
- [142] I.S. Goldstein. The potential for converting wood into plastics and polymers or into chemicals for the production of these materials. North Carolina State University, Raleigh N.C., 1974.
- [143] Chemicals from wood waste. U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1975.
- [144] Knut Kringstad e.a. OECD studie SPT (77)14, le cycle de vie du bois. Parijs, 5 september 1977; Annexe XXI, Les produits chimiques dérivés du bois.
- [145] E.J. Labarre. Dictionary of Paper and Paper making Terms, Swets & Zeitlinger, Amsterdam 1937, p. 39 e.v.
- [146] Pulp and Paper International, vol. 11 t/m 19, Reviewnumbers no. 8 (1969 t/m 1977).
- [147] FAO. World Demand for Paper to 1975, FAO, Rome 1960.
- [148] FAO. An Assessment of Pulp and Paper Demand and Supply Trends 1975-1979, FO: MISC/75/28, FAO, Rome 1975.
- [149] OECD. The Pulp and Papier Industry in the OECD 1972-1973, OECD, Paris, 1974.
- [150] F. Keith Hall, Wood Pulp. *Scientific American*, april 1974, p. 52.
- [151] J. Kalish. A more critical view of TMP in Helsinki, PPI reviews nine papers. *Pulp and Paper International* 19 (1977), no. 9, p. 38 e.v.
- [152] Mr. Meyer Viol waarschuwt voor scheidingsinstallaties. 'Onderneming', 18 november 1977.
- [153] Zellstoff Papier, VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1974.
- [154] CBS. Produktiestatistiek Papier en Kartonindustrie (ongecorrigeerd), 1976.
- [155] World Pulp and Paper Consumption Outlook, Phase II, FAO, 1977.
- [156] Pekka Heikkinen. Energy usage in paper en pulp industry. Eskelinen, e.a. Fiber modification and consumption of refining energy. Beide in: Report 10th European Espra Meeting, 1 juni 1976.
- [157] A. Gerken. Der direkte Energieverbrauch der Papierherstellung, voordracht 1976 te Konstanz, in: *Wochenblatt für Papierfabrikation*, nr. 7, 1977.
- [158] W.J. Boerendans en J.B. Fortuin. Gecombineerde opwekking van elektrische energie en warmte, een kwantitatieve analyse. *De Ingenieur*, 87, 27 november 1975.
- [159] Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Indicatief Meerjaren Programma 1975-1979. De bestrijding van de verontreiniging van het oppervlaktewater, 1975.
- [160] EPA Development document for interim final and proposed effluent limitations guidelines and proposed new source performance standards for the bleached kraft, groundwood, sulfite, soda, deink, and non-integrated papermills. United States Environmental Protection Agency, januari 1976.
- [161] H. Sontheimer. Neuerster Stand der Rheinverschmutzung, IAWR, Arbeitstagung 1977.
- [162] Jaarrede Vereniging van Nederlandse Pa-

- pierfabrikanten, 11 november 1977.
- [163] Leidingwatertarieven 1976 voor grootverbruikers. Ver. v. Gebruikers v. Stoomketels en Krachtwerktuigen, circulaire nr. 137.
- [164] Werkdocument over de vervuiling door de pulpindustrie van de Commissie van de Europese Gemeenschap, dienst milieuhygiëne en consumentenbelangen, maart 1974.
- [165] H.L. Dalphe en L. Göttching. Über den spezifischen Abwasseranfall und spezifische Schmutzfracht von Papierfabriken, Wochenblatt für Papierfabrikation, 1974, p. 721-730.
- [166] FAO. Yearbook of Forest Products, FAO, Rome 1976.
- [167] T. Griffith. Weyerhaeuser gets set for the 21st century, Fortune, april 1977.
- [168] J.L. Keays. Projection of World Demand and Supply for Wood Fiber to the year 2000, TAPPI, 58 (1975), no. 11, p. 90 e.v.
- [169] J.L. Keays and J.V. Hatton. The Implication of Full-Forest Utilization on Worldwide Supplies of Wood by year 2000. Pulp and Paper International, 17, 1975, no. 7, p. 49 e.v.
- [170] CEPAC. l'Industrie des Pates, Papiers et Cartons. Statistiques Annuelles, Bruxelles 1974.
- [171] Bedrijfstakken verkend 1977, no. 6, Papier en Kartonindustrie, Ministerie van Economische Zaken. Staatsuitgeverij, 1977.
- [172] De Nederlandse houtproductie in het kader van een grondstoffen politiek. Nota Stichting Industriebout, januari 1974.
- [173] Commissie Thurlings. Rapport Meerjarenplanning Bosbouw. Bosschap, januari 1974.
- [174] R.J. Auchter. Whole-Tree Utilization: Fact or Fantasy, TAPPI, 58 (1975), no. 11, p. 4 e.v.
- [175] Pulp and Paper Capacities, Survey 1975-1980, FAO, Rome 1976.
- [176] F.C. Hummel. Long Term Availability of Pulpwood in the EEC and Action on Forest Resources Development, Second World Pulp and Paper Industries Conference, Helsinki, 1975.
- [177] Forest for people. Proceedings 8th World Forest Congress, Jakarta, 1978 (weldra te verschijnen).
- [178] FAO. Raw materials for wood-based panels. Congres over: World consultation on wood-based panels, New Delhi, 1974.
- [179] ECE/FAO/ILO Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass, Hyvinkää. 1976.
- [180] ECE Symposium on extending the use of wood residues, Boekarest, 1976

Overzicht van verschenen Stichtingspublicaties

- | | | | |
|---|-------------|---|--------|
| 1. Toekomstbeeld der Techniek;
ir. J. Smit, 1968 | uitverkocht | 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,— |
| 2. Techniek en Toekomstbeeld,
Telecommunicatie in telescopisch beeld;
prof.dr.ir. R. M. M. Oberman, 1968 | uitverkocht | 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,— |
| 3. Verkeersmiddelen;
prof.ir. J. L. A. Cuperus en anderen, 1968 | f 10,— | 16. Mens en milieu: beheerste groei;
diverse auteurs, 1973 | f 20,— |
| 4. Hoe komt een beleidsvisie tot stand?
ir. P. H. Bosboom, 1969 | f 4,— | 17. Mens en milieu: zorg voor zuivere lucht;
diverse auteurs, 1973 | f 20,— |
| 5. De overgangprocedure in het verkeer;
diverse auteurs, 1969 | f 12,— | 18. Mens en milieu: kringloop van materie;
diverse auteurs, 1973 | f 20,— |
| 6. De invloed van goedkope elektrische energie op
de technische ontwikkeling in Nederland;
dr. P. J. van Duin, 1971 | f 5,— | 19. Energy Conservation: Ways and Means;
edited by J. A. Over and A. C. Sjoerdsma, 1974 | f 34,— |
| 7. Electrical energy needs and environmetal pro-
blems, now and in the future;
diverse auteurs, 1971 | f 12,— | 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. War-
menhoven, dr.ir. A. W. G. Koppejan ir. K. K. Ver-
velde, dr.ir. W. J. Beek, 1976 | f 35,— |
| 8. Mens en milieu: prioriteiten en keuze;
diverse auteurs, 1971 | f 17,— | 21. Stedelijk verkeer en vervoer langs nieuwe ba-
nen?
Redactie: ir. J. Overeem, 1976 | f 48,— |
| 9. Het voeden van Nederland;
diverse auteurs, 1971 | f 12,— | 22. Materialen voor onze Samenleving;
Redactie: ir. J. A. Over, 1976 | f 46,— |
| 10. Barge Carriers: some technical, economic and
legal aspects;
drs. W. Cordia, mr. G. J. W. de Vries en ir. N. Wij-
nolst, 1972 | f 20,— | 23. De industrie in Nederland: Verkenning van knel-
punten en mogelijkheden;
Redactie: ir. H. K. Boswijk en ir. R. G. F. de Groot,
1978 | f 27,— |
| 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,— | 24. Toekomstbeeld der Industrie;
prof. dr. P. de Wolff, drs. R. F. M. Lubbers, dr. ir. H.
Kramers, prof. ir. J. in 't Veld, mr. G. A. Wagner,
1978 | f 9,50 |
| 12. Elektriciteit in onze toekomstige energievoorzie-
ning: mogelijkheden en consequenties;
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,— | 25. Arts en gegevensverwerking;
redactie: ir. R. G. F. de Groot, 1979 | f 25,— |
| 13. Communicatiestad 1985: elektronische com-
municatie met huis en bedrijf;
prof. dr. ir. J. L. Bordewijk e.a., ir. D. van den Berg,
dr. W. Horn, 1973 | f 16,— | 26. Bos en hout voor onze toekomst;
redactie: ir. T. K. de Haas, ir. J. H. F. van Apel-
doorn, ir. A. C. Sjoerdsma, 1979 | f 34,— |
| 14. Techniek en preventief gezondheidsonderzoek;
dr. M. J. Hartgerink, dr. H. H. W. Hogerzeil, | | De publicaties kunnen worden besteld door overmaking van het
aangegeven bedrag op postgironummer 1609900 van de
Stichting te 's-Gravenhage, onder vermelding van het nummer
van de gewenste publicatie. Publicaties kunnen ook tegen con-
stante betaling worden afgehaald van het kantoor van de Stich-
ting, Prinsessegracht 23, 's-Gravenhage. In dat geval wordt een
korting van f 3,— per publicatie verleend. | |

TT