

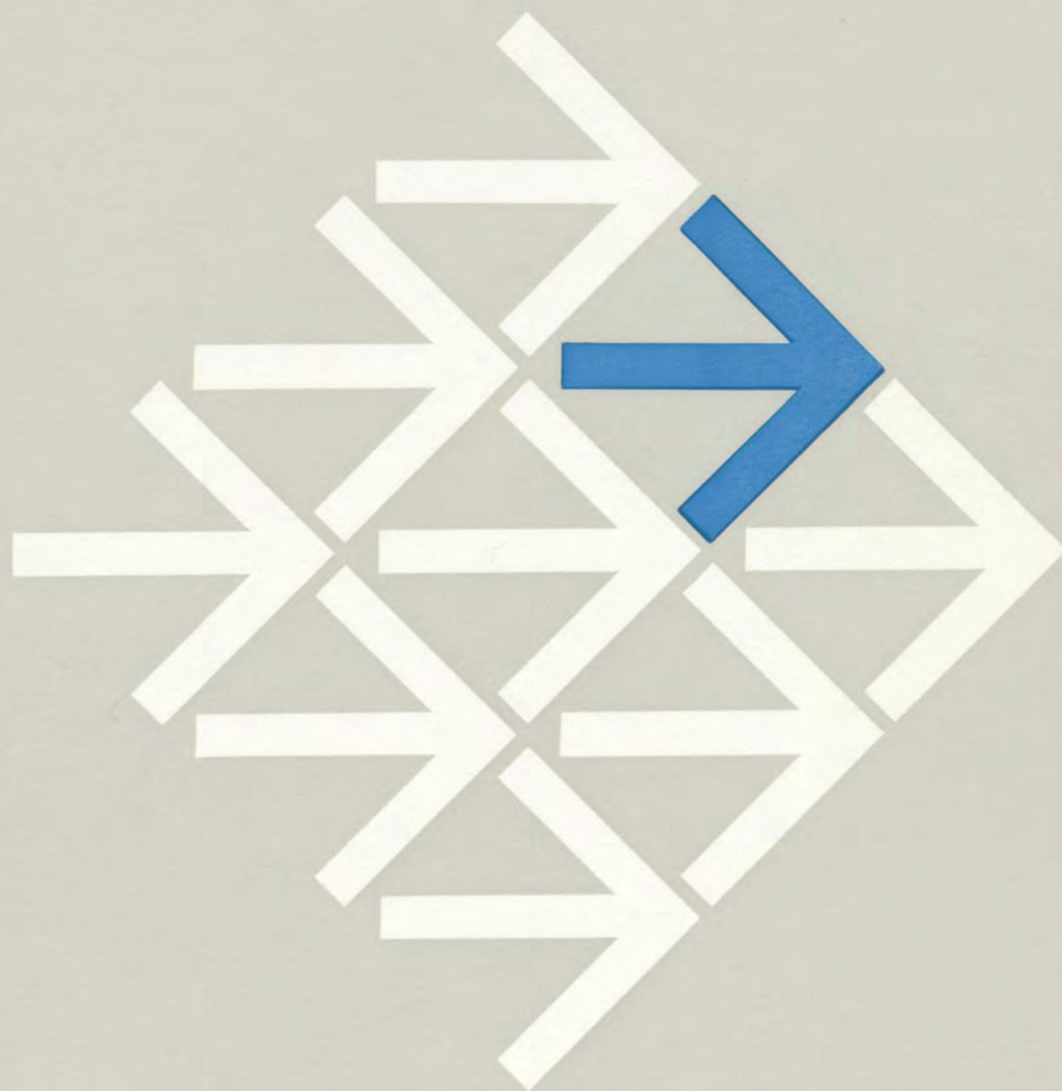
TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

serie toekomststudies uit de ingenieurswetenschappen

Technologisch Verkennen; methoden en mogelijkheden

door

ir. A. van der Lee
drs. Th. M. A. Bemelmans
dr. ir. W. J. Beek



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

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

Een overzicht van reeds verschenen 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, 's-Gravenhage, tel. 070-646800.

TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

Technologisch verkennen; methoden en mogelijkheden

door

ir. A. van der Lee

drs. Th. M. A. Bemelmans

dr. ir. W. J. Beek



Voorwoord

Technologisch verkennen omvat eigenlijk alles wat op methodische wijze bijdraagt tot het verkrijgen van een beeld van technische ontwikkelingen, ten behoeve van beleidsvorming op lange termijn. Onder de aanduiding "technological forecasting" is er in het buitenland (in het bijzonder in de Verenigde Staten) reeds veel over geschreven. Zodanig zelfs, dat er verwachtingen werden gewekt die niet, of slechts ten dele, konden worden vervuld. De vooral in Amerika veel gehoorde stelling dat het hier om een nieuwe wetenschap gaat, wordt door de Stichting Toekomstbeeld der Techniek niet onderschreven. Veel van wat in deze methodes wordt geboden, berust op het toepassen van gezond verstand en van "feeling" of intuïtie, en dat is iets wat wij allen, naar wij zeggen, toch dagelijks doen. Wij behoeven echter nog niet eens met J. W. Forrester te spreken over "counter-intuitive behaviour", om ons toch te realiseren dat het gebruik van gezond verstand, ervaring en intuïtie wel noodzakelijk, maar lang niet altijd voldoende is om ons voor grote fouten te behoeden. De waarde van een zekere methodiek zoals het technologisch verkennen ons biedt is dan ook voornamelijk gelegen in het voorgeschreven nagaan van allerlei mogelijkheden die men anders — bewust of onbewust — niet in rekening zou brengen.

Overheid en bedrijfsleven hebben reeds lang geleden de waarde leren inzien van het anticiperen op aard, intensiteit en tijdstip van wijzigingen in industrie- en landbouwproductie, afzet, sociale en politieke toestand. Te merkwaardiger is het dat er nog betrekkelijk weinig aandacht wordt geschonken aan de studie van wijzigingen in een van de belangrijkste factoren die invloed hebben op bedrijfsleven, overheid en maatschappij, nl. de techniek.

Dit komt hoogstwaarschijnlijk niet doordat economen blind zijn voor de techniek, maar omdat zij geen betrouwbare middelen hebben om met deze veranderende factor rekening te houden. Er blijven dan twee mogelijkheden over: de techniek als constant aannemen, of de mening van een technicus vragen. De techniek als constant aannemen is toelaatbaar bij beschouwingen over één tot drie jaar. Er zit bij beschouwingen op lange termijn het gevaar aan verbonden dat de beleidsbepaler geen rekening houdt met technische mogelijkheden die vijf tot vijftien jaar nodig hebben om te worden verwezenlijkt maar waarvoor de voorwaarden reeds zouden kunnen worden geschapen. Het vragen naar de mening van een technicus lijkt op eerste gezicht logisch. Maar hoe betrouwbaar is die mening; op welke inzichten berust die? Doorgaans zijn deze meningen slechts gebaseerd op kennis, ervaring en verwachting en op wat anderen ervan denken. Vandaar de noodzaak dat economen en technici gebruik gaan maken van methodische verkenningen, teneinde zoveel mogelijk subjectieve elementen in de lange termijn beschouwingen op te sporen.

Technologisch verkennen staat in de kinderschoenen en is misschien in hetzelfde stadium als het economisch verkennen vijftig jaar geleden. Zo is er nog weinig bekend over het inpassen van de resultaten in de werkelijke planning. Het doel van deze publikatie is enige methodes en mogelijkheden van technologisch verkennen te presenteren. Hierbij zij duidelijk gesteld dat de methodes geen recepten zijn die zonder meer kunnen worden toegepast. Het is nodig dat de beleidsbepalers in bedrijf en overheid, met inachtneming van hun eigenlijke doelstellingen, de methodiek laten ontwikkelen die in hun specifieke situatie kan bijdragen tot het verkrijgen van een meer integrale visie op de toekomst.

ir. L. Schepers,
voorzitter.

Inhoud

Voorwoord	3	Aanhangsel 3: Enkele vaak voorkomende regressievergelijkingen	29
Inhoud	5	Aanhangsel 4: Het voorspellen van limieten	30
Hoofdstuk 1			
Waarom technologische verkenningen	7	Hoofdstuk 3	
door ir. A. van der Lee		De evaluatie van methoden van technologisch verkennen	31
I. Inleiding	7	door drs. Th. M. A. Bemelmans	
II. De onderneming	7	I. Inleiding	31
III. De overheid	7	II. Trendextrapolatie en regressie-analyse	32
IV. Technologisch verkennen	8	III. Morfologische analyse	34
V. Het vernieuwingsproces	9	IV. Netwerkanalyse	35
VI. Monitoring	9	V. De Delphi-methode	36
VII. De inpassing binnen de organisatie	10	VI. Het verkennen van behoefteterreinen en omgeving	38
Hoofdstuk 2			
Technieken van technologisch verkennen	11	VII. Slot	39
door drs. Th. M. A. Bemelmans		Hoofdstuk 4. Een wetenschap zonder discipline	41
I. Inleiding	11	door dr. ir. W. J. Beek	
II. Lineaire trendextrapolatie	12	I. Inleiding	41
III. Trendanalyse met behulp van analogieën	15	II. Keuze van de (groei-) parameters	41
IV. Enkele andere toepassing van trendextrapolatie	17	III. Keuze van de tijdparameter en het tijdbestek	45
V. Trendanalyse door middel van verklarende variabelen	19	IV. Continue beschrijving versus discontinue ontwikkeling	46
VI. Niet-intuïtieve kwalitatieve methoden van technologisch verkennen	20	V. Enkelvoudige versus meervoudige afhankelijkheid	47
— Morfologische analyse	20	VI. Trend versus fluctuatie	50
— Netwerkanalyse	22	VII. Trend en norm, in niet-expanderende en in ergodisch expanderende samenlevingen	51
VII. Intuïtieve methoden van technologisch verkennen	25	VIII. Groei en verval	51
VIII. Slot	27	IX. Kwalitatieve versus kwantitatieve overwegingen	52
Aanhangsel 1: Het lineaire model met een verklarende variabele	27	Literatuur	53
Aanhangsel 2: Toetsen en betrouwbaarheid bij regressie	29		

Hoofdstuk 1. Waarom technologische verkenningen

door ir. A. van der Lee

I. Inleiding

De sterke groei van de wetenschappelijke kennis en de toepassingen ervan hebben sinds de tweede wereldoorlog de samenleving een geheel ander aanzien gegeven. De sterke economische groei in de Westelijke wereld is en wordt voor een groot deel mogelijk gemaakt door de snelheid van wetenschappelijke en technische ontwikkelingen. Hiermee is aan de industrie een groot aantal kansen geboden die de sterke expansie hebben mogelijk gemaakt.

Ook de overheid is hiermee geconfronteerd. Deze is niet alleen administratief werkzaam, maar ook zelf betrokken bij het toepassen van technische en wetenschappelijke ontwikkelingen. Als verzorger van een aantal openbare voorzieningen, zoals infrastructuur, elektriciteit en drinkwater, kan de overheid deze ontwikkelingen stimuleren of afzwakken. De plaats van de overheid in onze samenleving wordt steeds belangrijker en daarmee ook haar beïnvloeding van de wetenschappelijke en technische ontwikkelingen. Men denke slechts aan de grote rol die de Amerikaanse overheid heeft gespeeld bij de ontwikkelingen in de ruimtevaart. Weliswaar zijn veel van deze nieuwe ontwikkelingen binnen de industrie tot stand gekomen, maar de overheid heeft als opdrachtgever de grote lijn bepaald en bepaalde ontwikkelingen gestimuleerd. Daarom is de kennis van waarschijnlijke technologische ontwikkelingen voor overheid en industrie van belang. Een goed begrip van de trends en de grote lijnen waarlangs de wetenschap en de techniek zich ontwikkelen is onontbeerlijk bij een beleid op wat langere termijn.

II. De onderneming

Voor de onderneming manifesteert zich de technische ontwikkeling op twee gebieden. Enerzijds wordt de onderneming telkens geconfronteerd met nieuwe of verbeterde technologieën en producten. Anderzijds maakt zij — mede onder economische druk — schaalvergrotingen en concentraties mogelijk, zowel op technologisch als op organisatorisch gebied.

Tot voor kort kon de bedrijfsleiding, steunend op pragmatisch ondernemerschap en op specialisten in een klein aantal vakgebieden, een lange termijnbeleid uitzetten zonder een systematisch en diepgaand onderzoek naar de diverse werkgebieden. Meestal werd er zelfs geen lange termijnbeleid uitgezet. De noodzakelijkheid hiervoor werd niet gevoeld, want de research, die — generaliserend — een loterij zonder neten was, zorgde voor de verdere toekomst en de markt nam de resultaten gemakkelijk op.

Om twee redenen is deze intuïtieve wijze van plannen maken niet wenselijk meer. In de eerste plaats is men zich steeds meer gaan realiseren dat schijnbaar autonome ontwikkelingen elkaar wederzijds beïnvloeden. Men kan geen zinvolle planning op lange termijn op-

stellen zonder onderlinge beïnvloedingen te hebben geanalyseerd. In de tweede plaats kunnen onjuiste beslissingen, veelal veroorzaakt door onjuiste of onvolledige informatie, veel meer nadelige consequenties hebben dan vroeger, juist vanwege de toegenomen schaalgrootte en kapitaalintensiteit.

Zo kan een bedrijf plotseling worden geconfronteerd met afzetproblemen voor een verouderd productenpakket, omdat de concurrentie nieuwe producten introduceert welke een aantal jaren terug niet voor mogelijk werden gehouden. Gevallen van het mislukken van grote investeringen door gebrek aan afzetmogelijkheden zijn overbekend; het gekozen proces was verouderd; de schaalgrootte was niet juist gekozen; de markt was te optimistisch of verkeerd geïnterpreteerd; enz. Ook op het gebied van onderzoek en ontwikkeling is men geconfronteerd met werkzaamheden waar op een bepaald moment geen vraag meer naar was omdat markt of techniek zich reeds verder hadden ontwikkeld.

Velen die te maken hebben met het ondernemingsgebeuren hebben het gevoel dat de toekomst in toenemende mate onzeker wordt. Door de sterk verbeterde communicatiemiddelen, informatie- en documentatiesystemen lijkt het of de ontwikkelingen als een lawine op ons afkomen. Nieuwe technieken ontwikkelen zich — meestal schijnbaar — zo snel dat dit leidt tot onzekerheid. Ook op maatschappelijk gebied zijn snelle veranderingen merkbaar. Gevestigde waarden veranderen binnen één generatie. Dit verklaart de behoefte die er de laatste jaren binnen vele ondernemingen is naar een meer systematische benadering van de toekomst.

III. De overheid

Een aantal van de problemen waarvoor het bedrijfsleven zich geplaatst ziet, leeft ook voor de overheid. In de inleiding is reeds gezegd dat de overheid een sterke invloed heeft op technische en wetenschappelijke ontwikkelingen. Zij doet dat enerzijds door researchgelden te verstrekken aan bijv. onderwijsinstellingen, TNO, ZWO en op indirecte wijze via subsidies aan vele andere instellingen. Anderzijds bedrijven overheidsinstellingen zelf research. Rijkswaterstaat (Deltawerken), PTT, Spoorwegen, rijksverdediging enz. De sterke opkomst hiervan heeft ertoe geleid dat de overheid steeds meer betrokken raakte bij de technisch-wetenschappelijke ontwikkelingen, waarbij zij zich in vele gevallen als gelijke partner van het bedrijfsleven opwerpt. Hoe men hier ook over moge denken, de overheid is door de samenleving uitdrukkelijk in deze positie geplaatst.

Het is dan ook niet verwonderlijk, dat de overheid wordt gedwongen evenals het bedrijfsleven een actief toekomstbeleid te gaan voeren en aan lange termijnplanningen te gaan werken. Daarbij doet zich het pro-

bleem voor dat de interactie tussen de diverse sectoren van de overheid nog veel sterker is dan bij het bedrijfsleven. Bij de behoefte aan een systematische benadering van de toekomst valt dan ook de nadruk op het integrale karakter daarvan. De in 1972 geïnstalleerde Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, die tot taak heeft gefragmenteerde plannings en ontwikkelingen bij de diverse overheidssectoren onder één noemer te brengen, is hiervoor kenmerkend.

IV. Technologisch verkennen

Technologisch verkennen ("technological forecasting") behelst het gebruik van bepaalde methodieken teneinde mogelijke technische ontwikkelingen expliciet te traceren en hieraan waarschijnlijkheden toe te kennen. Technologisch verkennen is dus niet het vastleggen van een toekomst, maar geeft alleen aan welke mogelijkheden er, uitgaande van bepaalde ontwikkelingen, op lange termijn kunnen bestaan. Het geeft, anders geformuleerd, geconditioneerde uitspraken over de toekomst.

De aandacht die technologische verkenningen de laatste jaren hebben gekregen in conferenties, cursussen en door de uitgifte van gespecialiseerde tijdschriften geeft de indruk dat deze methodiek volledig nieuw is. Zoals echter met veel zogenaamd nieuwe "management tools" het geval is, werden technologische verkenningen reeds langer, zij het vaak impliciet, in de dagelijkse industriële werkzaamheden gebruikt. Wel nieuw is het *systematische* gebruik van technologische verkenningen in de onderneming.

Het bewust gebruik van technologische verkennings-technieken vond het eerst plaats binnen de Amerikaanse defensieorganisatie in het begin van de zestiger jaren onder de naam "technology forecasting". Het werk van R. Lenz [1] bij de Amerikaanse luchtmacht en van de RAND-Corporation (Dalkey en Helmer [2, 3] met de Delphi-techniek) hebben velen in de Amerikaanse industrie tot de overtuiging gebracht dat het mogelijk moest zijn een toekomstbeeld van de techniek te schetsen waaraan een bepaalde mate van waarschijnlijkheid mag worden toegekend. Vooral in de tweede helft van de zestiger jaren was er in de USA sprake van een sterke activiteit in deze richting. De resultaten waren echter nogal wisselend, hetgeen onder andere resulteerde in een aantal negatieve publicaties. Men vergat daarbij echter te stellen dat succes met deze aanpak alleen mogelijk is als men bereid is zich stevige inspanningen te getroosten en voorts dat technologische verkenningen niet zijn gericht op korte termijn ontwikkelingen, maar juist het perspectief op lange termijn trachten weer te geven.

Wanneer het zo gemakkelijk zou zijn om de toekomst der techniek te voorspellen, was dit al veel eerder geformaliseerd binnen onderneming of overheid. Een technologische verkenningsgroep moet niet alleen zelf multidisciplinair zijn opgezet, ook dient zij velerlei gevarieerde expertise te raadplegen. De bovengenoemde Amerikaanse ervaringen leren dat het weglaten van deze fundamentele zaken zweverige en vrijblijvende uitkomsten oplevert.

De methoden zijn sinds het eerste schuchtere begin verbeterd en uitgebreid en ons begrip daaromtrent groeit sterk. Vooral de publicatie in 1967 van het boek "Technological forecasting in perspective" van E.

Jantsch [4] heeft een sterke belangstelling voor technologische verkenningen in de Europese industrie gewekt.

Het technologisch verkennen als instrument voor het verkrijgen van een visie op toekomstige mogelijkheden blijkt dus nog vrij nieuw te zijn, hooguit 10 à 12 jaar oud. Toch zijn er reeds bruikbare resultaten bereikt, zowel bij verschillende overheden en ondernemingen in de Verenigde Staten, als in Europa [5, 6]. Thans kan men stellen dat verreweg de meeste grote ondernemingen op geïnstitutionaliseerde wijze gebruik maken van technologische verkenningen, al gebeurt dat soms onder een andere of zonder naam. Waar de studies aspecten in meerdere gebieden betreffen en waar dus een multidisciplinaire aanpak is vereist, kan gebruik van het in de kinderschoenen staande aspectonderzoek ("technology assessment") vruchten afwerpen [7].

Voor een goed begrip is het nuttig een onderscheid te maken in drie soorten toekomstverkenningen, die elk een apart facet belichten (hoewel deze drie elkaar sterk beïnvloeden en een scheiding vaak moeilijk is). Ten eerste komt men door het traceren van relevante toekomstige omgevingsfactoren tot algemene prognoses. Er ontstaat zo een globaal idee hoe de toekomst er uit kan zien. Deze visie wordt vaak neergelegd in toekomstscenario's, waarin technische, economische, sociale, politieke en andere aspecten van een mogelijke en waarschijnlijke toekomst worden belicht. Meestal loopt dit soort verkenningen vooruit op de voornaamste technologische innovaties en de invloed daarvan op een bepaalde tak van industrie, alsmede op de gevolgen van nieuwe door de sociaal-economische ontwikkeling gestelde grenzen.

Hier speelt de overheid een belangrijke rol. Het geven van een ruim kader van sociaal-economische en technische verwachtingen ligt voor een deel op de weg van de overheid. Dit mag enerzijds niet ontaarden in een utopistische stellingname, omdat dit afbreuk zal doen aan de geloofwaardigheid; anderzijds moet de te bewandelen weg nog zoveel keuze openlaten dat de samenleving er vorm aan kan geven.

Naast deze algemene verkenningen zijn er ook specifieke verkenningen die betrekking hebben op producten en productieprocessen. Dit is het gebied waar technologische verkenningsmethoden voornamelijk worden gebruikt. Bij deze specifieke verkenningen zijn, als de beide andere soorten toekomstverkenningen, te onderscheiden:

- Het traceren van behoeften. Wat zijn de te verwachten ontwikkelingen in diverse functies die in de maatschappij moeten worden vervuld (medische functie, onderwijsfunctie enz.). Vaak moeten deze functies in subfuncties worden verdeeld.
- Het traceren van middelen om aan deze behoeften te voldoen. Wat zijn de te verwachten ontwikkelingen bij de beschikbare of beschikbaar komende technische systemen.

Men moet bij technologisch verkennen een keuze maken uit de veelheid van toekomstige functies en systemen. Deze keuze gebeurt op basis van een visie, die expliciet moet worden vastgelegd bij het formuleren van een strategisch plan. Deze visie is als het ware de grove zeef om uit de mogelijke functies en systemen die te kiezen welke in eerste instantie relevant lijken te

zijn voor de onderneming of overheid. Schematisch kan men het bovenstaande weergeven als in figuur 1.

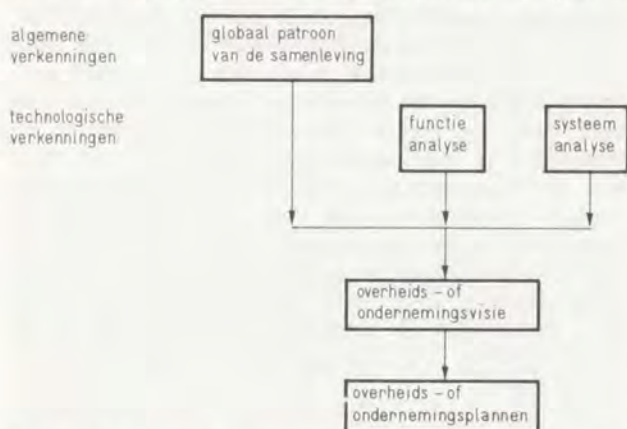


Fig. 1. Schematische weergave van de samenhang tussen drie soorten toekomstverkenningen.

Is de overheids- of ondernemingsvisie enerzijds een mogelijkheid om het terrein in te perken dat door technologische verkenningen wordt bestreken, anderzijds wordt door technologische verkenningen vorm gegeven aan deze visie. Door middel van technologische verkenningen krijgt men namelijk een idee welke mogelijkheden en welke bedreigingen er bestaan in de toekomst.

Het doel van de technologische verkenningen is de kwaliteit te verbeteren van de invoergegevens die nodig zijn voor het opstellen van strategische plannen. Het is natuurlijk mogelijk strategische plannen te maken zonder het gebruik van technologische verkenningstechniek. De bedoeling van het gebruiken van deze technieken is echter juist de onzekerheid in de plannen te reduceren.

In de literatuur over technologisch verkennen komt men de termen normatief en exploratief verkennen tegen. De eerste wil zeggen dat de onderneming allereerst haar toekomstige functies bepaalt en daarna nagaat welke technische systemen hiervoor nodig zijn. Is dit eenmaal bepaald, dan redeneert men vanuit de toekomst naar het heden om na te gaan welke technische kennis in het heden relevant is voor de toekomstige functies en op welke punten deze technische wetenschap nadere research nodig heeft. Exploratief verkennen wil zeggen dat men, met als uitgangspunt de huidige stand van de techniek ("the state of art"), tracht aan te geven welke technische mogelijkheden, dus welke systemen er in de toekomst kunnen bestaan. Pas daarna zoekt men naar behoeftenpatronen waarin deze systemen zouden kunnen voorzien.

Beide verkenningmethoden vullen elkaar aan bij de inventarisatie van toekomstige functies en systemen. Schematisch kan men dit weergeven als in figuur 2.

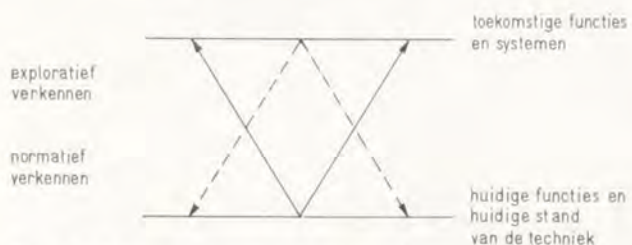


Fig. 2. Schematische weergave van de samenhang tussen exploratief en normatief verkennen.

V. Het vernieuwingsproces

Eén van de methoden voor het verwerven van inzicht in de toepassingsmogelijkheden van technologische verkenningstechnieken is het verkrijgen van een begrip van het proces van technologische vernieuwing. Met dit laatste bedoelen we de ontwikkelingsgang van een technologie van idee tot algemeen gebruikt proces of produkt. Het is mogelijk deze ontwikkelingsgang te modelleren door een aantal discrete ontwikkelingsstadia te karakteriseren. Wanneer we begrijpen welke factoren de ontwikkeling vertragen of versnellen, dan hebben we er ook een beter idee van welke zaken we moeten analyseren en meten en hoeveel tijd er met elke stap is gemoeid.

J. R. Bright [8] onderscheidt de volgende stadia:

1. Het uitgangspunt. Technologische vernieuwing moet een uitgangspunt hebben. Dit kan een wetenschappelijke suggestie zijn, een ontdekking, maar ook de bepaling van een behoefte.
2. Ontwikkeling van de theorie. De volgende stap die te onderkennen is, is het voorstellen van een theorie, of (voor veel vernieuwingen) het voorstellen van een werkhypothese.
3. De bevestiging van de theorie of de werkhypothese. Dit houdt bijvoorbeeld ook in de laboratoriumdemonstratie van een effect.
4. De laboratoriumdemonstratie van een bepaalde toepassing. Dit is het eerste primitieve model van de vernieuwing in concrete vorm.
5. De demonstratie op ware grootte ("pilot plant") dus op een schaal waarop de vernieuwing later ook zal worden gemaakt.
6. De commerciële introductie ofwel het eerste operationele gebruik. Dit stadium is soms moeilijk te onderkennen indien er sprake is van een samengaan met stadium 3.
7. Algehele acceptatie. Dit is het moment waarop de vernieuwing op een zodanige schaal in gebruik is dat het zich duidelijk weerspiegelt in de resultaten van de producerende ondernemingen.
8. Het uitzaaien. Het principe van de technische vernieuwing wordt op andere terreinen toegepast.

Wanneer we weten hoeveel tijd er in het verleden mee was gemoeid om elk stadium te doorlopen, dan hebben we een basis voor tijdschattingen in de toekomst. We moeten wel in de gaten houden dat dit schema erg eenvoudig is. Er zijn natuurlijk valse starts en er is schijnbare vooruitgang die doodloopt door technische, economische of sociale problemen. De stadia van het proces van vernieuwing staan niet op zichzelf, maar zijn activiteiten binnen een complex systeem dat wordt bepaald door een groot aantal variabelen van velerlei aard.

VI. Monitoring

Vooruitlopend op de behandeling in hoofdstuk 2 van de diverse methoden die bruikbaar zijn voor technologische verkenningen, dient in verband met het voorgaande te worden gewezen op een methode van informatievergaring die in de literatuur bekend staat als "environment monitoring" of "intelligence". Hierbij wordt getracht alle relevante gebeurtenissen uit het

verleden en het heden te vergaren (uit pers, literatuur, jaarverslagen, uitspraken belangrijke personen enz.) om daaruit toekomstige ontwikkelingen af te leiden. In feite is "monitoring" het zo volledig mogelijk opbouwen van een gegevensbestand van toekomstsignalen. Elk toekomstsignaal kan echter diverse ontwikkelingen impliceren. Het is derhalve onmogelijk de goede signalen meteen uit te kiezen, zodat men alles moet blijven registreren totdat de tijd duidelijk maakt welke ontwikkelingen er gaande zijn en welke technische vindingen daarbij relevant zijn. Bright noemt de volgende argumenten om "monitoring" toe te passen [8]:

- Een technische doorbraak is het eerst zichtbaar in de theoretische literatuur, lang voordat praktische toepassingen daarvan bestaan.
- Veelal zijn de praktische toepassingsmogelijkheden van een technische vinding bekend, jaren voordat deze worden gerealiseerd.
- Vigerende sociale, politieke en de laatste tijd ook ecologische omstandigheden beïnvloeden richting en snelheid van de technische ontwikkeling.
- De technische ontwikkeling wordt vaak beïnvloed door beslissingen van individuen met bevoegdheid over researchmiddelen. Men denke eens aan de president van de Verenigde Staten die een grote invloed uitoefent op het ruimtevaartprogramma van dat land.
- De waarde van parameters die de stand van de techniek karakteriseren, zoals snelheid, sterkte of hittebestendigheid, nemen exponentieel toe in de tijd indien een technische doorbraak eenmaal heeft plaatsgevonden. Ontstaan er nieuwe barrières op economisch, technisch, sociaal of politiek gebied, dan neemt deze snelle ontwikkeling af. Analyse van het groeiverloop kan dus aangeven of er barrières bestaan en zo ja, welke dit zijn.

VII. De inpassing binnen de organisatie

Tot slot van dit hoofdstuk enkele opmerkingen over hoe technologische verkenningen in een organisatie worden ingepast. De ervaring op dit gebied verschilt van onderneming tot onderneming. In het algemeen is de ervaring nogal beperkt.

Technologische verkenningen moeten immers voornamelijk worden gezien als hulpmiddel bij de planning op lange termijn en veel organisaties, hetzij ondernemingen dan wel overheden, beschikken nog niet over geformaliseerde en goed lopende procedures voor planning over termijnen van vijf jaar of langer, afhankelijk van bedrijfstak of taakstelling. Met het onderkennen van de noodzaak en de invoering van een goede lange termijn planning wordt het tevens duidelijk

dat technologische verkenningstechnieken in belangrijke mate kunnen bijdragen aan de kwaliteit en effectiviteit van deze planning. In de meeste gevallen penetreren nieuwe managementmethoden echter erg langzaam in een onderneming en moeten veel klippen worden omzeild voordat zij volledig zijn geaccepteerd. Het heeft geen nut nieuwe managementtechnieken te introduceren en daarvoor een speciale groep op te richten, om deze groep vervolgens geïsoleerd te laten werken zonder hen in het ondernemingsgebeuren te integreren. In het ideale geval dienen technologische verkenningen te worden geïntegreerd met de al beter geaccepteerde procedures van marktresearch, cash-flow schattingen en omzetvoorspellingen, die eveneens bijdragen aan de lange termijn planning van de onderneming.

In een groot aantal gevallen waarin een onderneming beschikt over een speciale technologische verkenningsgroep blijkt zij op een of andere wijze te zijn verbonden met de researchorganisatie van de onderneming. Dit is verklaarbaar uit het feit dat de sfeer binnen research reeds is gericht op lange termijn problemen en men er daardoor het meest ontvankelijk blijkt te zijn voor toekomstverkenningen.

Uit het vorenstaande moet men niet de conclusie trekken dat technologisch verkennen per definitie het werk is van een daartoe aangestelde groep. Elk individu kan gebruik maken van de in de volgende hoofdstukken te bespreken technieken om zijn beeld van de toekomst te construeren. De hoeveelheid werk die er mee is gemoeid moet echter niet worden onderschat. Kan men een kwalitatieve analyse van de technologische trends soms nog als enkeling de baas, voor kwantitatieve benadering heeft men in de meeste gevallen een uitgebreid documentatie- en informatiesysteem nodig. Voor kleine organisaties kan het vaak zijn nut hebben voor een deel van de technologische verkenningstudies te steunen op de expertise van raadgevende bureaus, omdat anders teveel hoog gekwalificeerd personeel met een uitgebreide technische kennis — elders hard nodig — zich vrij moet maken voor deze studies. Voor grotere organisaties geldt dit natuurlijk ook, maar daar kan men toch vaak wat gemakkelijker mensen vrij maken om zich met toekomstverkenningen bezig te houden. Zo'n groep dient niet alleen te bestaan uit technisch georiënteerde personen, maar zo mogelijk ook uit gekwalificeerde personen uit andere vakgebieden. In elk geval moet men gebruik kunnen maken van de expertise uit andere dan technische vakgebieden. Niet vergeten moet worden dat de technologische ontwikkeling mede wordt bepaald door economische, sociale en politieke tendensen.

Hoofdstuk 2. Technieken van technologisch verkennen

door drs. Th. M. A. Bemelmans

I. Inleiding

In hoofdstuk 1 zijn globaal de noodzaak en de aard van technologisch verkennen uiteengezet. In dit tweede hoofdstuk zullen we een overzicht trachten te geven van de diverse soorten technieken. De bespreking van deze technieken is zodanig dat men slechts weinig voorkennis nodig heeft van statistische en wiskundige methoden om dit deel te kunnen lezen. De nodige statistische en wiskundige basisprincipes zijn zo veel mogelijk in aanhangsels weergegeven, terwijl voor diepergaande theoretische aspecten die niet direct voor dit rapport noodzakelijk zijn, telkens is verwezen naar de vakliteratuur op dat gebied.

We beogen met dit tweede hoofdstuk niet alle technieken tot in details te bespreken daar dit reeds vele malen eerder, o.a. in statistische literatuur is gebeurd. Hoofdstuk 2 heeft alleen tot doel de techniekenvoorraad te inventariseren en een korte karakteristiek van elke techniek te geven.

Voordat we overgaan tot het beschrijven van technieken en de toepasbaarheid daarvan, een opmerking. Bij technologisch verkennen is niet de eerste vraag "welke methode moet men hanteren?" maar wel "wat moet er voorspeld worden?". Afhankelijk van dat laatste kiest men die techniek die het best bij de te verkennen grootte kan worden gebruikt. Anders geformuleerd: men definiëert allereerst het probleem en zoekt pas daarna naar een goede oplossingsmethode. Het mag niet zo zijn dat men het probleem misvormt door het met een bepaalde techniek te willen oplossen. Dat deze waarschuwing niet uit de lucht gegrepen is, toont bijv. het volgende citaat: "... Too often technics dominate the problem. Instead of being used as means toward an end (solving the problem), they turn out to be an end in themselves." [9]. Heeft men eenmaal het

probleem en de daarbij behorende verkenningsmethode geformuleerd, dan kan men aan de bewerking beginnen. Geeft het verkenningsstelsel onzinnige uitkomsten, dan moet men niet het probleem maar het verkenningsstelsel herzien. We gaan er hierbij wel van uit dat de probleemstelling correct is, hoewel het natuurlijk ook denkbaar is dat men door een onzinnige uitkomst wordt gewezen op een nog onvolkomen probleemstelling.

Bij de bespreking der technieken maken we een onderscheid in niet-intuïtieve en intuïtieve methoden.

Onder *niet-intuïtieve* methoden worden de technieken van verkenning verstaan die gebruik maken van feitelijke, waarneembare en vaak meetbare ontwikkelingen in heden en verleden.

Onder *intuïtieve* methoden verstaan we die methodieken van verkenning waarbij uitsluitend gebruik wordt gemaakt van verwachtingen van deskundigen, vaak zonder dat deze uitspraken kunnen worden getoetst aan ontwikkelingen in heden of verleden.

Verder maken we een onderscheid in kwantitatieve en kwalitatieve methoden van technologisch verkennen. Bij *kwantitatieve* methoden geschiedt de analyse van ontwikkelingen op basis van cijfermatige gegevens en worden de voorspellingen eveneens in cijfermatige grootheden uitgedrukt.

Bij *kwalitatieve* methoden daarentegen wordt geen gebruik gemaakt van cijfermatige gegevens, maar wordt getracht op basis van kwalitatief omschreven ontwikkelingen in heden en verleden te komen tot kwalitatief omschreven toekomstige mogelijkheden. Een voorbeeld van dit laatste is de uitspraak of een bepaald technisch procédé wel of niet realiseerbaar is in een bepaald toekomstig tijdvak.

In de paragrafen II tot en met VI komen de niet-intuïtieve methoden ter sprake, terwijl in paragraaf VII de intuïtieve methoden staan vermeld.

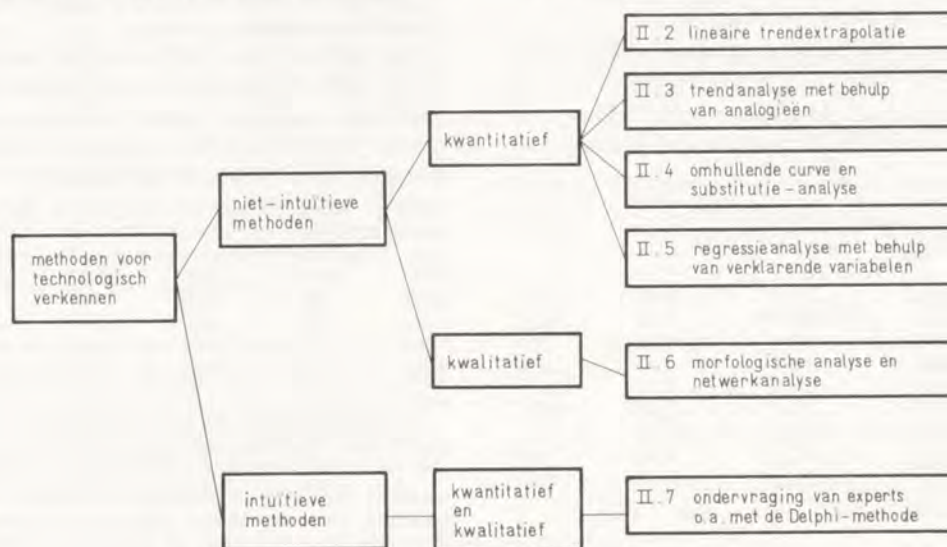


Fig. 1. Overzicht van methoden van technologisch verkennen.

In figuur 1 is de bovenstaande indeling nogmaals weer-gegeven met een aanduiding van de paragrafen waarin de diverse technieken ter sprake komen.

Tot slot van deze inleiding nog een opmerking. We spreken voortdurend over technologisch verkennen i.p.v. over technologisch voorspellen ("technological forecasting") zoals in de angelsaksische literatuur. In hoofdstuk 1 is reeds ter sprake gekomen dat men beter de term technologisch verkennen kan hanteren daar men met technologisch verkennen niet beoogt een toekomst vast te leggen, maar slechts wil nagaan welke mogelijkheden er in de toekomst kunnen bestaan.

II. Lineaire trendextrapolatie

Trendextrapolatie is een techniek die gebaseerd is op de analyse van een reeks kwantitatieve gegevens die betrekking hebben op het verleden. Men tracht uit dit historisch cijfermateriaal een historische ontwikkeling, ook wel trend genaamd, af te leiden. De trend geeft als het ware de ontwikkeling van een bepaald kenmerk op lange termijn, waarbij wordt geabstraheerd van invloeden die op korte termijn gelden. Men start dus met het in kaart brengen van de ontwikkeling in het verleden door middel van een trend. Op basis van deze ontwikkeling van het verleden probeert men dan de toekomst te verkennen, uitgaande van de redenering dat de ontwikkeling op lange termijn zoals die zich voordeed in het verleden, van kracht blijft voor de toekomst. Een voorbeeld moge het voorgaande verduidelijken.

Stel dat men wil nagaan hoe groot het aantal lumens per watt van verlichtingsapparatuur in de loop der tijd is geweest. In figuur 2 zijn de gevonden waarden weer-gegeven door cirkeltjes. Op basis van deze waarden wordt een trend bepaald die in figuur 2 is weerge-geven door een getrokken rechte. De gestippelde rechte is nu een prognose voor de toekomst, onder de

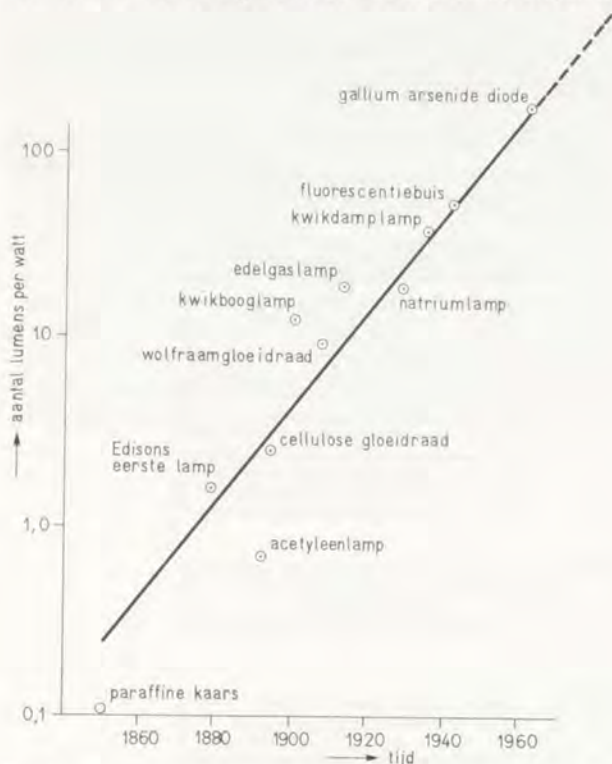


Fig. 2. Het rendement van lichtbronnen in lumens per watt versus het jaar van introductie van de lichtbron [10].

uitdrukkelijke voorwaarde dat de factoren die in het verleden voor de trendmatige ontwikkeling zorgden, op eenzelfde wijze van kracht blijven voor de toekomst. Aangetekend zij dat in figuur 2 de verticale as een logaritmische schaal heeft.

Indien alle waarnemingen, weergegeven door de cirkeltjes, op de getrokken rechte zouden liggen, zou er sprake zijn van een perfecte aanpassing van de trend. Uit figuur 2 blijkt echter dat er verschil bestaat tussen sommige waarnemingen en de door de trendlijn aangegeven waarden. Deze verschillen noemen we storingstermen. Men kan deze afwijkingen immers beschouwen als storende elementen in het ideaalbeeld van de trend.

Wiskundig kan men een lineaire trend als volgt weer-geven:

$$(1) y = a + b t$$

waarin: y = de trendwaarde van de te verkennen grootheid (in figuur 2 is dit het rendement);

t = de waarde van de tijdvariabele (in figuur 2 geldt $t = 1880, 1899$ enz.);

a en b = te bepalen constanten.

De in formule (1) gegeven relatie wordt benaderd door

$$(2) y_i = a + b t_i + e_i \text{ voor } i = 1, 2, \dots, N$$

waarin: y_i = de feitelijke waarde van de te verkennen grootheid op tijdstip t_i ;

t_i = de waarde van de tijdvariabele, behorende bij de i^e waarneming;

e_i = de waarde van de storingsterm op tijdstip t_i ;

N = het aantal waarnemingen;

a en b = constanten die uit de historische tijdreeks moeten worden bepaald¹⁾.

Er bestaat nu een aantal methoden om de constanten a en b te berekenen nl.:

— de "free-hand" methode: men zet de historische tijdreeks uit in een tijdsdiagram zoals in figuur 2 en oordeelt op basis van eigen inzichten en de getekende puntenwolk van waarnemingen welke trend men waarschijnlijk acht;

— de "selected point" methode: men kiest uit de puntenwolk naar eigen inzicht een aantal karakteristieke punten en trekt door deze punten een zo goed mogelijk passende trendlijn;

— de methode van het voortschrijdende gemiddelde;

— de methode van de kleinste kwadraten.

We zullen de beide laatst genoemde methoden toelichten met het in tabel 1 gegeven voorbeeld. Alle cijfers in dit voorbeeld zijn gefingeerd.

Tabel 1. De afzet van een product in opeenvolgende jaren (x 1000 ton).

jaar	afzet	jaar	afzet	jaar	afzet
1962	68	1966	76	1970	85
1963	78	1967	91	1971	92
1964	83	1968	86	1972	98
1965	73	1969	94		

¹⁾ De coëfficiënten a en b in vergelijking (2) vindt men in de statistische literatuur vaak aangegeven door \hat{a} en \hat{b} waarmee dan wordt bedoeld dat deze berekende constanten geschatte waarden zijn voor de werkelijke waarden a en b in vergelijking (1). Deze werkelijke waarden kent men immers niet, daar men nooit over een zo goed en volledig cijfermateriaal beschikt dat men met 100% zekerheid de waarde van a en b kan aangeven.

De methode van het voortschrijdende gemiddelde

We berekenen voor tijdstip t_i het voortschrijdende gemiddelde y_i over $(2p + 1)$ tijdseenheden en wel als volgt:

— bepaal het gemiddelde van de waarden van de te verkennen variabele y over p waarnemingen voor en na het tijdstip t_i en de waarde van y op tijdstip t_i .

Uit het voorgaande blijkt dat het aantal in beschouwing te nemen waarnemingen oneven is. De methode is ook te gebruiken bij een even aantal te beschouwen waarnemingen, zij het dat men dan weer het gemiddelde van twee voortschrijdende gemiddelden moet nemen om het voortschrijdende gemiddelde van tijdstip t_i te bepalen. In het navolgende beperken we ons tot het in beschouwing nemen van een oneven aantal waarnemingen.

De keuze van de periode waarover het voortschrijdende gemiddelde wordt berekend, is afhankelijk van de cyclische beweging die een bepaald kenmerk vertoont.

Men kan het voortschrijdende gemiddelde \bar{y}_i als volgt in formule weergeven:

$$(3) \bar{y}_i = \frac{y_{i-p} + y_{i-p+1} + \dots + y_i + y_{i+1} + \dots + y_{i+p}}{2p+1}$$

waarin: y_t = de waarde van de te verklaren variabele op tijdstip t ($t = i - p, i - p + 1, \dots, i + p$).

Teneinde het rekenwerk te vereenvoudigen, maken we gebruik van de formules:

$$(4) \begin{aligned} S_1 &= y_1 \\ S_2 &= S_1 + y_2 = y_1 + y_2 \\ S_3 &= S_2 + y_3 = y_1 + y_2 + y_3 \\ &\text{enz. (Zie tabel 2).} \end{aligned}$$

Tabel 2. De afzet van een produkt en de berekening van het voortschrijdende gemiddelde (x 1000 ton).

1 jaar	2 i	3 $y_i =$ afzet	4 $S_i =$ cumula- tieve afzet	5 $S_i - S_{i-5}$	6 $\bar{y}_{i-2} =$ voort- schrijdend gemid- delde
1962	1	68	68		
1963	2	78	146		
1964	3	83	229		
1965	4	73	302		
1966	5	76	378	0	75,6 (1964)
1967	6	91	469	68	80,2 (1965)
1968	7	86	555	146	81,8 (1966)
1969	8	94	649	229	84,0 (1967)
1970	9	85	734	302	86,4 (1968)
1971	10	92	826	378	89,6 (1969)
1972	11	98	924	469	91,0 (1970)

In tabel 2 is het voortschrijdende gemiddelde berekend door de getallen in kolom 5 te delen door 5 (nl. $2p + 1$, waarin $p = 2$). Het voortschrijdende gemiddelde staat vermeld in kolom 6. Zo is bijv. 75.600 ton het voortschrijdende gemiddelde van jaar 1964.

Tot nu toe is alleen gesproken over de trendontwikkeling in het verleden. Om daarvan uitgaande tot een prognose van de toekomst te komen, moet men een schatting maken van de toename van de trend per jaar. Voor de bepaling van het accres per jaar h_i van de trend op tijdstip t_i geldt de volgende formule:

$$(5) h_i = \frac{-p y_{i-p} - (p-1) y_{i-p+1} + \dots + -y_{i-1} + y_{i+1} + \dots + p y_{i+p}}{1/3 p (p+1) (p+2)}$$

Voor h_{1964} geeft dit:

$$\frac{-2 (68.000) - 1 (78.000) + 1 (73.000) + 2 (76.000)}{1/3 (2) (3) (4)} = 1.375.$$

Men kan de berekening zoals in formule (5) weergegeven, iets eenvoudiger laten verlopen door gebruik te maken van de reeds berekende voortschrijdende gemiddelden. Men hanteert dan de formule:

$$(6) h_i = h_{i-1} + \frac{(p+1) y_{i+p} + p y_{i-p-1} - (2p+1) \bar{y}_i}{1/3 p (p+1) (2p+1)}$$

Voor h_{1965} geeft dit cijfermatig:

$$1.375 + \frac{3 (91.000) + 2 (68.000) - 5 (80.200)}{1/3 (2) (3) (5)} = 2.175.$$

In tabel 3 zijn de berekende waarden van h_i weergegeven.

Tabel 3. Berekening van de toename per jaar van de trend der afzet (x 1000 ton).

jaar	afzet	voort- schrijdend gemid- delde	y_{i+p}	y_{i-p-1}	berekende toe- name van de trend in tonnen
1962	68				
1963	78				
1964	83	75,6	76		$h_{1964} = 1.375$ (5)
1965	73	80,2	91	68	$h_{1965} = 2.175$ (6)
1966	76	81,8	86	78	$h_{1966} = 2.675$ (..)
1967	91	84,0	94	83	$h_{1967} = 5.475$ (..)
1968	86	86,4	85	73	$h_{1968} = 2.375$ (..)
1969	94	89,6	92	76	$h_{1969} = 375$ (..)
1970	85	91,0	98	91	$h_{1970} = 2.575$ (..)
1971	92				
1972	98				

We hebben gesteld dat we uitgingen van een lineair verband tussen de te verkennen variabele en de variabele tijd. We zullen dit lineaire verband met behulp van het voortschrijdende gemiddelde weergeven in formule (7).

$$(7) y_{i+p} = \bar{y}_i + p h_i$$

waarin: i = het basisjaar;

p = het aantal jaren gemeten vanaf het basisjaar;

y_i = de waarde van de te verkennen variabele in jaar i ;

\bar{y}_i = de waarde van het voortschrijdende gemiddelde in jaar i ;

h_i = de toename van de trend in jaar i .

Toegepast in ons rekenvoorbeeld krijgen we, uitgaande van 1970 als het basisjaar voor 1971 en verder, voor de overige jaren telkens de berekende toename per jaar van het voorafgaande jaar (zie tabel 4.)

Tabel 4. Berekeningen op basis van formule (7).

jaar	\bar{y} x 1000 ton	h_i x 1000 ton	voorspel jaar	waarde prognose x 1000 ton
1964	75,6	1,375	1965	76,975
1965	80,2	2,175	1966	82,375
1966	81,8	2,675	1967	84,475
1967	84,0	5,475	1968	89,475
1968	86,4	2,375	1969	88,775
1969	89,6	0,375	1970	89,975
1970	91,0	2,575	1971	93,575
1971	91,0	2,575 x 2	1972	96,150
1972	91,0	2,575 x 3	1973	98,725

De werkelijke afzetcijfers, de berekende prognoses zoals in tabel 4 weergegeven en de berekende gemiddelden zijn grafisch weergegeven in figuur 3.

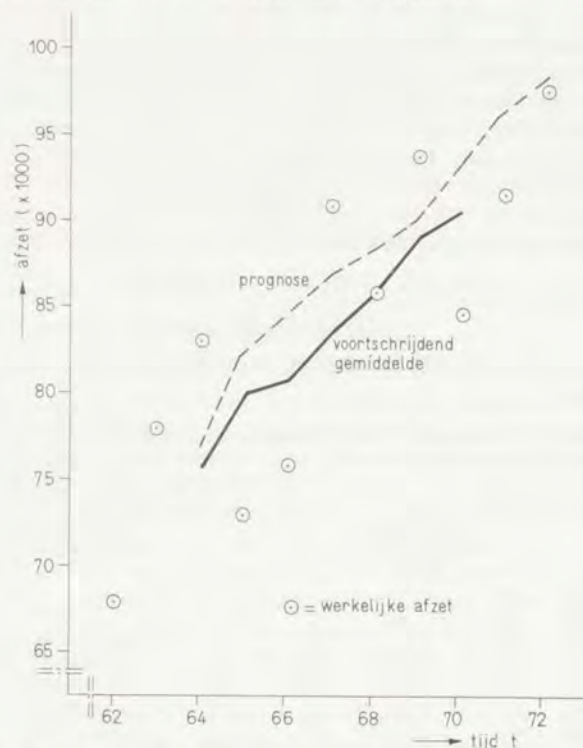


Fig. 3. Werkelijke afzet, voortschrijdende gemiddelde en "prognoses".

Hoewel het voorschrijdende gemiddelde een vaak gehanteerde methode is bij een rechte trend met cyclische schommelingen rondom de trend, waarbij deze cyclische schommelingen worden vertaald in trend-uitslagen, heeft deze methode bezwaren indien men te maken heeft met een rechte trend zonder cyclische beweging. De methode van de kleinste kwadraten, die hierna volgt, is dan een snellere en betere procedure om de trend aan de gegeven cijfers aan te passen.

De methode van de kleinste kwadraten

De andere te behandelen methode is die van de kleinste kwadraten. Men kan mathematisch bewijzen dat de constanten a en b zoals die in formule 2 voorkomen, worden bepaald door:

$$(8) \quad b = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i + \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}$$

$$(9) \quad a = \bar{y} - b \bar{t}$$

waarin: b = de berekende waarde van de constante b in formule (2);

a = de berekende waarde van de constante a in formule (2);

N = het aantal waarnemingen;

y_i = de waarde van de te verkennen variabele van de i de waarneming;

\bar{y} = de gemiddelde waarde van de te verkennen variabele;

t_i = de waarde van de variabele tijd van de i de waarneming;

\bar{t} = de gemiddelde waarde van de variabele tijd.

Voor de afleiding van de formules (8) en (9) verwijzen we naar het bij dit hoofdstuk behorende aanhangsel 1. De berekening van de beide formules is neergelegd in tabel 5.

Tabel 5. Berekening van de trend m.b.v. de kleinste kwadraten.

1	2	3	4	5	6	7	8
jaar	$t_i =$ waarde tijd	$y_i =$ afzet $\times 1000$ ton	$T_i =$ $t_i - \bar{t}$	$Y_i =$ $y_i - \bar{y}$ $\times 1000$ ton	$T_i^2 =$ (kol. 4) ²	$Y_i^2 =$ $\times 1000$ ton ² = (kol. 5) ²	$T_i \times Y_i$ $\times 1000$ ton \times (kol. 5)
1962	1	68	-5	-16	25	256	80
1963	2	78	-4	-6	16	36	24
1964	3	83	-3	-1	9	1	3
1965	4	73	-2	-11	4	121	22
1966	5	76	-1	-8	1	64	8
1967	6	91	0	+7	0	49	0
1968	7	86	1	2	1	4	2
1969	8	94	2	10	4	100	20
1970	9	85	3	1	9	1	3
1971	10	92	4	8	16	64	32
1972	11	98	5	14	25	196	70
	66	924	0	0	110	892	264

Uit de totaaltelling van kolom 2 resp. 3 volgt:

$$\bar{t} = \frac{66}{11} = 6 \text{ en } \bar{y} = \frac{924}{11} = 84.$$

Met behulp van deze gemiddelden worden de kolommen 4 tot en met 8 berekend. Via de in tabel 5 gevonden cijfers zijn nu de formules (8) en (9) te bepalen, nl.:

$$b = \frac{264.000}{110} = 2400 \text{ en } a = 84.000 - 2.400 \times 6 = 69.600.$$

De lineaire relatie ziet er nu als volgt uit:

$$y_i = 69.600 + 2400 t_i + e_i$$

In tabel 6 worden op basis van deze relatie de storingstermen e_i berekend. Het symbool y_i^* geeft de berekende waarde van de te verkennen variabele weer op tijdstip t_i op basis van de relatie: $y_i^* = a + b t_i$.

Tabel 6. De berekening van de storingstermen e_i .

jaar	$y_i =$ werkelijke afzet $\times 1000$ ton	$y_i^* =$ berekende afzet $\times 1000$ ton	$e_i = y_i - y_i^*$ $\times 1000$ ton
1962	68	72,0	-4,0
1963	78	74,4	3,6
1964	83	76,8	6,2
1965	73	79,2	-6,2
1966	76	81,6	-5,6
1967	91	84,0	7,0
1968	86	86,4	-0,4
1969	94	88,8	5,2
1970	85	91,2	-6,2
1971	92	93,6	-1,6
1972	98	96,0	2,0
1973		98,4	
1974		100,8	
1975		103,2	
1976		105,6	

De methode van de kleinste kwadraten minimaliseert de som van de gekwadeerde storingstermen. Het zal duidelijk zijn dat naarmate de storingstermen kleiner worden, de trendaanpassing als beter wordt gekwalificeerd. Om een indicatie te krijgen hoe goed de aanpassing van de gekozen trendvorm is, berekent men vaak de correlatiecoëfficiënt R die als volgt is gegeven:

$$(10) \quad R = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}$$

In ons rekenvoorbeeld heeft R de waarde

$$\frac{264.000}{\sqrt{110 \times 892.000.000}} = 0,8428.$$

Indien de aanpassing van de trend perfect is, dus indien alle storingstermen nul zijn, is de correlatiecoëfficiënt +1 of -1, afhankelijk van het feit of men te maken heeft met positieve of negatieve correlatie. De trendaanpassing in ons voorbeeld, waarbij $R=0,8428$, is niet bijster goed te noemen¹⁾.

Met behulp van R kan men de onverklaarde rest berekenen, d.w.z. dat gedeelte van de historische gegevens dat niet verklaard wordt door de berekende trend.

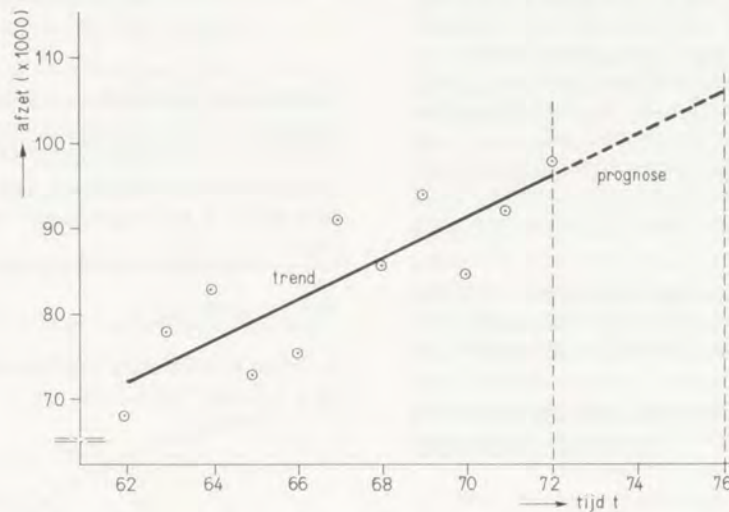


Fig. 4. Afzet, verklaarde trend en verwachte trend.

De onverklaarde rest van de fluctuaties van y_i luidt:

$$(11) \quad (1-R^2) \times 100\% = \{1 - 0,8428^2\} \times 100\% = 28,97\%.$$

Voor de mathematische afleiding van het voorgaande zij verwezen naar aanhangsel 1.

De resultaten uit tabel 6 zijn in figuur 4 weergegeven.

Tot nu toe hebben we op basis van historische gegevens een trendmatige ontwikkeling in deze gegevens trachten te kwantificeren. De gevonden trendlijn voor de jaren 1962 tot en met 1972 is slechts een in kaart brengen van de afzet zoals die zich in het verleden heeft ontwikkeld. Men poogt nu op basis van de gevonden trendlijn prognoses te doen voor de toekomst. Zoals reeds eerder werd gesteld, zal de gevonden

trendlijn zich in de toekomst voortzetten, als de factoren die in het verleden van invloed waren op de te verkennen variabelen en die vervat zijn in de trend, op dezelfde wijze van invloed zijn in de toekomst. Als we in ons voorbeeld aannemen dat aan de eis van gelijkblijvende invloed der factoren is voldaan, dan geldt bijv. voor de verwachte omzet in 1980:

$$Y_{1980} = 69.600 + 2400 \times 19 = 115.200 \text{ ton.}$$

In figuur 4 wordt een prognose gegeven voor de jaren 1973 tot en met 1976, hetgeen wordt weergegeven door de gestippelde trendlijn.

¹⁾ In statistische handboeken vindt men vaak de vuistregel dat de gevonden trend als goed wordt gekwalificeerd indien $R \geq 0,85$.

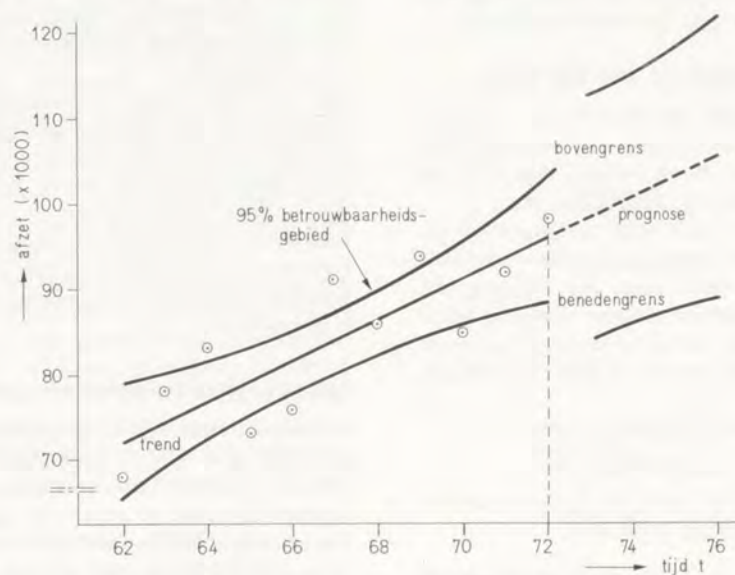


Fig. 5. Betrouwbaarheidsgrenzen van de trend bij een betrouwbaarheidsniveau van 95%.

Het zal duidelijk zijn dat naarmate de voorspelling verder in de toekomst ligt, de betrouwbaarheid van die voorspelling afneemt. In de eerste plaats is immers de berekening van de historische trend gebaseerd op een beperkt aantal waarnemingen, zodat niet met zekerheid is te zeggen of de constanten a en b volledig juist zijn. Ten tweede is de trendaanpassing niet perfect omdat er storingstermen optreden. In de derde plaats zal, naarmate men verder in de toekomst voorspelt, de kans groter worden dat de van invloed zijnde factoren veranderen. Om nu bij de interpretatie van voorspellingen rekening te houden met deze onzekerheden, berekent men betrouwbaarheidsgrenzen van een voorspelling. Voor deze berekeningen zij verwezen naar het bij dit hoofdstuk behorende aanhangsel 2. Er zij op gewezen dat daarbij echter geen rekening wordt gehouden met veranderingen van waarden en normen¹⁾. In figuur 5 worden de betrouwbaarheidsgrenzen voor de afzet aangegeven.

In deze paragraaf hebben we een lineaire trend als uitgangspunt genomen. Uiteraard kan een historische ontwikkeling van een bepaalde grootte een ander dan een lineair verloop te zien geven. In deze situatie past men aan de historische cijfers een niet-lineaire curve aan. Voor trendaanpassingen van enkele niet-lineaire gevallen wordt verwezen naar aanhangsel 3.

III. Trendanalyse met behulp van analogieën

In het voorgaande gedeelte is herhaaldelijk gewezen op de zeer lastig te staven onderstelling van gelijkblijvende invloed van factoren in de toekomst. Als bezwaar van trendextrapolatie kan men dan ook aanvoeren dat men slechts een historische analyse maakt zonder zich te bekommeren over het waarom van een bepaalde ontwikkeling.

Een van de mogelijkheden om het waarom van een ontwikkeling aan te geven, biedt trendanalyse met behulp van analogieën. Er zijn in de biologie, economie en andere wetenschappen reeds lang bepaalde groeiwetten ontdekt. De analogie van deze groeiwetten tracht men nu als verklaring te hanteren voor de trendanalyse die men wil uitvoeren. Uiteraard moet men eerst op logische gronden nagaan of toepassing van een analogie zinvol is voor het gestelde probleem.

Een biologische groeianalogie: de wet van Pearl

Reeds lang is in de biologie de theorie van de celdeling bekend. Deze komt er op neer dat een cel door deling tot het ontstaan van twee cellen leidt, die op hun beurt weer een tweedeling ondergaan enz..

Pearl heeft deze theorie van celdeling toegepast op de bevolkingsgroei. Een andere toepassing van deze celdelingstheorie is gegeven door Lenz [1]. Hij past de door Pearl ontwikkelde mathematische formule voor de bevolkingsgroei toe op de ontwikkeling van een technische parameter die de stand van een technologie moet karakteriseren.

De mathematische formulering luidt als volgt:

$$(12) y_t = L / (1 + a e^{-bt})$$

waarin: y_t = de waarde van de technologische parameter op tijdstip t ;

¹⁾ Zie hoofdstuk 4 voor een beschouwing over veranderende waarden en normen.

- L = de maximaal (minimaal) mogelijke waarde van deze parameter;
- t = de waarde van de tijdvariabele;
- a en b = de te bepalen constanten.

Een eigenschap van deze groeifunctie is dat de groei evenredig is met:

- het bereikte niveau op tijdstip t ;
 - het verschil tussen de limiet en het bereikte niveau.
- Immers voor formule (12) geldt:

$$\frac{dy_t}{dt} = \frac{b}{L} y_t (L - y_t)$$

Anders geïnterpreteerd: op het nog te realiseren gedeelte $(L - y_t)$ werken impulsen $\frac{by_t}{L}$, die een functie zijn van de bereikte toestand. Naarmate y_t meer nadert tot L , is het "leereffect" dat uitgaat van de factor $\frac{by_t}{L}$ van toepassing op een steeds geringer nog te realiseren gedeelte.

In figuur 6 is formule (12) grafisch weergegeven, waarbij $a = 1$, $b = 1$ en $L = 10$.

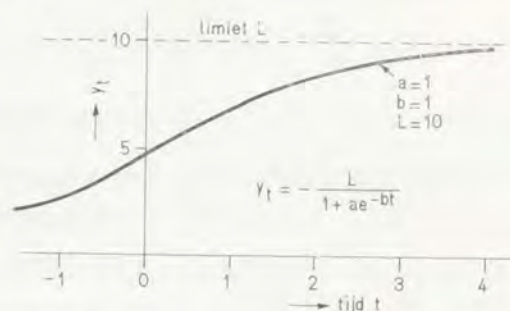


Fig. 6. Grafische weergave van de groeifunctie van Pearl.

In hoofdstuk 1 is aangegeven dat de stand van een technologie kan worden gekarakteriseerd door de waarde van een of meer technologische parameters. Heeft men bijvoorbeeld een technologie waarbij de stand van deze technologie kan worden gekarakteriseerd door de parameter snelheid in kilometers per uur, dan geldt voor formule (12):

y_t = de snelheid op tijdstip t die, gegeven de stand van de technologie, mogelijk is;

L = de maximaal te bereiken snelheid (bijv. de lichtsnelheid).

Het is zonder meer duidelijk dat in dit voorbeeld de snelheid aan een limiet is gebonden. Er zijn echter vele gevallen waarin niet zonder meer duidelijk is of er een limiet bestaat en van welke aard deze limiet is. Voor een nadere uitleg hiervan zij verwezen naar het bij dit hoofdstuk behorende aanhangsel 4.

Evenals in paragraaf II is ook hier de methode van de kleinste kwadraten toepasbaar om de constanten a en b te bepalen.

Een economische groeianalogie: de wet van Gompertz

In de economie wordt de Gompertz-curve vaak toegepast als verklaring van de groei van de afzet van producten. Evenals de voorgaande groeifunctie, is de Gompertz-curve in sommige gevallen toepasbaar bij het voorspellen van de stand der techniek. In de literatuur vindt men drie mathematische uitdrukkingen voor de wet van Gompertz, die na enige substitutie in

elkaar overgaan. De drie uitdrukkingen zijn:

(13) $\ln y_t = p + qr^t$ ofwel $y_t = e^{p+qr^t}$ $0 < r < 1$ en $q < 0$
 waarin: $\ln y_t$ = de natuurlijke logaritme van de te verklaren variabele;
 t = de waarde van de tijdvariabele;
 p, q en r = de te bepalen constanten.

(14) $y_t = abr^t$ ofwel $\ln y_t = \ln a + r^t \ln b$
 waarin a, b en r te bepalen constanten zijn.

(15) $y_t = ae^{qc^t}$ ofwel $\ln y_t = \ln a + qc^t$
 waarin a, q en c te bepalen constanten zijn.

De limietwaarde L van de te verklaren variabele wordt in formule (13) gegeven door $L = e^p$. Ook hier geldt, evenals bij de biologische groeianalogie, dat de toename een functie is van de bereikte toestand en van het verschil tussen de limiet- en de bereikte toestand, immers:

$$\frac{dy_t}{dt} = -y_t \ln |r| (\ln L - \ln y_t).$$

In figuur 7 is formule (13) grafisch weergegeven, waarbij $p=3$, $q=-3$ en $r=\frac{1}{4}$.

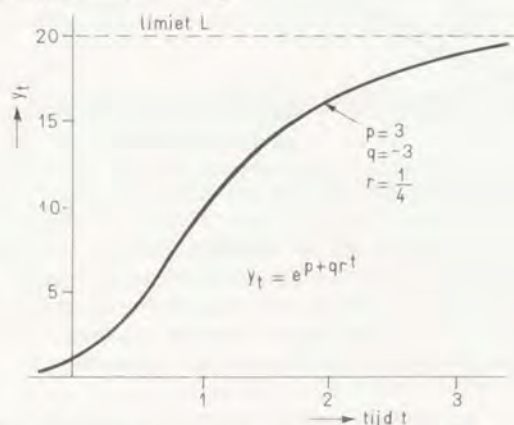


Fig. 7. Grafische weergave van een Gompertz-curve.

Een historische groeianalogie

Men neemt vaak ontwikkelingen in het heden waar die hun pendant reeds hebben gehad in het verleden. Zo kan bijv. de groei in de afzet van televisietoestellen in Nederland op eenzelfde manier verlopen als de afzet in het verleden van radio's in Nederland. Daar men op de hoogte is van de afzetontwikkeling van radio's, kan men met behulp van die ontwikkeling de afzet van televisietoestellen in de toekomst voorspellen. Men transplanteert als het ware de ontwikkeling van een bepaalde grootte in het verleden op de ontwikkeling van een andere grootte in het heden of in de toekomst. De groeiontwikkeling in het verleden kan weer worden gekarakteriseerd door soortgelijke formules als we in het voorafgaande hebben gezien.

Bij het hanteren van historische groeianalogieën levert onder meer de onderstelling van gelijkblijvende beïnvloeding van factoren op het groeiverloop in verleden en toekomst problemen op. Men zal telkens expliciet moeten nagaan of de factoren die in het verleden relevant waren voor een bepaalde ontwikkeling nog gelden in heden of toekomst. Zo kunnen in ons voorbeeld de volgende factoren van invloed zijn geweest op de afzet van radio's:

- de prijsontwikkeling van deze toestellen;
- het gemiddelde inkomensniveau van de Nederlander;

— politieke omstandigheden zoals bijv. de tweede wereldoorlog.

Of deze factoren op een zelfde manier van toepassing zijn op de afzetontwikkeling van televisietoestellen is nog maar zeer de vraag.

Tot nu toe hebben we gezocht naar een louter historische analogie binnen een zelfde geografisch gebied. Anderzijds kan de situatie zich voordoen dat ontwikkelingen die elders reeds eerder hebben plaats gevonden, zich op identieke wijze hier herhalen, zoals een marktontwikkeling in de Verenigde Staten, die zich herhaalt op een later tijdstip in Europa. Een ander voorbeeld zijn de ontwikkelingsfasen die vroeger golden voor de huidige hoog ontwikkelde landen en die nu van toepassing zijn op de ontwikkelingslanden. Hier heeft men niet alleen een tijdsverschil maar tevens een geografisch verschil bij toepassing van groeianalogieën. De onderstelling van gelijkblijvende invloed van factoren moet men in deze laatste situatie niet alleen voor de verschillen in tijd, maar ook voor de verschillen in geografische plaats expliciet maken.

IV. Enkele andere toepassingen van trendextrapolatie

In deze paragraaf worden twee bijzondere toepassingen gegeven van trendextrapolatie, te weten de omhullende ofwel enveloppe-curve en substitutiegrafieken.

Omhullende curven

Vaak zijn in een historische ontwikkeling fasen te onderscheiden. Met de methode van de omhullende curve berekent men trends voor de diverse te onderscheiden fasen en bepaalt men vervolgens een trend van de gevonden trendcurven. De methode van de omhullende curve is met een eenvoudig voorbeeld toe te lichten. Stel men wil een trend bepalen voor de ontwikkeling van de bereikte snelheid van vervoermiddelen. Toepassing van trendanalyses levert dan bijv. figuur 8.

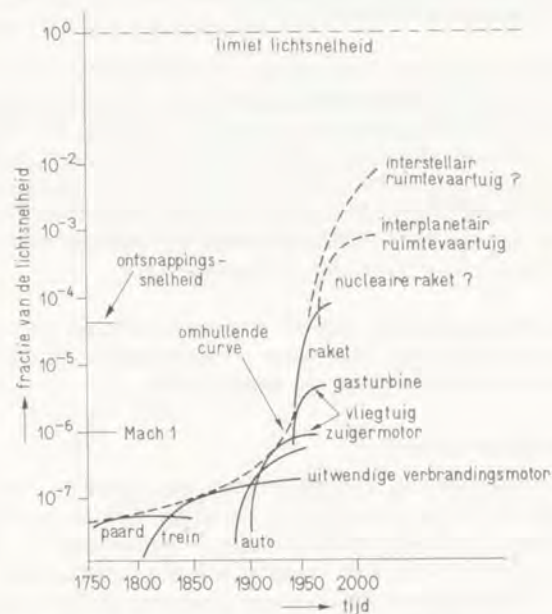


Fig. 8. Omhullende van de snelheidstrend in vervoermiddelen [11].

Uit deze figuur blijkt dat men een aantal fasen in de snelheidsontwikkeling onderscheidt. Was aanvankelijk de maximaal te bereiken snelheid afhankelijk van de snelheid van een paard, in de daarop volgende fase werd deze bepaald door de snelheid van treinen. Men analyseert dus per fase de trend van een bepaald vervoermiddel, hetgeen in figuur 8 is aangegeven door de getrokken lijnen. De omhullende curve is nu de trend, bepaald uit alle getrokken trendlijnen. In figuur 8 is deze omhullende curve aangegeven door de gestreepte lijn.

Een ander voorbeeld van een omhullende curve geeft figuur 9.

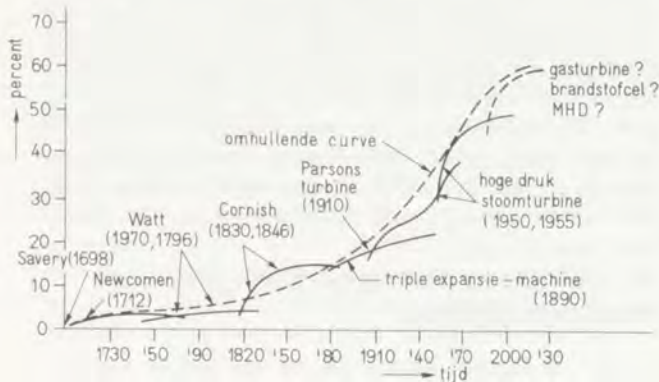


Fig. 9. Omhullende van het rendement van energieconversiesystemen [8].

Uit de twee gegeven voorbeelden kan men aflezen dat een nieuwe technologische doorbraak plaats vindt nadat de oude technologie bijna geen ontwikkeling meer te zien geeft. In zijn algemeenheid kan men hier twee conclusies aan verbinden:

- de verbetering van bestaande technologieën zwakt af naarmate men een hogere stand in de technologie heeft bereikt;
- de research is blijkbaar in eerste instantie gericht op het verbeteren van bestaande technologieën. Pas wanneer de ontwikkeling van een bestaande technologie tot stilstand komt, zoekt men naar nieuwe doorbraken.

Lanford zegt over toepassing van omhullende curven: "Each specific technology contributes a small portion to the overall functional capability growth. At best, each offers only a few data points to the long term technological growth curve and assists in understanding or interpreting the capability curve. Thus, the functional capability forecast is biased by, but not dependent upon, any particular technology" [12].

Voor de berekening van de diverse trends en de omhullende curve kan men weer gebruik maken van de in het voorafgaande gegeven methodieken.

Substitutie-curven

Bij de bespreking van de omhullende curve is reeds gebleken dat de ontwikkeling op lange termijn van een bepaalde grootte kan worden onderverdeeld in diverse stadia. Men kan figuur 8 ook als volgt interpreteren: in het begin maakte men gebruik van het paard als snelste vervoermiddel, vervolgens van treinen enz.. Men gaat bij deze redenering dus na in hoeverre, gelet

op één bepaald kenmerk, vervoermiddel A in de loop van de tijd werd vervangen door vervoermiddel B. Dit wil niet zeggen dat in het gegeven voorbeeld naast treinen geen paarden meer voorkomen, maar wel dat, gelet op het kenmerk snelheid, de trein een substituuat is gaan vormen voor vervoer te paard. Een ander voorbeeld van substitutie is het vervangen van hout door steenkool, vervolgens het vervangen van steenkool door olie enz. bij energie-opwekking. Lanford geeft in figuur 10 een voorbeeld van substitutie [12].

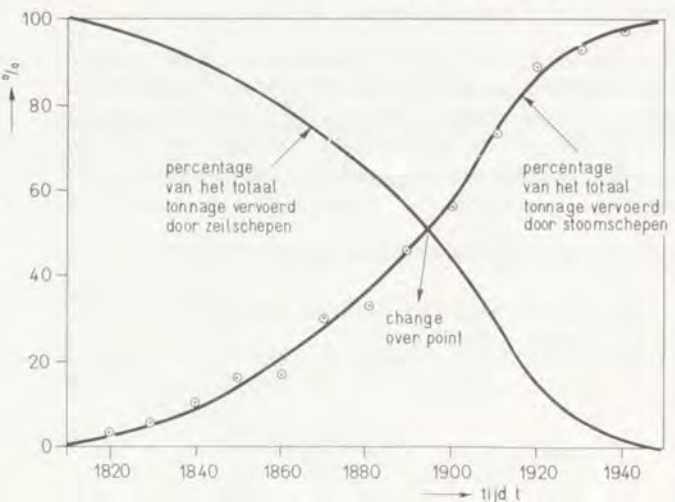


Fig. 10. Substitutie van het zeilschip door het stoomschip in het vrachtvervoer van 1810 tot 1950 [12].

In figuur 10 staat op de verticale as het percentage afgezet dat door zeil-, resp. stoomschepen is vervoerd van het totale door zeil- én stoomschepen vervoerde tonnage in de diverse jaren. Door de gevonden punten in figuur 10 worden weer trendlijnen getrokken.

Bij deze substitutie-curven hanteert men het begrip "change over point". Hieronder verstaat men dan het snijpunt van beide trendlijnen. Met behulp van dit punt kan men nagaan in welk jaar de ene grootte belangrijker wordt dan de andere, m.a.w. in welk jaar de substitutie voor 50% of meer heeft plaatsgevonden.

Een wiskundige uitdrukking voor substitutie is:

$$(16) \quad \frac{f}{1-f} = e^{2a(t-t_0)} \quad \text{ofwel} \quad \ln \frac{f}{1-f} = 2a(t-t_0)$$

waarin: f = de fractie van 1 die het substituerende produkt heeft bereikt;

t_0 = het tijdstip waarop $f = 1/2$;

a = een te bepalen constante.

De groei van f kan men als volgt weergeven:

$$(17) \quad \frac{df}{dt} = 2a(1-f)f$$

Men definieert nu de substitutietermijn als de tijd die verstrijkt om van $f=0,1$ te komen tot $f=0,9$.

Gebruik makend van een logaritmische schaal voor de verticale as, kan men de substitutie-curve weergeven door een rechte. Figuur 11 is hiervan een voorbeeld.

1) Formule (17) is dezelfde wet als formule (12), alleen nu genormeerd ($L = 1$).

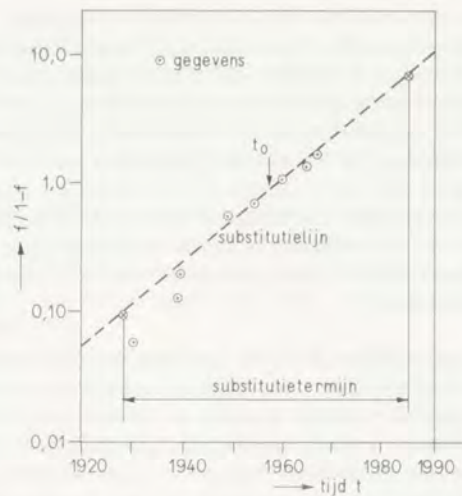


Fig. 11. Substitutie van natuurlijk leer door synthetisch leer [13].

Het is niet aannemelijk dat synthetisch leer een volledig substituut zal gaan vormen voor natuurlijk leer. Er zal altijd een markt voor natuurlijk leer blijven.

V. Trendextrapolatie door middel van verklarende variabelen

Het bezwaar dat in de voorgaande paragrafen telkens weer naar voren kwam, was het gebrek aan een duidelijke verklaring van de oorzaken van de groei-ontwikkeling. Telkens werd er gesproken over relevante factoren die van invloed waren op de ontwikkeling van een bepaalde grootte.

Bij het toepassen van trendextrapolatie is men genoodzaakt na te gaan of de vroeger van invloed zijnde factoren van kracht blijven in de toekomst.

Indien men kan aangeven welke factoren van invloed zijn op de ontwikkeling van een bepaalde grootte, dan kan men deze factoren als verklarende variabelen hanteren. De oorzaak-variabelen zijn dan de verklarende variabelen, terwijl de gevolg-variabele de te verklaren variabele is. We zullen dit weer toelichten met behulp van een gefingeerd voorbeeld. Stel de afzet y_i van een bepaald produkt wordt grotendeels verklaard door het aantal inwoners x_i van het gebied waar dat produkt wordt afgezet. De cijfermatige gegevens voor het voorbeeld zijn vermeld in tabel 7.

Tabel 7. Gegevens betreffende afzet (x 1000 stuks) en inwoners (x 1000).

jaar	inwoners x_i	afzet y_i
1960	17,5	3,2
1961	19,8	5,4
1962	19,0	2,4
1963	18,5	1,6
1964	19,1	4,0
1965	19,9	4,0
1966	20,5	5,0
1967	21	5,5
1968	21,2	5,9
1969	18,9	5,2
1970	18,4	3,2
1971	19,2	3,5
1972	20	7,0

Deze tabel is in figuur 12 als tijdsdiagram van twee variabelen weergegeven.

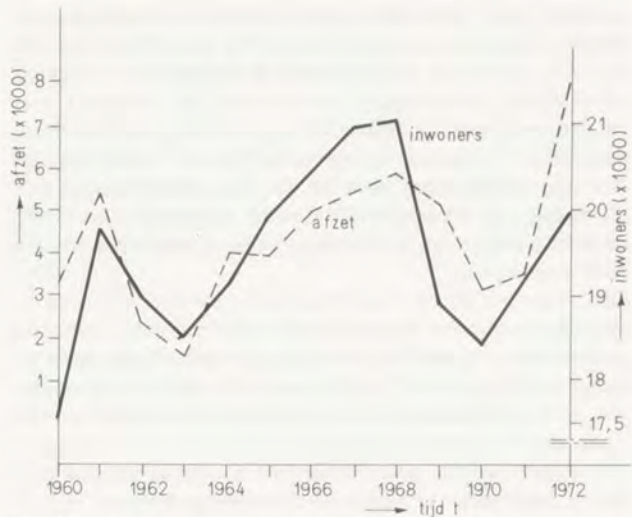


Fig. 12. Tijdsdiagram van twee variabelen (afzet en aantal inwoners).

Zetten we de grootte x_i af op de horizontale as en y_i op de verticale as, dan ontstaat het spreidingsdiagram volgens figuur 13.

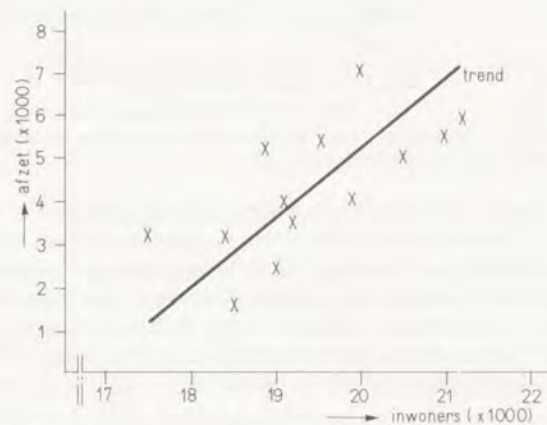


Fig. 13. Spreidingsdiagram van twee variabelen.

Men kan nu aan de puntenwolk in het spreidingsdiagram een lineaire trend aanpassen volgens de in paragraaf II gegeven methode, dus:

$$(18) y = a + bx$$

waarin: y = de waarde van de te verklaren variabele;
 x = de waarde van de verklarende variabele;
 a en b = te bepalen constanten.

Het kan zijn dat bij het uitzetten van twee grootheden in een tijdsdiagram figuur 14 ontstaat:

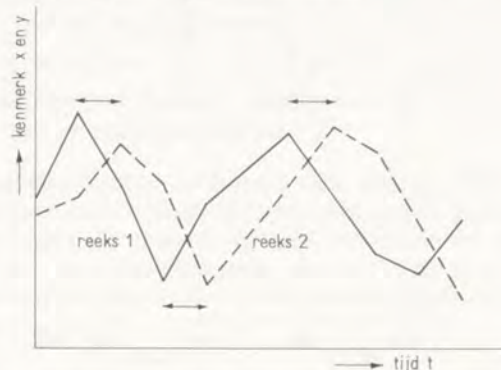


Fig. 14. Tijdsdiagram van twee variabelen die in fase verschillen.

In deze figuur geeft de gestippelde lijn het verloop van de te verklaren variabele, terwijl de getrokken lijn het verloop geeft van de verklarende variabele. Uit figuur 14 blijkt dat de te verklaren variabele als het ware vertraagd reageert op veranderingen in de verklarende variabele. Deze vertraging is in figuur 14 aangegeven door de pijlen. Men spreekt in deze situatie van een "time-lag" of faseverschil. Om nu de juiste cijfers aan elkaar te relateren, moet men een gemiddeld faseverschil berekenen.

Een voorbeeld bij technologisch verkennen waarin sprake is van een faseverschil, is de snelheid van een militair vliegtuig en de snelheid van een vliegtuig in de burgerluchtvaart. Uit analyses blijkt dat de snelheid van militaire vliegtuigen in de loop der tijd stijgt en dat deze snelheidstoename jaren later ook in de burgerluchtvaart wordt gerealiseerd. Een tijdsdiagram van beide variabelen is in figuur 15 weergegeven.

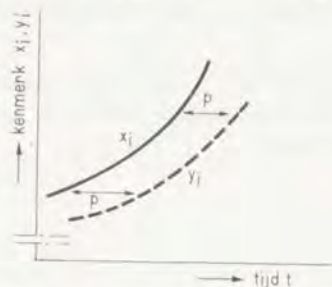


Fig. 15. Tijdsdiagram voor snelheid in de militaire luchtvaart (x_i) en in de burgerluchtvaart (y_i).

Uit figuur 15 blijkt dat de snelheid in de militaire luchtvaart als verklarende variabele te beschouwen is voor de snelheid in de burgerluchtvaart. Het gemiddelde faseverschil bedraagt p jaren. Relateert men de snelheid van militaire vliegtuigen op tijdstip $t-p$ aan de snelheid van de burgerluchtvaart op tijdstip t dan vindt men de volgende verklaringrelatie:

$$y_i = x_{i-p} + a + e_i$$

Indien de schaalindelingen van x_i en y_i dezelfde zijn, dan geldt $a=0$. We veronderstellen in de gegeven formule dat het faseverschil p constant is. Een ander uitgangspunt is dat p een functie is van de tijd.



Fig. 16. Substitutie van zeep door synthetische wasmiddelen in de Verenigde Staten en Japan van 1945 af.

Kan men de snelheid van de militaire luchtvaart in de toekomst voorspellen, dan kan men tevens de snelheid van de burgerluchtvaart p jaren later voorspellen.

Een ander voorbeeld waarin sprake is van een faseverschil is de substitutie van zeep door synthetische wasmiddelen in de Verenigde Staten en Japan. Figuur 16 laat zien dat deze substitutie in Japan op dezelfde wijze verloopt als voorheen in de Verenigde Staten. De figuur is een illustratie zowel van een historische groei-analogie, uitmondend in een faseverschil, als van een substitutie.

Tot nu toe hebben we ons beperkt tot het relateren van twee variabelen. In de eerste paragrafen hebben we voorbeelden gezien waarbij de factor tijd als variabele optreedt, immers men ging het verloop van een variabele na in de tijd. Figuur 16 geeft daarentegen een voorbeeld van een relatie waarbij sprake is van een werkelijk verklarende variabele. Men spreekt in beide gevallen van enkelvoudige regressie, d.w.z. men probeert na te gaan op welke wijze twee grootheden samenhangen. Vaak worden de termen regressie en correlatie als synoniemen gebruikt. Correlatie geeft echter alleen aan of er samenhang bestaat, maar zegt niets over de wijze van samenhang en geeft dus ook niet aan of er sprake is van een lineaire dan wel een niet-lineaire samenhang. De probleemstelling kan zodanig zijn dat een te verklaren variabele niet alleen wordt verklaard door één verklarende variabele, maar dat meer variabelen een verklaring kunnen vormen. We spreken dan, in tegenstelling tot het voorafgaande waar enkelvoudige regressie ter sprake kwam, van meervoudige regressie. Algemeen kan men dit als volgt weergeven:

$$(19) y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

De te verklaren variabele y wordt dus verklaard door n verklarende variabelen. Voor het rekenschema bij meervoudige regressie wordt verwezen naar statistische vakliteratuur op dit gebied [14, 15, 16].

VI. Niet-intuïtieve kwalitatieve methoden van technologisch verkennen

De nu volgende methoden, morfologische analyse en netwerkanalyse, zijn niet-intuïtief omdat deze, evenals trendanalyse, uitgaan van huidige of historische gegevens om tot een uitspraak over de toekomst te komen. Meestal zijn die gegevens niet cijfermatig, maar geven ze een beschrijving van een aantal toestanden die al of niet optreden of opgetreden zijn. Om deze reden zijn de hierna volgende methoden ingedeeld bij de kwalitatieve methoden van technologisch voorspellen.

De morfologische analyse

Onder morfologische analyse verstaan we het zoeken naar alle relevante relaties tussen de op dit moment bekende toestanden van een bestaand systeem teneinde via de gevonden relaties nieuwe systemen aan te geven. Door alle combinaties na te gaan stuit men wellicht op nieuwe toepassingsgebieden van bestaande technologieën. De morfologische analyse geeft dus

geen oplossingen voor nieuwe toepassingsgebieden, maar kan alleen een indicatie van een nieuwe technische toepassing geven. Het nagaan of zulk een nieuwe technische toepassing relevant is en of er mogelijkheden zijn om deze economisch toepasbaar te maken, is een stap die noodzakelijk op morfologische analyse volgt.

Lanford zegt over morfologische analyse: "The morphological approach has the advantages of all structural network approaches in that it helps to organize thinking on the problem and may suggest new alternatives" [12].

Men kan het resultaat van morfologische analyse weer geven in de vorm van matrices waarin alle mogelijke combinaties tussen de diverse toestanden worden opgenomen. We zullen aan de hand van een klein voorbeeld het principe van morfologische analyse toelichten.

Stel dat men wenst te analyseren welke soorten radio's kunnen bestaan. Daartoe definiëren we hier slechts twee grootheden, te weten energiebron en versterker. De energiebron kan bestaan uit lichtnet of batterij. De versterkersoort kan buizenversterker of transistorversterker zijn. Men kan nu de matrix opstellen zoals in tabel 8 is aangegeven.

Tabel 8. Een voorbeeld van morfologische analyse.

ENERGIEBRON		
	lichtnet	batterij
VERSTERKER		
buizen	lichtnet-buizenradio	batterij-buizenradio
transistoren	lichtnet-transistorradio	batterij-transistorradio

Uit het voorbeeld blijkt dat morfologische analyse niet meer is dan een hulpmiddel bij het systematiseren en inventariseren van technische mogelijkheden. Wordt de analyse complexer, dan verdient het aanbeveling met morfologische groepen te gaan werken. In het voorgaande voorbeeld definiëren we twee groepen nl.: p_1 = energiebron en p_2 = versterker. Vervolgens gaan we na welke mogelijkheden zich in elk van deze groepen kunnen voordoen. In morfologische groep p_1 zijn dit p_1^1 = lichtnet en p_1^2 = batterij; in morfologische groep p_2 zijn dit p_2^1 = buizen en p_2^2 = transistoren. De opstelling wordt nu



De omcirkelde en met elkaar verbonden elementen in deze morfologische opstelling vormen de combinatie lichtnettransistorradio. Men kan nu alle combinaties nagaan door elk element uit de ene groep te combineren met alle elementen uit de andere groep.

Grondlegger van de morfologische analyse is Zwicky. Hij onderscheidt bij het toepassen van morfologische analyse de volgende 5 fasen [17]:

1. Allereerst maakt men een zo nauwkeurig mogelijke omschrijving van het gestelde probleem. Dat dit een niet gemakkelijke opgave is, blijkt o.a. uit de volgende literatuuraanhaling: "The exact definition of apparently simple devices ... will be found to be a most difficult task" [17].

2. Heeft men eenmaal het probleem nauwkeurig gedefiniëerd, dan moeten in de tweede fase de van belang zijnde kenmerkende parameters (morfologische groepen) p_i worden bestudeerd en geïnventariseerd.

3. Elke parameter p_i zal blijken een aantal k_i verschillende, onafhankelijke en niet reduceerbare toestandsvariabelen $p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^{k_i}$ te bezitten. Zo kan men in het geval van een morfologische analyse van voertuigtoepassingen de morfologische groep "plaats van inzet van het voertuig" bijv. parameter p_5 omschrijven door p_5^1 = vacuum, p_5^2 = lucht, p_5^3 = water en p_5^4 = grond. Vervolgens worden deze toestandsvariabelen als volgt in morfologische groepen opgenomen:

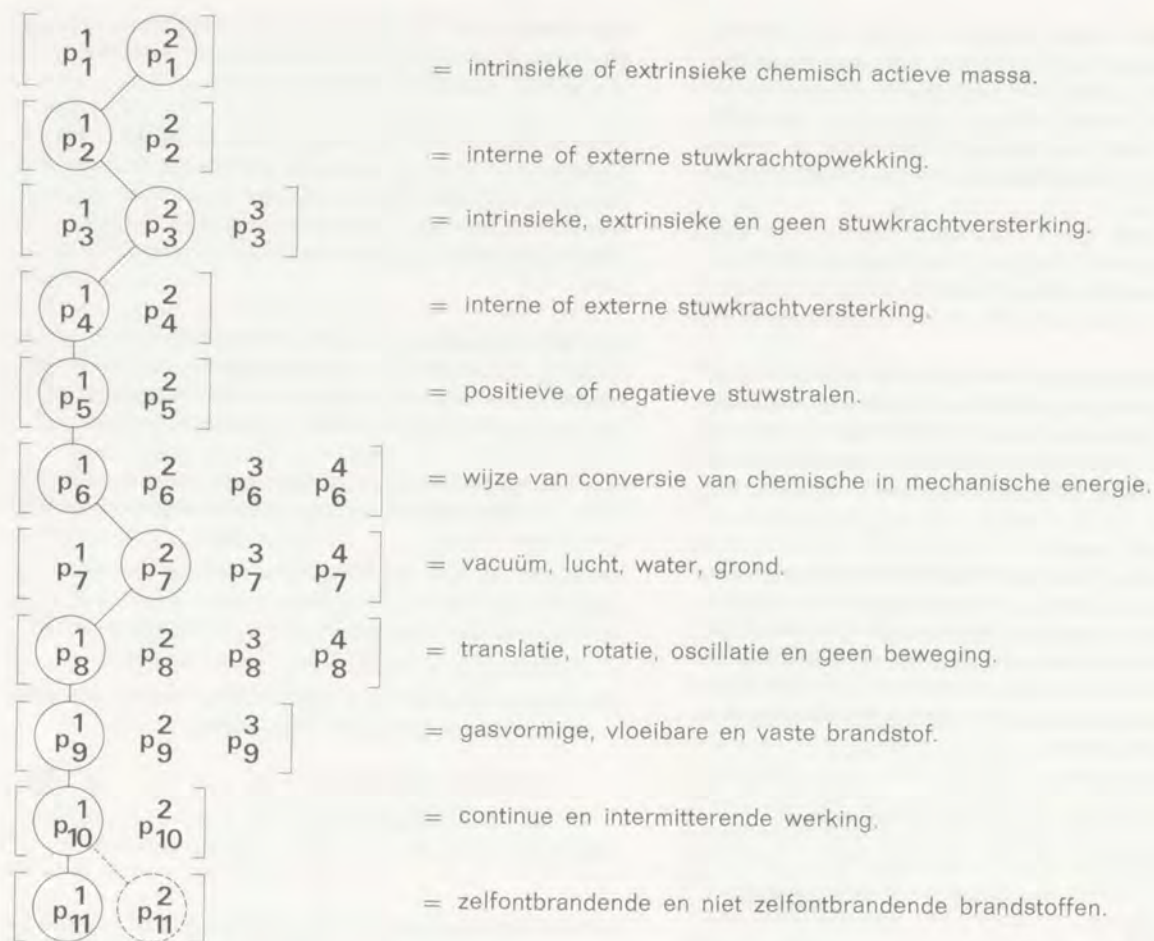
$$\begin{aligned} \text{morfologische groep 1} & \left[p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^{k_1} \right] \\ \text{morfologische groep 2} & \left[p_2^1, p_2^2, \dots, p_2^{k_2} \right] \\ & \dots \\ \text{morfologische groep n} & \left[p_n^1, p_n^2, \dots, p_n^{k_n} \right] \end{aligned}$$

Uit elke morfologische groep wordt één element omcirkeld. Elke keten van omcirkelde elementen stelt een mogelijke oplossing voor van het gestelde probleem. Tot nu toe geeft men geen antwoord op de vraag of de gevonden oplossing zinvol is en welke waarde deze oplossing heeft voor de beslisser. Te vaak wordt morfologische analyse toegepast waarbij men reeds in de stappen 1 t/m 3 een antwoord tracht te geven op de waarde van elke oplossing. In de literatuur vindt men hierover "Such premature curiosity almost always defeats the unbiased application of the morphological method" [17].

4. In de vierde fase evalueert men elk oplossingsalternatief. Deze evaluatie zal bij strategische planning een zeer globaal karakter dragen, daar een uitvoerige en gedetailleerde waardebeoordeling door het grote aantal alternatieven onuitvoerbaar is. Immers het aantal mogelijke oplossingen bedraagt, indien geen strijdigheden blijken tussen elementen uit morfologische groepen, $\prod_{i=1}^n k_i$ hetgeen voor bijv. 4 groepen bestaande uit respectievelijk 4, 5, 6 en 7 elementen $4 \times 5 \times 6 \times 7 = 840$ mogelijke oplossingen oplevert.

5. Als laatste stap selecteert men aan de hand van de geformuleerde doelstellingen een aantal gewenste oplossingen die men nader gaat evalueren en waarvoor men een gedetailleerde planning gaat opstellen. Deze laatste stap heeft met name betrekking op tactische planning.

Zwicky geeft ondermeer het volgende voorbeeld van morfologische analyse:



Het opstellen van al deze morfologische groepen gebeurt in de fasen 1 tot en met 3. De keten van omcirkelde elementen in het gegeven voorbeeld is het interplanetair aeroduct.

Zwicky attendeert de lezer op het element p_1^2 . Dit impliceert immers dat de chemische energie geheel onttrokken wordt aan de omgeving, bijv. zonne-energie, zodat het meevoeren van brandstof overbodig wordt. De vierde fase, een eerste evaluatie der alternatieven, zou voor dit voorbeeld reeds zeer veel tijd vergen omdat het aantal combinaties

$$\prod_{i=1}^{11} k_i = 2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 4 \times 3 \times 2 \times 2 = 36.864 \text{ bedraagt.}$$

Het zal duidelijk zijn dat voor een gedetailleerde evaluatie zoals dat in fase 5 moet gebeuren, slechts een beperkt aantal alternatieven mag worden gekozen.

De vijf weergegeven fasen die men bij morfologische analyse doorloopt, geven duidelijk aan dat de aaneensluiting van strategische en tactische planning bij deze methode soepel verloopt. De fasen 1 t/m 3 kan men als strategische planning aanmerken, terwijl de fasen 4 en 5 meer tot tactische planning behoren.

Fase 5, die tot een gedetailleerde waarde-evaluatie noopt, geeft kwantitatieve informatie over het gekozen oplossingsalternatief. Daarnaast stelt men bij fase 5 een uitvoeringsplanning op waarin tijd- en risico-analyse niet te ontberen elementen zijn. Kon men na fase 3 nog geen voorkeur bepalen voor de gevonden oplossingen, in fase 5 daarentegen tracht men de beste oplossingsalternatieven te selecteren, hetgeen impliceert dat de beslisser een rangorde van voorkeur kan opstellen.

Netwerkanalyse

Netwerkmethoden zijn, evenals morfologische analyse, een visuele weergave van een denkstructuur waarmee men alle relevante combinaties van diverse grootheden wil onderzoeken. Het enige verschil tussen netwerken en morfologische analyse is dat men bij netwerkanalyse bewust een rangorde in de te onderzoeken grootheden aanbrengt, terwijl dit bij morfologische analyse niet het geval is. De volgorde die men aanbrengt kan zijn oorsprong vinden in:

- verschillen in tijd. Men spreekt in deze situatie vaak van beslissingsboom ("decision tree");
- Verschillen in inhoud. In deze situatie geeft men de netwerkanalyse aan met relevantieboom ("relevance-tree").

Verschillen in tijd: de beslissingsboom

Bij de beslissingsboom worden de beslissingen gerangschikt aan de hand van de tijdstippen waarop men deze beslissingen moet nemen. Men begint met beslissingen die nu kunnen worden genomen, vervolgens beslissingen die een tijdseenheid later mogelijk zijn enz.. Om te bepalen welke actie op elk tijdstip de voorkeur verdient, rolt men de boom van achteren naar voren op. Men evalueert dus eerst de waarde van de laatste beslissingen, vervolgens de waarde van de daaraan voorafgaande beslissingen enz..

We zullen het principe van de beslissingsboom demonstreren aan de hand van het volgende voorbeeld. Stel dat een onderneming op tijdstip t_0 de keuze heeft uit het al of niet laten starten van een researchproject.

De researchkosten bedragen 300.000 gulden. Indien de onderneming het project niet aanpakt, is met zekerheid aan te nemen dat de concurrenten een technologische voorsprong zullen nemen op de onderneming, hetgeen resulteert in een omzetverlies voor de betrokken onderneming. Dit verlies aan omzet impliceert een verlies aan winst ter grootte van f 600.000.

Wordt daarentegen het researchproject wel begonnen, dan kan men na een jaar, dus op tijdstip t_1 , deze research al of niet succesvol hebben beëindigd. De kans op succes wordt getaxeerd op $3/5$, dus de kans op mislukken is $2/5$. Bij het mislukken van de research lijdt de onderneming eenzelfde omzetverlies als bij het niet aanzetten van de research. Slaagt de research echter, dan heeft de onderneming gedurende enige tijd een technologische voorsprong op de concurrenten. De onderneming kan dan op tijdstip t_1 twee dingen doen, te weten: een zeer intensieve reclamecampagne op touw zetten om het nieuwe product te introduceren, of het product zonder extra reclame op de markt brengen. Het eerste alternatief geeft met kans $1/4$ een winst van f 800.000 en met kans $3/4$ een winst van f 2.000.000. De extra kosten van de reclamecampagne zijn f 200.000. Het tweede alternatief geeft met kans $1/3$ een winst ter grootte van f 600.000 en met kans $2/3$ een winst van f 1.500.000. Bij de bepaling van de winst- en verliesbedragen is tevens rekening gehouden met het feit dat bij niet starten van research een verlies van f 600.000 optreedt.

Dit beslissingsprobleem is in de vorm van een beslissingsboom in figuur 17 weergegeven.

In figuur 17 geven de vierkanten beslissingen weer, terwijl de cirkels knooppunten van kansen aangeven. Aangenomen dat de onderneming streeft naar maximaal verwachte winst, dan berekent men de optimale beslissing als volgt.

Stel dat de research succesvol is, dan zijn er twee mogelijke acties, en wel:

- geen extra campagne, met als verwachte winst $1/3 (300.000) + 2/3 (1.200.000) = f 900.000$;
- wel een extra campagne, met als verwachte winst $1/4 (300.000) + 3/4 (1.500.000) = f 1.200.000$.

Op tijdstip t_1 kan men dus het beste een extra reclamecampagne starten, daar de verwachte winst hierbij hoger is dan wanneer men geen reclame maakt. Op

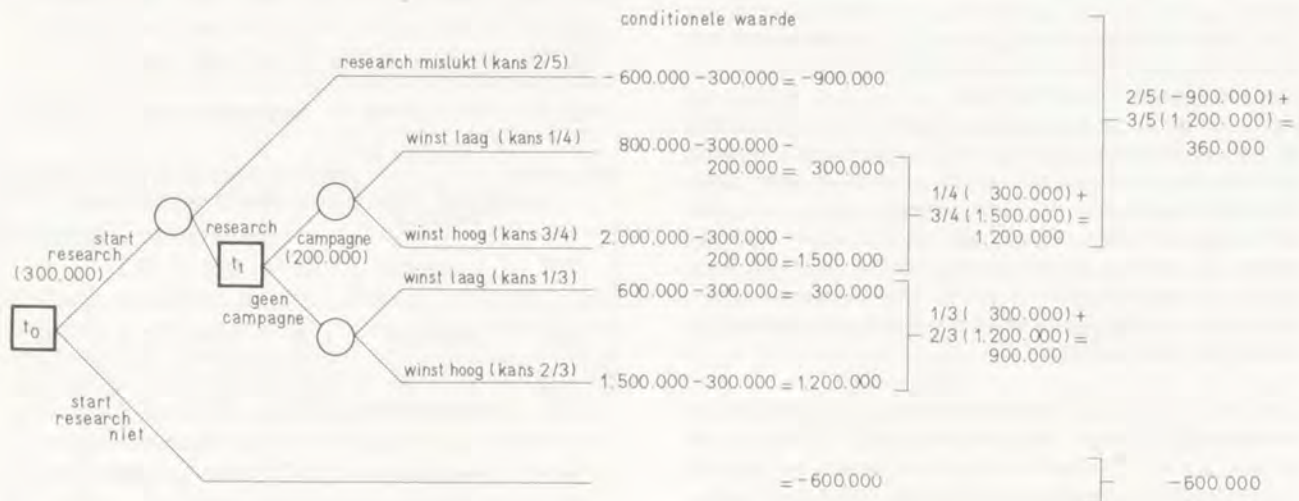


Fig. 17. Een voorbeeld van een beslissingsboom.



Fig. 18. Een beslissingsboom ter evaluatie van de kans op een technische doorbraak.

tijdstip t_0 bestaan eveneens twee mogelijke acties, nl.:
 — niet starten van research, met als verlies f 600.000;
 — wel starten van research, met als verwachte winst $2/5 (-900.000) + 3/5 (1.200.000) = f 360.000$.

Op beslissingsmoment t_0 is het starten van research derhalve beter.

Het gegeven voorbeeld is een investeringsvraagstuk waarbij het gaat om het wel of niet investeren in research, resp. in een extra reclamecampagne. In de investeringsanalyse is de beslissingsboom vaak een waardevol evaluatie-instrument.

Voor technologisch verkennen kan de beslissingsboom nuttige diensten bewijzen indien men te maken heeft met beslissingen die in de loop der tijd moeten worden genomen. Zo kan men bijvoorbeeld de kans op een technologische doorbraak evalueren uitgaande van verschillende beslissingspatronen zoals die zich in de loop der tijd aan de onderneming voordoen. Een simpel voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 18.

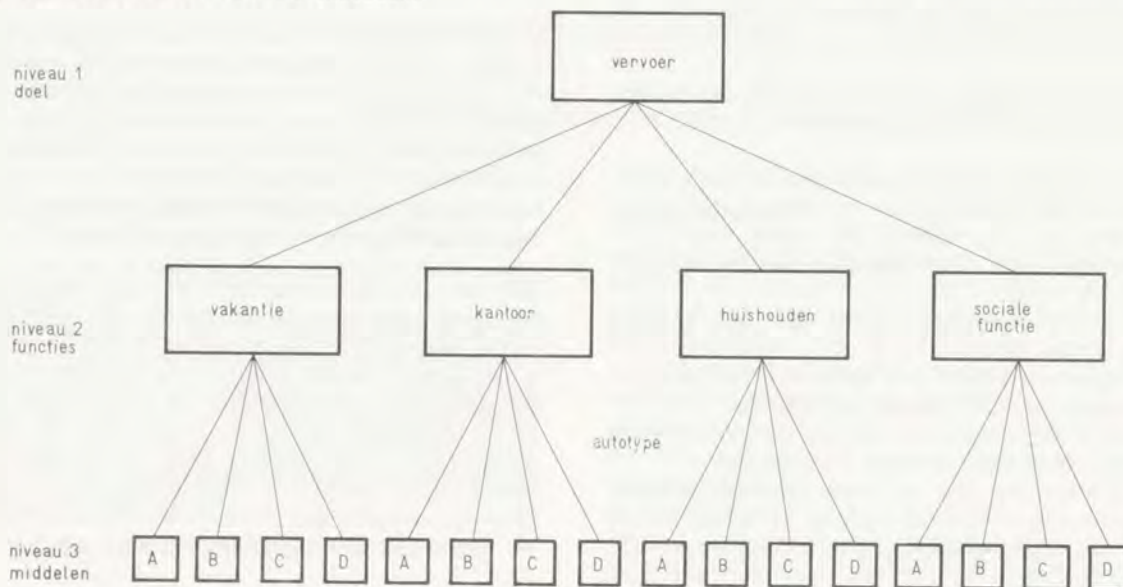
Men kan een researchproject ter hand nemen waarbij de conditionele kans op een technische doorbraak $1/5$ is. De beslissing of het project al of niet wordt gestart is een besluit van de directie, die met kans $3/4$ beslist de research te starten indien de winstpositie sterk is in het komende jaar en met kans $1/4$ het startsein geeft indien de winstpositie zwak is. De kans op een sterke, resp. zwakke winstpositie is $2/5$ en $3/5$. De kans op realisatie van de technische doorbraak is, zoals blijkt uit de beslissingsboom, gelijk aan 0,09.

Verschillen in inhoud: de relevantieboom

In deze soort netwerken kan men het probleem niet opdelen in verschillende beslissingsfasen zoals bij de beslissingsboom, maar in verschillende abstractie-niveau's. In het algemeen kan men zeggen dat men aan elke vertakking in de verschillende niveau's relevantiecijfers toekent. Via vermenigvuldiging, of in sommige gevallen optelling, der relevantiecijfers tracht men de belangrijkheid der laatste elementen van de relevantieboom te bepalen. Ook dit zullen we weer met een vereenvoudigd voorbeeld toelichten.

Stel dat een beslisser voor de keuze staat een nieuwe auto aan te schaffen. Hij heeft hierbij de keuze uit vier typen: A, B, C en D. De totale kosten, uitgaande van een driejarig gebruik van de auto, bedragen achtereenvolgens f 10.000, f 14.000, f 16.000 en f 20.000. Zou de beslisser alleen op basis van kosten beslissen, dan ligt de keuze voor de hand, nl. type A. Naast kosten echter spelen andere factoren een rol zoals snelheid, bagageruimte, comfort enz.. De beslisser wil nu al deze aspecten in zijn beslissingsprobleem betrekken. Daartoe zet hij de relevantieboom op zoals die in figuur 19 is weergegeven.

Fig. 19. Een voorbeeld van een relevantieboom.



Doel van de relevantieboom is het bepalen van het beste autotype, uitgaande van een aantal eisen die de beslisser aan het voertuig stelt.

Doel van de auto is vervoer, hetgeen men terugvindt op het eerste niveau in figuur 19. Het tweede niveau specificeert de algemene term vervoer in vier deelgebieden waarvoor de auto dienst moet doen, nl.: vacatiedoeleinden, vervoer van en naar kantoor, huishoudelijk gebruik zoals boodschappen enz. en tenslotte een sociaal gebruik zoals familiebezoeken enz.. Het derde niveau geeft het aantal autotypen waaruit de beslisser dient te kiezen.

Aan de hand van dit netwerk worden nu gewichten of relevantiecijfers aan elke tak toegekend. Stel dat de beslisser voor de vertakking van niveau 1 en 2 de relevantiecijfers toekent zoals die in tabel 9 zijn aangegeven.

Tabel 9. Een voorbeeld van toegekende relevantiecijfers.

niveau 2	vakantie	kantoor	huishouden	sociale functie
niveau 1				
vervoer	0,4	0,3	0,2	0,1

De som der toegekende relevantiecijfers behoort uiteraard gelijk te zijn aan 1. Vervolgens beoordeelt de beslisser de diverse typen auto's aan de hand van technisch prestatievermogen en comfort voor de diverse functies. Een voorbeeld van zulk een beoordeling, uitgedrukt in relevantiecijfers, is in tabel 10 gegeven.

De som der relevantiecijfers per regel is weer gelijk aan 1. In de eerste kolom van tabel 10 zijn de relevantiecijfers opgenomen van tabel 9. De relevantiecijfers voor de diverse autotypen volgen nu uit het product van cijfers in de eerste kolom van tabel 10 en in de kolom behorende bij elk autotype, dus type A:

$$0,4 \times 0 + 0,3 \times 0,4 + 0,2 \times 0,6 + 0,1 \times 0,1 = 0,25$$

type B:

$$0,4 \times 0,3 + 0,3 \times 0,4 + 0,2 \times 0 + 0,1 \times 0,2 = 0,26$$

type C:

$$0,4 \times 0,7 + 0,3 \times 0,2 + 0,2 \times 0,4 + 0,1 \times 0,2 = 0,44$$

type D:

$$0,4 \times 0 + 0,3 \times 0 + 0,2 \times 0 + 0,1 \times 0,5 = 0,05$$

Tabel 10. Een voorbeeld van toegekende relevantiecijfers.

gewicht	niveau 3	type A	type B	type C	type D
	niveau 2				
0,4	vakantie	0	0,3	0,7	0
0,3	kantoor	0,4	0,4	0,2	0
0,2	huishouden	0,6	0	0,4	0
0,1	sociale functie	0,1	0,2	0,2	0,5

Nu moeten nog de totale kosten van elk autotype in rekening worden gebracht om een beslissing te kunnen nemen.

Deelt men de kosten van elk autotype door de relevantiecijfers per type, dan ontstaan de kosten per eenheid van relevantie.

Dit levert achtereenvolgens:

$$\text{type A: } \frac{10.000}{0,25} = f \ 40.000$$

$$\text{type B: } \frac{14.000}{0,26} = f \ 53.615$$

$$\text{type C: } \frac{16.000}{0,44} = f \ 36.364$$

$$\text{type D: } \frac{20.000}{0,05} = f \ 400.000.$$

Op basis van deze berekende grootheden kiest de beslisser voor type C.

In de werkelijkheid zijn gegevens als relevantiecijfers vrijwel nooit objectief voorhanden. Een goed gevoel, intuïtie, ervaring of durf zijn beter op hun plaats. Alleen voor de prijs (vaak toch in de eerste plaats doorslaggevend) valt de keus op type A. Type C wordt toch wel gekozen als de vacantietoepassing het zwaarste weegt en de auto niet ongeschikt is voor de overige doeleinden.

Het voorgaande zeer gestyleerde voorbeeld heeft slechts tot doel de principes van de relevantieboom aan te geven.

We hebben de netwerken ingedeeld bij de kwalitatieve technieken. Deze indeling is correct als men zich bij netwerken beperkt tot het opstellen van het netwerk, dus tot de structuuranalyse. Men legt dan alleen de relaties vast die tussen de diverse niveau's bestaan. Lanford zegt over relevantiebomen: "The construction of a relevance tree results in building a hierarchy of objectives that will provide a clear view of the alternatives from which research programs can be selected" [12].

Voert men naast die structuuranalyse ook nog cijfermatige berekeningen uit via relevantiecijfers, dan kan men de methode van de relevantieboom ook indelen bij de kwantitatieve methoden. Eerste opgave is echter steeds de structuuranalyse, vandaar dat we de methode hebben ingedeeld bij de kwalitatieve methoden. Bij netwerken kan men dezelfde opmerkingen over volledigheid en eenduidigheid maken als bij morfologische analyse. Ook hier moet men expliciet de doelstelling van het netwerk, de niveau's en de vertakkingen per niveau vastleggen.

VII. Intuïtieve methoden van technologisch verkennen

Intuïtieve methoden baseren zich op uitspraken van deskundigen over mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Indien de vraagstelling die men aan deze experts voorlegt een cijfermatig antwoord verlangt, dan spreekt men van kwantitatieve methoden. Voorbeelden van een dergelijke vraagstelling zijn: in welk jaar verwacht u dat gebeurtenis X optreedt; hoeveel bedraagt de snelheid van vliegtuigen in 1980 enz.. Vraagt men daarentegen aan specialisten of een gebeurtenis wel of niet

optreedt, dan heeft men te maken met een subjectief, maar toch kwantitatief antwoord, nl. ja of nee, eventueel aangevuld met de argumentatie.

Intuïtieve methoden zijn:

Het ondervragen van een deskundige

Men laat een deskundige mondeling of schriftelijk zijn visie geven over diverse aan hem voorgelegde problemen.

Het ondervragen van meer deskundigen afzonderlijk

Men vraagt bij deze opzet meer specialisten naar hun visie, in de hoop dat meer mensen meer weten dan een enkeling. Of deze laatste stelling juist is, is nog maar zeer de vraag. Men poogt bij deze methode een zekere objectiviteit in de antwoorden te brengen door uit te gaan van een convergentie van visies van experts.

Het ondervragen van meer deskundigen door middel van een forumdiscussie

Als bezwaar tegen de eerste twee methodes kan men aanvoeren dat er geen interactie bestaat tussen de diverse specialisten. Experts kunnen zichzelf niet corrigeren in de loop van een gesprek of kunnen niet de visies van anderen aanvullen. Bij de methode van forumdiscussies tracht men dit bezwaar te ondervangen. Anderzijds ontstaan nieuwe bezwaren zoals:

- de neiging zich bij de visie van de best formulerende of meest dominerende deskundige aan te sluiten;
- de neiging zich te conformeren aan het meerderheidsstandpunt (in de Amerikaanse literatuur staat dit bekend als het "band-waggon" effect);
- de neiging tot het polariseren van visies zonder dat argumentatie ter tafel komt over het waarom van een bepaalde visie.

De Delphi-methode

De Delphi-methode is een schriftelijk onderzoek naar de meningen van diverse deskundigen en hun argumentatie. Het is als zodanig een combinatie van de eerder genoemde methoden.

Men ondervraagt in deze opzet een aantal specialisten, zonder dat deze op de hoogte zijn van elkaars antwoorden. Dit laatste dient om te voorkomen dat men zich bij de mening van die expert aansluit die bijv. als hoog gekwalificeerd bekend staat. De Delphi-procedure verloopt meestal in vier rondes. In de eerste ronde wordt aan elke deelnemer zijn visie op een aantal problemen gevraagd. Deze visie dient elke deskundige schriftelijk vast te leggen. De aldus verkregen visies worden door de leider gecompileerd en in een beknopt overzicht weergegeven. Hij poogt daarbij reeds uit de antwoorden van de eerste ronde een convergentie van visies te verkrijgen, hoewel deze visies in de meeste gevallen nogal sterk van elkaar zullen afwijken. De beknopte weergave van de antwoorden uit de eerste ronde wordt vervolgens in de tweede ronde aan de deskundigen voorgelegd met het verzoek de oorspronkelijk gegeven visie eventueel te corrigeren naar aanleiding van de resultaten uit de eerste ronde. Heeft men een sterk afwijkende visie en wenst men deze visie niet te wijzigen, dan wordt men verzocht in de tweede ronde deze afwijkende visie te ondersteunen met argumenten. De derde en vierde ronde zijn herhalingen van de tweede ronde.

In de praktijk is gebleken dat vier ronden voldoende zijn om de meningen te laten convergeren en dat er geen nieuwe gezichtspunten naar voren komen indien men het aantal ronden vergroot.

In het navolgende zullen we summier aangeven op welke wijze men bij elke ronde de mate van convergentie kan bepalen. Stel dat men in de eerste ronde van een Delphi-procedure de in tabel 11 gegeven antwoorden heeft ontvangen op de vraag: "In welk tijdvak is de gasturbinemotor praktisch toepasbaar in de personenauto?"

Tabel 11. Gefingeerde antwoorden in een Delphi-procedure.

klasse	aantal antwoorden	relatieve frequentie (in %)	cumulatieve relatieve frequentie
1970 < 1980	2	4	4
1980 < 1990	20	40	44
1990 < 2000	10	20	64
2000 < 2010	7	14	78
2010 < 2020	6	12	90
2020 < 2030	5	10	100
	50	100	

Als maatstaf voor de convergentie van visies gebruikt men nu naar keuze de mediaan of het rekenkundig gemiddelde.

De mediaan Q_2

Dit is de waarneming waarbij men 50% van de naar grootte gerangschikte waarnemingen heeft bereikt. De mediaan Q_2 ligt, zoals uit tabel 11 is te zien, tussen 1990 en 2000. In ons voorbeeld is de mediaan

$$Q_2 = 1990 + \frac{50-44}{64-44} (2000-1990) = 1993.$$

Het rekenkundig gemiddelde

In formule luidt het rekenkundig gemiddelde:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^M f_i m_i}{N}$$

waarin: f_i = frequentie in klasse i ;
 m_i = klassemidden van klasse i ;
 M = het aantal klassen;
 N = het aantal waarnemingen.

In ons voorbeeld geeft dit:

$$\frac{2(1975) + 20(1985) + 10(1995) + 7(2005) + 6(2015) + 5(2025)}{50} = 1997.$$

Als maatstaf voor de spreiding van de visies kan men naar keuze de interkwartiel afstand of de standaarddeviatie gebruiken.

De interkwartielafstand

Dit is het verschil tussen de waarnemingen waarbij men 75%, resp. 25% van de naar grootte gerangschikte waarnemingen heeft bereikt. De kwartielwaarden bij 25%, resp. 75% geven we aan met Q_1 , resp. Q_3 . De interkwartielafstand is dus $Q_3 - Q_1$. In ons voorbeeld geeft dit:

$$Q_1 = 1980 + \frac{25-4}{44-4} (1990 - 1980) = 1985,3$$

$$Q_3 = 2000 + \frac{75-64}{78-64} (2010 - 2000) = 2007,9$$

$$Q_3 - Q_1 = 22,6.$$

De standaarddeviatie

In formule uitgedrukt is de standaarddeviatie:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M f_i (m_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

In ons voorbeeld levert dit: $s = 15,0$.

Men kan nu als mate van convergentie der visies voor de volgende ronden in de Delphi-procedure de mediaan of het rekenkundig gemiddelde aangeven. Als spreiding kan men de interkwartielafstand of de standaarddeviatie hanteren. In de meeste gevallen treft men bij Delphi-procedures mediaan en interkwartielafstand aan. Aan de deskundigen die antwoorden hebben gegeven die vóór Q_1 of na Q_3 liggen, m.a.w. buiten het interval (Q_1, Q_3) liggen, wordt gevraagd hun visie nader te argumenteren. Eenzelfde procedure kan ook worden gevolgd indien het rekenkundig gemiddelde als mate van convergentie en de standaarddeviatie als mate van spreiding van visies worden gebruikt, waarbij alle antwoorden die liggen buiten het interval $(\bar{x}-s, \bar{x}+s)$ nader moeten worden geargumenteed.

Tot nu toe hebben we de Delphi-procedure beschreven als een veredelde gesprekstechniek met het doel convergentie van visies te bewerkstelligen. Men kan de Delphi-methode ook zodanig uitvoeren dat men argumenten wil verkrijgen voor en tegen de visies die in de eerste ronde sterk afwijken van de mediaan of het rekenkundig gemiddelde. Hier is niet de convergentie van visies het invoergegeven voor een volgende ronde maar de argumenten pro en contra de sterk afwijkende visies. De eerste procedure streeft naar een gemeenschappelijke visie, de tweede naar een goede argumentatie van de meest extreme visies.

Een andere toepassing van het vragen naar geconditioneerde uitspraken is het laten schatten van conditionele kansen op succes door deskundigen [18]. Om te bepalen op welke wijze de kans op succes van een bepaalde gebeurtenis aan verandering onderhevig is bij het optreden van andere gebeurtenissen, gaat men in eerste instantie na of er tussen de diverse gebeurtenissen positieve, negatieve of geen correlatie bestaat.

Vervolgens stelt men aan de deskundigen de vraag hoe de kans op succes van gebeurtenis B wordt beïnvloed door het optreden van gebeurtenis A. De gewijzigde kans op succes van B wordt weergegeven door

$$P_B^1 = f(P_B, M, R, t_A, t)$$

waarin:

P_B^1 = de kans op B na gebeurtenis A;
 P_B = de kans op B vóór gebeurtenis A;
 M = de aard van de correlatie tussen A en B;
 R = de mate van correlatie tussen A en B;
 t_A = het tijdstip in de toekomst waarop A plaatsvindt;
 t = het tijdstip in de toekomst waarvoor de nieuwe kans op B wordt geraamd.

Bij positieve correlatie tussen A en B doen zich twee mogelijkheden voor:

- A maakt B mogelijk;
- A roept B op.

Bij negatieve correlatie tussen A en B kunnen zich eveneens twee mogelijkheden voordoen, n.l.:

- A maakt B onmogelijk;
- A maakt B onaantrekkelijk.

Een voorbeeld van de beïnvloeding van de kansen geeft tabel 12. Hier zijn de ontwikkelingen D_i :

D_1 = lange termijn (een maand) weersverwachting;

D_2 = weersbeïnvloeding op beperkte schaal;

D_3 = algemene biochemische immunisatie;

D_4 = voorkoming van oogtschade door het weer.

Men kan nu de in tabel 12 weergegeven kruiscorrelatiematrix opstellen uit de antwoorden der deskundigen [18].

Tabel 12. Een voorbeeld van kruiscorrelatiematrix.

Als deze ontwikkeling tot stand komt.....	dan is de invloed op de waarschijnlijkheid van:			
	D_1	D_2	D_3	D_4
D_1	—	nihil	nihil	positief
D_2	positief	—	nihil	positief
D_3	nihil	nihil	—	nihil
D_4	nihil	nihil	nihil	—

Uit deze matrix is o.a. af te lezen dat bij een beperkte weersbeïnvloeding (D_2) de kans van optreden van D_1 (weersverwachting) en D_4 (voorkoming van oogtschade) stijgt.

VIII. Slot

In het voorgaande zijn op beknopte wijze enkele methoden van technologisch verkennen uiteengezet. Naast de behandelde methoden bestaan er ingewikkelder verkenningmethoden zoals het simultaan schatten van een stelsel van relaties tussen diverse grootheden. Men heeft in deze situatie een model, bestaande uit een veelheid van relaties, dat in zijn totaliteit een verkenning oplevert. Wordt de wiskundige oplossing van zo'n model onmogelijk, dan past men vaak simulatie toe om de oplossing te verkrijgen. Men speelt daartoe meestal met de computer een groot aantal situaties na. Het voordeel van dergelijke modellen is ondermeer gelegen in het feit dat men rekening kan houden met terugkoppeling. Men gaat hierbij dus expliciet na wat de consequenties zijn van een bepaalde ontwikkeling van de ene grootheid op de andere grootheden. Het gegeven voorbeeld van de kruiscorrelatiematrix was een eerste aanzet om deze effecten na te gaan, hoewel we ons daarbij beperkten tot het aangeven van positieve, negatieve of geen invloed. De effecten werden dus niet gekwantificeerd.

Een andere vaak in de literatuur genoemde methode is de speltheorie. Hierbij moeten meer partijen elk voor zich een optimale strategie formuleren, daarbij rekening houdend met de mogelijke strategieën die de

tegenspeler kan volgen. Tegenspeler kan ook de natuur zijn, bijv. in de vorm van de diverse weersgesteldheden die kunnen optreden. Voor de toepassing van deze modellen verwijzen we naar de literatuur. Vooralnog zijn de praktische toepassingen van deze theorie naar onze mening zeer beperkt.

In het hierna volgende hoofdstuk 3 worden enkele bezwaren en voordelen geformuleerd die aan de besproken voorspelmethode kleven.

Aanhangsel 1: Het lineaire model met een verklarende variabele

In dit aanhangsel worden de formules (8), (9) en (10) uit hoofdstuk 2 afgeleid. Tevens worden enkele voorwaarden gegeven waaraan moet zijn voldaan, wil men met succes een trend kunnen aanpassen.

Onderstellingen bij toepassing van trendextrapolatie

Onderstelling 1

De waarnemingen (y_i, t_i) moeten foutloos zijn geschied. Dit lijkt gemakkelijker dan het in werkelijkheid is. De meest voorkomende moeilijkheid bij het vergaren der cijfers is het intern consistent maken van de gemeten waarden, d.w.z. de waarden moeten alle op dezelfde wijze gedefinieerd en dienovereenkomstig gemeten worden. Nu is de kans groot dat men in de loop van de tijd kenmerken op een andere wijze is gaan registreren. Is dit het geval, dan zal men ofwel de gemeten waarden moeten corrigeren in zoverre er definitiever schillen zijn opgetreden, dan wel gemeten waarden uit de analyse moeten weglaten indien een correctie onmogelijk is. Dit laatste betekent echter vaak een aanzienlijk informatieverlies.

Onderstelling 2

De kansverdeling van de storingstermen e_i voor $i = 1, 2, \dots, N$ moet onafhankelijk zijn van i en van de waarde van de verklarende variabele t_i . De verwachtingswaarde van de e_i wordt ondersteld nul te zijn, terwijl de variantie s_e^2 bedraagt. Verder wordt meestal ondersteld dat e_i normaal is verdeeld.

Onderstelling 3

De e_i en e_j moeten voor alle $i \neq j$ onderling onafhankelijk zijn, d.w.z. er mag geen relatie tussen de storingstermen bestaan. Anders geformuleerd: de covariantie tussen e_i en e_j , $\text{cov}(e_i, e_j)$, is gelijk aan nul.

Afleiding der formules

Uitgaande van de bovengenoemde drie onderstellingen, moet men allereerst de constanten a en b schatten. Zoals we eerder zagen geven we de geschatte waarden aan met \hat{a} en \hat{b} .

De methode van de kleinste kwadraten minimaliseert de som van de gekwadraterde storingstermen, dus:

$$(A.1) \text{ minimaliseer } S = \sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N \{y_i - \hat{a} - \hat{b} t_i\}^2$$

Om het bovenstaande te minimaliseren, stellen we de partiële afgeleiden gelijk aan nul, dus:

$$(A.2) \frac{\partial S}{\partial \hat{a}} = 2 \sum_{i=1}^N [y_i - \hat{a} - \hat{b} t_i] = 0$$

$$(A.3) \frac{\partial S}{\partial \hat{b}} = 2 \sum_{i=1}^N [y_i - \hat{a} - \hat{b} t_i] t_i = 0$$

Hieruit volgen de zogenaamde normaalvergelijkingen:

$$(A.4) \sum_{i=1}^N y_i = N\hat{a} + \hat{b} \sum_{i=1}^N t_i$$

$$(A.5) \sum_{i=1}^N t_i y_i = \hat{a} \sum_{i=1}^N t_i + \hat{b} \sum_{i=1}^N t_i^2$$

Indien we nu voor $\sum_{i=1}^N t_i$, resp. $\sum_{i=1}^N y_i$ de termen $N\bar{t}$, resp. $N\bar{y}$ substitueren omdat geldt $\sum_{i=1}^N t_i/N = \bar{t}$ en $\sum_{i=1}^N y_i/N = \bar{y}$, dan ontstaan de volgende formules:

$$(A.6) \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}$$

$$(A.7) \hat{a} = -\hat{b}\bar{t}$$

Met behulp van onderstellingen 2 en 3 kan men bewijzen dat geldt $E(\hat{a}) = a$ en $E(\hat{b}) = b$, m.a.w. de verwachtingswaarde van \hat{a} en \hat{b} is gelijk aan a en b .

Zoals we zagen stemmen de waargenomen waarde y_i en de uit de trendvergelijking berekende waarde y_i^* niet steeds overeen. Het verschil tussen waargenomen en berekende waarde is gelijk aan

$$(A.8) y_i - y_i^* = (y_i - \bar{y}) - (y_i^* - \bar{y})$$

Kwadrateert men de termen in formule (A.8) en sommeert men over $i=1, 2, \dots, N$, dan volgt hieruit na enig herleiden:

$$(A.9) \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^*)^2 + \sum_{i=1}^N (y_i^* - \bar{y})^2$$

De linkerterm van de vergelijking geeft de variatie van de y_i rond het gemiddelde \bar{y} . De eerste term aan de rechterzijde is de variatie van de y_i rond de aangepaste regressielijn y_i^* . De laatste term is de variatie der uit de regressievergelijking berekende y_i^* rond het gemiddelde \bar{y} . Men stelt nu

$$(A.10) R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i^* - \bar{y})^2}$$

Indien alle waarnemingen namelijk op de berekende trendlijn liggen, dan geldt dat de term

$$\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^*)^2$$

gelijk is aan nul, immers er treden geen variaties op van de waargenomen waarden t.o.v. de berekende trend. De grootte R^2 is in dit geval gelijk aan 1. Men hanteert dan ook de grootte R^2 als een maatstaf om de kwaliteit van de trendaanpassing te meten.

De formule (10) voor R^2 kan men als volgt afleiden:

$$(A.11) s_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N-2} = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_i^*)^2}{N-2}$$

waarin: s_e^2 = de variatie van de storingstermen (residuvariantie).

De teller in formule (A.11) kan men schrijven als:

$$(A.12) \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^*)^2 = \sum_{i=1}^N [(y_i - \bar{y}) - (y_i^* - \bar{y})]^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^N (y_i^* - \bar{y})^2 - 2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(y_i^* - \bar{y})$$

Houdt men rekening met het feit dat geldt $y_i^* - \bar{y} = b(t_i - \bar{t})$, dan kan men formule (A.12) na enig herleiden schrijven als:

$$(A.13) \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^*)^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 - b^2 \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2$$

Hierin is

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = (N-1) s_y^2 \text{ en } \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 = (N-1) s_t^2$$

Gebruik makend van dit laatste kan men formule (A.11) herschrijven tot:

$$(A.14) s_e^2 = \frac{(N-1) s_y^2 - b^2 (N-1) s_t^2}{N-2} = \frac{(N-1)}{(N-2)} s_y^2 \left\{ 1 - b^2 \frac{s_t^2}{s_y^2} \right\}$$

of

$$(A.15) s_e^2 = \frac{(N-1)}{(N-2)} s_y^2 \left\{ 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \right\} = \frac{(N-1)}{(N-2)} s_y^2 \{1 - R^2\}$$

Aangezien de residuvariantie steeds kleiner is dan de s_y^2 , geldt $R^2 \leq 1$. De term $(1-R^2)$ is dat deel van de totale fluctuaties van y_i dat niet door de regressievergelijking wordt verklaard. Velen prefereren deze term boven R^2 als een maatstaf om de kwaliteit van de trendaanpassing te beoordelen, omdat de correlatiecoëfficiënt al snel de indruk kan wekken dat de trendaanpassing zeer goed is ofschoon de residuvariantie groot is.

Aanhangsel 2: Toetsen en betrouwbaarheid bij regressie¹⁾

In aanhangsel 1 is de berekening van a en b weergegeven. We hebben de geschatte waarden voor deze constanten aangegeven met \hat{a} en \hat{b} . Nu kunnen deze geschatte waarden afwijken naar boven en beneden. Men kan bewijzen dat de standaarddeviatie van \hat{a} , resp. \hat{b} gelijk is aan

$$(B.1) \quad s_{\hat{b}} = \sqrt{\frac{s_e^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}}$$

$$(B.2) \quad s_{\hat{a}} = \sqrt{\frac{s_e^2}{N} \left[1 + \frac{N \bar{t}^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \right]}$$

Men kan weer stellen dat de grootheden $s_{\hat{b}}$ en $s_{\hat{a}}$ geschatte waarden zijn van de werkelijke standaarddeviaties.

Met behulp van de formules (B.1) en (B.2) kunnen we nu het $100(1-\alpha)$ betrouwbaarheidsinterval bepalen voor de constanten a en b door de volgende berekening:

$$(B.3) \quad \hat{b} \pm t(N-2, 1-\frac{1}{2}\alpha) s_{\hat{b}}$$

$$(B.4) \quad \hat{a} \pm t(N-2, 1-\frac{1}{2}\alpha) s_{\hat{a}}$$

waarin $t(N-2, 1-\frac{1}{2}\alpha)$ betekent het $(1-\frac{1}{2}\alpha)$ -ste percentiel van de t-verdeling met N-2 vrijheidsgraden.

Uit het gegeven voorbeeld in tabellen 5 en 6 volgt:

$$s_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N-2} = \frac{258.400.000}{11-2} = 28.711.111,1 \quad (\text{zie formule (A.11)}).$$

Hieruit kan men met behulp van formules (B.1) en (B.2) berekenen

$$s_{\hat{b}} = 510,892 \quad \text{en} \quad s_{\hat{a}} = 3.465,035$$

Gaan we uit van $\alpha=0,05$, hetgeen overeenkomt met $t(N-2, 0,975) = 2,262$, dan geven (B.3) en (B.4):

$$1244,34 = 2400 - 2,262 \times 510,9 \leq \hat{b} \leq 2400 + 2,262 \times 510,9 = 3555,66$$

$$61.762,1 = 69.600 - 2,262 \times 3.465,035 \leq \hat{a} \leq 69.600 + 2,262 \times 3.465,035 = 77.437,9.$$

De werkelijke a en b liggen met 95% zekerheid binnen de berekende betrouwbaarheidsgrenzen. Het blijkt dat $\hat{a}=0$ eveneens in het interval ligt.

Op een soortgelijke manier als hierboven kan men betrouwbaarheidsintervallen construeren voor de berekende regressielijn. Dit verloopt als volgt:

Voor de berekende regressielijn geldt:

$$(B.5) \quad y_p^* \pm t(N-2, 1-\frac{1}{2}\alpha) s_e \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(t_p - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}}$$

¹⁾ Bij deze beschouwing is geen rekening gehouden met veranderingen in waarden en normen. Deze zijn hier dus als constant beschouwd. Zie hoofdstuk 4 voor de wijze waarop deze veranderingen kunnen worden gezien.

hetgeen het betrouwbaarheidsinterval aangeeft voor de waarde y_p behorend bij de waarde t_p waarbij t_p een waarde is die ligt tussen de maximale en minimale t_i van de oorspronkelijke waarnemingen.

Voor voorspellingen y_k geldt:

$$(B.6) \quad y_k^* \pm t(N-2, 1-\frac{1}{2}\alpha) s_e \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(t_k - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}}$$

In het voorbeeld levert dit, uitgaande van $\alpha=0,05$:

Berekening betrouwbaarheidsgrenzen

jaar	y^*_i	bovengrens	benedengrens
1962	72.000	78.836,0	65.164,0
1963	74.400	80.292,6	68.507,4
1964	76.800	81.837,3	71.762,7
1965	79.200	83.524,0	84.876,0
1966	81.600	85.432,8	77.767,2
1967	84.000	87.654,4	80.345,6
1968	86.400	90.232,8	82.567,2
1969	88.800	93.124,0	84.476,0
1970	91.200	96.237,3	86.162,7
1971	93.600	99.492,6	87.707,4
1972	96.000	102.836,9	89.163,1
1973	98.400	112.833,9	83.966,1
1974	100.800	115.823,3	85.776,7
1975	103.200	118.875,8	87.524,2
1976	105.600	121.984,0	89.216,0

Voor een grafische weergave van deze tabel zij verwezen naar figuur 5.

Aanhangsel 3: Enkele vaak voorkomende regressievergelijkingen

Er bestaat in principe een veelheid van curven die men aan een puntenwolk van gegevens kan aanpassen. Een eenvoudige en snelle procedure is die waarbij men m.b.v. een computer een aantal curven probeert en die curve kiest die de beste aanpassing geeft. Helaas is deze werkwijze ook de meest onzinnige, omdat **doen** hier belangrijker is dan **denken**. Eerder is opgemerkt dat de eerste vraag dient te zijn "Wat moet ik verkennen?" Dit impliceert dat men in eerste instantie op

grond van logische analyse moet komen tot een acceptabele curve, die daarna wordt geverifieerd met het beschikbare cijfermateriaal.

Het ligt voor de hand groeifuncties te hanteren bij de verkenning van technologische ontwikkelingen. Voorbeelden van enkele groeifuncties zijn

$$(C.1) \quad y = e^{a_0 + a_1 t} \quad \frac{dy}{dt} = a_1 y$$

$$(C.2) \quad y = \frac{1}{a_0 + a_1 t} \quad \frac{dy}{dt} = -a_1 y^2$$

waarbij y = de waarde van de parameter die de stand van de onderzochte techniek aangeeft;
 t = de waarde van de tijdvariabele;
 a_0 en a_1 = te bepalen constanten.

Analyseert men deze functies nader, dan blijkt de groei een functie te zijn van de bereikte stand van de techniek. Dit op zichzelf is niet zo vreemd als men bedenkt dat de kennis toeneemt naarmate de technische ontwikkeling voortschrijdt. De aanwezige kennis kan op haar beurt nieuwe impulsen geven aan de technische ontwikkeling. Indien $a_1 > 0$ heeft (C.1), resp. (C.2) geen bovengrens, resp. een ondergrens. Het ontbreken van een limiet kan een bezwaar zijn bij het verkennen van technische vooruitgang, omdat in vele gevallen a priori een limietwaarde is aan te tonen. De hierna volgende groeifuncties houden daarom wel rekening met een limiet. Verder hebben deze volgende functies de eigenschap dat de groei niet alleen afhankelijk is van de bereikte stand van de techniek, maar tevens van het verschil tussen de limietwaarde L en het bereikte niveau y [19].

De gemodificeerde exponentiële kromme

$$(C.3) \quad y = L(1 - e^{-at}); \quad \frac{dy}{dt} = -a(L - y).$$

Hier is de groei slechts afhankelijk van het verschil tussen de limietwaarde en de bereikte stand der techniek. Voor $a < 0$ stijgt de functie monotoon en nadert de bovengrens L .

De logistische kromme

$$(C.4) \quad y = \frac{L}{1 + e^{a_0 + a_1 t}}; \quad \frac{dy}{dt} = \frac{-a_1}{L} y(L - y).$$

Hier voldoet de groei aan beide gestelde voorwaarden. Bij $a_1 < 0$ is de groei in eerste instantie progressief, later degressief. De overgang van progressieve naar degressieve groei vindt plaats bij $y = \frac{L}{2}$, dus als y de helft van de limietwaarde heeft bereikt.

De log-inverse functie

$$(C.5) \quad y = e^{a_0 + a_1/t}; \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{1}{a_1} y (\ln L - \ln y)^2.$$

waarbij $e^{a_0} = L$.

De functie heeft een buigpunt voor $y = L e^{-2}$. Het buigpunt wordt dus eerder bereikt dan de helft van de limietwaarde.

Een variant op deze curve is

$$(C.6) \quad y = L \frac{1}{e^{a_0 + a_1/t}}; \quad \frac{dy}{dt} = -a_1 y (\ln L - \ln y)^2$$

De Gompertz-curve

$$(C.7) \quad y = e^{a_0 + a_1 e^t}; \quad \frac{dy}{dt} = y \ln |c| (\ln y - \ln L)$$

waarbij $L = e^{a_0}$ en $0 < c < 1$.

Ook hier wordt het buigpunt eerder bereikt dan de limietwaarde, nl. bij $y = L e^{-1}$.

Uit het voorgaande blijkt dat men bij het aanpassen van curven zoekt naar een logische verklaring van de groei. Een curve die niet interpreteerbaar is, kan moeilijk dienen als voorspellingsmethode, hoe goed de aanpassing van een dergelijke curve aan het historisch cijfermateriaal ook moge zijn.

Aanhangsel 4: Het voorspellen van limieten

In vele gevallen is het evident dat een groeiontwikkeling niet zodanig kan zijn dat de te verklaren variabele een oneindige waarde kan aannemen. Er bestaat dan nl. een bovengrens waarvan niet duidelijk is dat deze ooit kan worden doorbroken. Op dezelfde wijze kan voor een bepaalde grootte een benedengrens bestaan.

Reeds eerder zagen we bij de bespreking van de curve van Pearl een limiet waar als technologische parameter de snelheid in kilometers per uur was genomen. Deze bovengrens werd bepaald door fysische wetten. Het was dus een technische barrière die niet kan worden doorbroken.

Naast technische barrières kan men worden geconfronteerd met andere soorten limieten zoals economische, sociale en politieke. Zo zal de afzet van een duurzaam produkt na verloop van tijd stagneren daar iedere consument reeds een dergelijk artikel bezit. Men heeft dan a.h.w. de bovengrens van de behoefte bereikt. Een andere barrière kan de maximaal toelaatbare luchtvervuiling zijn die door de overheid bij een bepaald productieproces wordt getolereerd.

Zijn technische barrières vaak nog af te leiden uit de natuurkundige of chemische wetten, de andere soorten limieten zijn veel moeilijker te kwantificeren. Zij zijn immers het resultaat van menselijke beslissingen, die in de eerste plaats steeds aan verandering onderhevig zijn en in de tweede plaats moeilijk voorspelbaar zijn.

Stuit men bij de probleemstelling op het bestaan van limieten, dan kan men het beste de waarde van de te verkennen variabele y vergroten indien y bijna de limiet heeft bereikt. Immers de variaties in y worden in de buurt van de limiet zo gering, dat afrondingsfouten in de regressieconstanten gemakkelijk tot grove fouten kunnen leiden. Het vergroten der y -waarden staat in de literatuur bekend als micro-onderzoek. Meestal vergroot men de y -waarden door middel van een transformatie. Men definieert dan een nieuwe variabele Y , die een functie is van de oorspronkelijk te verkennen grootte y . De gemakkelijkste transformatie is uiteraard een lineaire, waarbij $Y = c y$ en c een groot getal is. Daar de meeste groeicurven exponentieel zijn, hanteert men vaak een logaritmische transformatie, waardoor lineaire regressie mogelijk wordt.

Hoofdstuk 3. De evaluatie van methoden van technologisch verkennen

door drs. Th. M. A. Bemelmans

I. Inleiding

Een kritische evaluatie van technologisch verkennen is zeer moeilijk, daar gedegen praktijktoepassingen voornamelijk ontbreken. Toch zullen we in dit deel trachten aan te geven welke toepassingsmogelijkheden elke methode van technologisch verkennen biedt en welke voor- en nadelen aan elke methode kleven.

In het navolgende onderscheiden we het toepassingsgebied der methoden in strategische en tactische planning. Het onderscheid strategisch versus tactisch is gradueel. Men kan stellen dat strategische planning in hoofdzaak is georiënteerd op het meer expliciet maken van de ondernemingsvisie, resp. de overheidsvisie, en het afbakenen van mogelijkheden, zonder al te diep in te gaan op de evaluatie van die mogelijkheden. Tactische planning daarentegen houdt zich bezig met het formuleren van concrete deelstrategieën als eenmaal de ondernemingsvisie, resp. de overheidsvisie en de mogelijkheden bekend zijn. Wat het kenmerk tijd betreft, kan men stellen dat strategische planning doorgaans het karakter van lange termijnplanning draagt hoewel daarmee niet gezegd is dat strategische en lange termijnplanning elkaars synoniem zijn.

Voor het strategische planniveau beperken we ons tot drie methoden van verkennen, te weten de Delphi-methode, de relevantieboom en de morfologische analyse. Deze beperking wil niet zeggen dat deze drie methoden ongeschikt zijn voor tactische planning of dat andere methoden, zoals trend-analyses, onbruikbaar zijn voor strategische planning. De toepasbaarheidsgrens der technieken is evenmin scherp te trekken als het onderscheid tussen strategisch en tactisch. De redenen dat we in eerste instantie slechts drie technieken als bruikbaar aanmerken voor strategische planning zijn:

- Deze drie methoden honoreren de inbreng van intuïtieve meningen en zijn meer een hulpmiddel voor logische analyse dan een voorspelmethode.
- Kwalitatieve data kunnen worden verwerkt. Dit is iets waar men bij strategische planning mee te maken zal krijgen, daar men op dit niveau wordt geconfronteerd met nog niet afgebakende problemen.
- De beslissingsvoorbereider kan zelf bepalen welke mate van uitgebreidheid hij zal kiezen. Bij strategische planning is het gezichtsveld van de planning zeer groot. Daardoor dreigen de probleemgebieden al snel onoverzichtelijk te worden, hetgeen vaak leidt tot een speculatieve en niet gemotiveerde planning (planningsinflatie). Een te grote uitgebreidheid van de strategische planning kan men voorkomen door na elke fase in deze planning de resultaten uit die fase te plaatsen in een totaalplan en zich vervolgens kritisch af te vragen of de resultaten nog relevant zijn voor de onderneming, in het licht van haar ondernemingsvisie en de afgebakende behoeften waarin de onderneming wil voorzien. Op deze manier brengt men de noodzakelijke terug-

koppeling tussen de diverse planningsfasen en planniveau's tot stand.

Het mag misschien verwondering wekken dat we trendextrapolatie en regressie zien als hulpmiddel bij het opstellen van tactische plannen en niet als hulpmiddel bij strategische planning. We menen echter dat genoemde beperking in de meeste gevallen van kracht is en wel om de volgende redenen:

- Trendextrapolatie en regressie zijn gebaseerd op kwantitatieve gegevens in het verleden. Men signaleert slechts verklarende factoren zoals die in het verleden golden, zodat men alleen die toekomstige ontwikkelingen kan aangeven die worden veroorzaakt door diezelfde, historische, verklarende variabelen. Anders geformuleerd: men kan met deze beide methoden alleen de toekomst omschrijven in zoverre die in het verleden reeds ligt opgesloten. Uit dien hoofde menen we dat trendextrapolatie en regressie, zo deze methoden al zinvol kunnen worden toegepast qua voorspelling, alleen betekenis hebben voor kortere termijn.
- Trendextrapolatie en regressie maken het niet mogelijk naast kwantitatieve gegevens ook kwalitatieve informatie op te nemen in het voorspellingsmodel.

Naast het onderscheid met betrekking tot het toepassingsgebied in strategisch versus tactisch, spelen de volgende criteria een rol bij de evaluatie van methoden van technologisch verkennen.

A. Normatief versus exploratief verkennen

In hoofdstuk 1 zagen we dat normatief technologisch verkennen inhoudt dat de onderneming allereerst haar toekomstige omgeving inventariseert en afbakent en vervolgens nagaat in welke behoefteterreinen zij wil gaan voorzien.

Als laatste fase volgt dan het inventariseren van technische mogelijkheden om in deze behoeften te voorzien. Volgt men de omgekeerde procedure, dan is er sprake van exploratief verkennen. Bij de hiernavolgende evaluatie zullen we telkens aangeven welke voorspelmethode bruikbaar is voor normatief, resp. exploratief technologisch verkennen.

B. De aard van de gegevens

Bij elke methode zal worden nagegaan wat de aard is van de benodigde invoergegevens en van de uit het model resulterende uitkomsten. We houden hierbij de reeds eerder gemaakte onderscheiden aan tussen kwantitatieve en kwalitatieve en tussen niet-intuïtieve en intuïtieve gegevens.

C. Tijd- en risico-analyse

Hierbij wordt voor elke methode nagegaan of in deze methode een tijd- en/of risico-analyse zit opgesloten. Tijdanalyse wil zeggen dat de methode een indicatie

geeft van de ontwikkeling van de voorspelde grootheid in de tijd en/of dat men een tijdschema kan opstellen van de activiteiten die nodig zijn om een strategie ten uitvoer te brengen.

Risico-analyse duidt aan dat de methode analyseert of, en zo ja in welke mate, de voorspelde grootheid met risico is behept.

D. Uitvoeringscriteria

Hieronder verstaan we alle voor- en nadelen bij de uitvoering in de praktijk. Onder dit hoofd zullen we voor elke methode een indicatie geven van de hoeveelheid gegevens die men moet vergaren en hoeveel tijd en mankracht het uitvoeren van een verkenning vergt. De aangegeven letters A t/m D vindt men bij de bespreking van elke methode terug. We besluiten telkens de bespreking van elke methode van technologisch verkennen met een schematisch overzicht van alle gemaakte opmerkingen. In eerste instantie beperken we ons tot verkennen van technologische ontwikkelingen. Pas in paragraaf VI zal in grote lijnen worden aangegeven op welke wijze de verkenning van toekomstige behoeft patronen en van de toekomstige omgeving van de onderneming kan worden ingepast in het totaalbeeld.

II. Trendextrapolatie en regressie-analyse

In het voorgaande is gebleken dat we trendextrapolatie en regressie meer als hulpmiddelen beschouwen voor tactische planning. We benadrukken nogmaals dat beide methoden geconditioneerde uitspraken opleveren; immers de berekende trend voor de toekomst is alleen dan juist, indien de factoren die van invloed waren in het verleden, op eenzelfde wijze van kracht blijven voor de toekomst. Aan deze veronderstelling wordt maar al te vaak voorbijgegaan bij de interpretatie van de verkregen uitkomsten, met alle gevolgen van dien voor de gedegenheid van de planning. Men hangt zich dan op aan de resultaten van de verkenning zonder zich te bezinnen op de onderliggende veronderstellingen.

Een tweede aspect dat noopt tot uiterste voorzichtigheid bij het interpreteren van regressieresultaten, is het feit dat men in een regressiemodel meestal slechts enkele van de relevante verklarende factoren heeft kunnen opsporen. Het behoeft geen betoog dat het ontbreken van verklarende factoren een prognose ernstig kan vertekenen.

Reeds eerder is gesteld dat bij technologisch verkennen op de eerste plaats de vraag: "Wat moet ik verkennen" relevant is en pas daarna de vraag: "Welke methode moet ik hanteren".

Bij trendextrapolatie en regressie zal men eerst op grond van een logische analyse van het probleem moeten komen tot de definiëring van de verklarende variabelen en de wijze waarop deze variabelen in de regressievergelijking moeten worden opgenomen. Het is dus niet zo, dat men aan een gegeven puntenwolk van waarnemingen maar een aantal curven moet aanpassen en zonder meer dié curve kiest die bijv. de hoogste correlatiecoëfficiënt vertoont.

Hoewel vanuit het oogpunt van gemakzucht de laatste

werkwijze misschien aantrekkelijker is, behoort het *denken* vooraf te gaan aan het *doen*.

Inventarisatie van mogelijkheden en beperkingen van trendextrapolatie en regressie-analyse

A. Normatief versus exploratief

1. Trendextrapolatie en regressie-analyse zijn alleen toepasbaar bij exploratief verkennen: het uitgangspunt bij deze analyse is immers de historische ontwikkeling van een bepaalde technologie tot heden, op basis waarvan men een toekomstverkenning tracht te maken.

B. Aard van de gegevens

1. Zowel de invoergegevens als de uitkomsten zijn kwantitatief. De invoergegevens zijn niet-intuïtief: men hanteert cijfermatige gegevens over één of meer kenmerken in het verleden.

2. Bij trendanalyses bestaat vaak het probleem dat de beschikbare cijfers over het verleden niet in de gewenste hoeveelheid of in de gewenste vorm voorhanden zijn. Heeft men te weinig historische gegevens dan is elke trendanalyse zinloos. Een trend kan immers pas enige zeggingskracht hebben indien men gegevens heeft over een voldoende lange periode in het verleden. Nauw daarmee samenhangend is de gewenste vorm der gegevens. Reeds in hoofdstuk 2 is opgemerkt dat alle gegevens op eenzelfde wijze moeten zijn gedefiniëerd en geregistreerd. Hierboven is vermeld dat er over een voldoende lange periode cijfers moeten bestaan. Hoe langer echter de periode, hoe groter de kans dat men van definities en/of meetmethode is veranderd. Vaak kan men achteraf niet meer bepalen in hoeverre een verandering van definities en/of meetwijze van invloed is geweest op het cijfermateriaal. Men staat dan voor de onmogelijkheid het cijfermateriaal intern consistent te maken.

3. De keuze van de relevante technische parameter is een uitermate lastig probleem bij trendextrapolatie. Van de keuze van de technische parameter, die de stand van de techniek op elk tijdstip moet aangeven, hangt het al of niet beschikbaar zijn van cijfermatige gegevens af. Daarnaast moet de parameter zodanig zijn dat de opeenvolgende, vaak zeer van elkaar verschillende, technologieën kunnen worden gekarakteriseerd. Zo zegt de parameter breuksterkte wel iets voor verpakkingsmateriaal voor zover het bijv. glas betreft, maar niet meer voor verpakkingsmaterialen zoals plastic of karton. De parameter benzineverbruik per eenheid van prestatie geldt alleen voor vervoermiddelen die benzine nodig hebben, maar niet meer voor voertuigen waarbij op een andere wijze in de energiebehoefte wordt voorzien. Men moet er dus voor zorgen een technische parameter te kiezen die niet te veel op een bepaalde technologie is geënt. Het vinden van een niet aan één technologie gebonden parameter is echter vaak zeer tijdrovend.

4. Doordat de uitkomsten van trendextrapolatie kwantitatief zijn, bestaat het gevaar dat men de verkregen uitkomsten als exact gaat beschouwen zonder al te zeer te letten op de tijdens de modelformulering gemaakte veronderstellingen. Een van de meest moeilijk te staven onderstellingen was, zoals we zagen, het ge-

lijkblijven in de toekomst van de invloeden der verklarende factoren uit het verleden. In bijna geen enkele toepassing van trendextrapolatie kan men deze onderstelling waar maken. In vele gevallen is het zelfs zo dat factoren die in het verleden van invloed waren, niet expliciet zijn vermeld. Met name bij trendextrapolaties in de tijd speelt dit gevaar, omdat dan als verklarende factor alleen de tijd optreedt en niet werkelijk causale factoren. Toetsing achteraf of aan de hypothese van gelijkblijvende invloed van factoren is voldaan, is bij trendextrapolatie in de tijd dan ook moeilijk uitvoerbaar.

C. Tijd- en risico-analyse

1. Trendextrapolatie levert van de te verklaren factor automatisch een ontwikkeling in de tijd indien men de te verklaren factor aan de tijd heeft gerelateerd. Heeft men een regressiemodel met meer verklarende variabelen, dan moet men eerst een trendextrapolatie in de tijd toepassen voor de verklarende variabelen afzonderlijk, waarna men met behulp van deze voorspellingen de waarde van de te verklaren variabele in een toekomstig tijdvak kan aangeven.

2. Risico-analyse is bij trendextrapolatie mogelijk in zoverre men betrouwbaarheids gordels rond de voorspelde trendlijn kan aangeven.

D. Uitvoeringscriteria

1. Trendextrapolatie heeft als voordeel dat een grote hoeveelheid gegevens over historische ontwikkelingen overzichtelijk in een grafiek en/of middels een relatie kan worden weergegeven. Men kan in één oogopslag de historische ontwikkeling of de samenhang der verklarende variabelen en de te verklaren variabele overzien. Sterk van de gevonden trendlijn afwijkende cijfers kan men snel en duidelijk waarnemen, zodat men vlugger geneigd is deze afwijkende gevallen aan een nadere analyse te onderwerpen.

2. Door het voortdurend vergelijken van vroegere voorspellingen met wat in werkelijkheid plaatsvond, kan men snel vaststellen of de voorspelling enigszins realistisch was. Indien voorspelling en realisatie sterk van elkaar gaan afwijken, is een snelle herberekening van de trend mogelijk. Tevens kan men via vergelijking van voorspelling en realisatie andere verklarende factoren op het spoor komen.

3. Een ander voordeel van trendextrapolatie en regressie-analyse is dat, indien eenmaal het model is opgesteld, anderen het kunnen bijhouden en eventueel herberekenen. De methode is dus gemakkelijk overdraagbaar. Daar staat echter het gevaar tegenover dat de interpretatie door anderen van de verkregen uitkomsten niet in overeenstemming is met onderstellingen die aan het model ten grondslag liggen. Niet zozeer de toepassing maar de interpretatie is de grote moeilijkheid.

4. Trendextrapolatie en regressie-analyse zijn gemakkelijk uit te voeren door middel van een computer. Snelle herberekening is dus mogelijk.

5. Trendextrapolatie en regressie-analyse vormen vaak een belangrijk hulpmiddel bij het nauwkeuriger definiëren van het probleem. Zo zal men bijv. via trendextrapolatie een betere omschrijving kunnen vinden van wat nu eigenlijk de technische parameter behoort te zijn.

niëren van het probleem. Zo zal men bijv. via trendextrapolatie een betere omschrijving kunnen vinden van wat nu eigenlijk de technische parameter behoort te zijn.

6. Nadeel bij regressie-analyse is dat men soms moeilijk kan constateren of men te maken heeft met nonsens-correlatie. Een bekend voorbeeld uit de literatuur is de rekentechnisch "goede" correlatie tussen het aantal ooevaars en het aantal menselijke geboorten. Niemand zal echter zo ver gaan, aan te nemen dat ooevaars een verklarende variabele vormen voor babies. In deze situatie is nonsens-correlatie meteen aantoonbaar. In vele andere gevallen is dit echter moeilijker te constateren. Verder is het opsporen van de oorzaak-gevolgrelatie vaak moeilijker dan men op het eerste gezicht denkt. Zo kan bijv. de prijs van een product een verklarende variabele zijn voor de afzethoeveelheid, maar omgekeerd kan de afzet ook een verklarende factor zijn voor de prijs. Al weet men dus dat beide grootheden gecorreleerd zijn, men kan moeilijk aangeven wat nu oorzaak en gevolg is.

7. In de gegeven voorbeelden in hoofdstuk 2 was het niet moeilijk te bepalen welke curve het beste bij de puntenwolk aansloot. In vele praktijkgevallen is het kiezen van de soort curve echter wel een probleem. Men kan vaak aan eenzelfde puntenwolk van waarnemingen meer curven aanpassen die alle een even goede benadering geven. In de statistische literatuur staat dit probleem bekend als het identificatieprobleem.

Tabel 1. Samenvatting van mogelijkheden en beperkingen van trendextrapolatie en regressie-analyse.

Criterium	Mogelijkheden	Beperkingen
A.	A.1. Alleen toelaatbaar voor exploratief voorspellen	
B.	B.1. Invoergegevens en uitkomsten zijn kwantitatief	B.2. Gegevens vaak niet voorhanden in gewenste hoeveel- en/of vorm B.3. Keuze technische parameter is zeer lastig B.4. Kwantitatieve uitkomst geeft schijn van exactheid met alle interpretatiefouten van dien
C.	C.1. Trendextrapolatie is tijdanalyse C.2. Risico-analyse is uitvoerbaar	
D.	D.1. Trendextrapolatie en regressie-analyse presenteren een overzichtelijk geheel D.2. Snelle herberekening mogelijk D.3. Methoden zijn gemakkelijk overdraagbaar D.4. Berekening via computer mogelijk D.5. Helpt problemen scherper te formuleren en te definiëren	D.6. Gevaar voor nonsenscorrelatie D.7. Identificatieprobleem D.8. Limieten kan men over het hoofd zien of zijn moeilijk te bepalen D.9. Statistische eisen soms moeilijk verifieerbaar

8. Bij trendextrapolaties in de tijd loopt men snel het gevaar technische, economische of andere limieten over het hoofd te zien, waardoor een voorspelling een volmaakte misslag kan zijn. Het aangeven van de hoogte der limiet is een uitermate lastige zaak. Het gegeven voorbeeld in hoofdstuk 2 (de lichtsnelheid als snelheidslimiet) vormt op deze regel een plezierige uitzondering.

9. Bij regressie-analyse is soms lastig aan te geven of er sprake is van autocorrelatie of intercorrelatie. Bij autocorrelatie zijn de storingstermen aan elkaar gerelateerd, zodat aan één van de statistische eisen die aan regressie-analyse ten grondslag liggen niet is voldaan. Bij intercorrelatie heeft men te maken met verklarende variabelen die op hun beurt weer kunnen worden verklaard door andere verklarende variabelen. Stel dat men de afzet van artikel A wil verklaren door de afzet en de prijs van een concurrerend artikel B. Nu kan de prijs van dat concurrerende artikel B onder meer worden verklaard door de afzet van dat artikel, zodat men in feite niet twee verklarende variabelen heeft voor de afzet van artikel A maar slechts één. Voor deze en andere statistische eisen bij de regressie-analyse zij verwezen naar statistische vakliteratuur.

III. Morfologische analyse

Zoals we in hoofdstuk 2 hebben gezien, is morfologische analyse een methode om systematisch alle mogelijke combinaties af te tasten. Er zijn drie soorten problemen waarbij toepassing van morfologische analyse zinvol kan zijn en wel:

- welke doeleinden kan de onderneming nastreven indien een bepaalde technologie wordt ontwikkeld, of — omgekeerd — welke technologie dient de onderneming te realiseren indien men vooraf gestelde doeleinden wenst te verwezenlijken;
- welke potentiële ontwikkelingen liggen opgesloten in de reeds bestaande technische mogelijkheden;
- het geven van een aanwijzing voor de oplossing van bepaalde technische problemen.

De beide eerstgenoemde problemen liggen meer op het vlak van strategische planning, terwijl de laatst genoemde probleemstelling zich meer op het terrein van tactische planning bevindt. Immers de laatst genoemde vergt een gedetailleerde evaluatie van een aantal mogelijke oplossingen waarbij men meer streeft naar kwantitatieve dan naar kwalitatieve aanwijzingen.

In hoofdstuk 2 is reeds ter sprake gekomen welke vijf fasen men bij een morfologische analyse doorliep. Daaruit bleek dat men in eerste instantie verkenning en inventarisatie nastreeft. Dit is nodig voor strategische planning. Als noodzakelijk vervolg daarop kwam de evaluatie der diverse mogelijkheden aan de beurt die nodig is voor de tactische planning. Beide soorten planning sluiten bij morfologische analyse soepel op elkaar aan.

A. Normatief versus exploratief

1. Uit de werkwijze van morfologische analyse blijkt dat men doorgaans bestaande technologieën met el-

kaar combineert in de hoop nieuwe mogelijkheden te ontdekken. Als zodanig is morfologische analyse exploratief voorspellen. De vraag of er wel behoefte bestaat aan deze nieuwe ontwikkelingen wordt pas gesteld nadat morfologische analyse is toegepast en men de gevonden mogelijkheden gaat evalueren.

B. Aard van de gegevens

1. Zoals we zagen bij de beschrijving van de morfologische analyse, geeft men bij deze methode de informatie over de diverse mogelijkheden van bestaande of reeds in ontwikkeling zijnde technologieën weer in morfologische groepen. Elke combinatie van groeps-elementen is dan een potentiële technische ontwikkeling die op realiseerbaarheid moet worden getoetst. De invoergegevens en de uitkomsten zijn in eerste instantie kwalitatief van aard, zodat men op dit planningsniveau geen numerieke gegevens behoeft te vergaren.

2. Morfologische analyse laat alleen combinaties toe van mogelijkheden die in de groepen zijn opgenomen. Enerzijds heeft dit het voordeel dat planningsinflatie wordt tegengegaan, anderzijds staat of valt de methode met de volledigheid der gedefinieerde groepen. Immers, indien het aantal mogelijke elementen per groep of het aantal groepen niet volledig is, loopt men het risico essentiële toekomstige technische mogelijkheden over het hoofd te zien. Degene die de methode uitvoert zal derhalve bijzonder goed op de hoogte moeten zijn met de stand van de techniek en de toepassingen daarvan op alle niveau's.

3. Een voordeel van morfologische analyse is dat de resultaten ervan meteen een aanknopingspunt bieden voor het opstellen van tactische deelplannen zoals het speurwerk- en ontwikkelingsplan, het voorspellen van de ontwikkeling van technische parameters e.d.. De methode vormt dus een goede verbinding tussen strategische en tactische planning. Reeds eerder is opgemerkt dat morfologische analyse alleen mogelijkheden aanwijst. De beoordeling van deze mogelijkheden door een kwantitatieve analyse is het noodzakelijke vervolg op de morfologische analyse. Het nagaan of een combinatie van groeps-elementen een realiseerbare en relevante technische ontwikkeling oplevert, berust op subjectieve oordeelsvorming van de experts of de beslisser.

4. De uitkomsten van morfologische analyse geven geen preferenties aan voor de diverse gevonden technische mogelijkheden. Men kan daarom met deze analyse geen voorkeur uitspreken voor bepaalde mogelijkheden.

C. Tijd- en risico-analyse

1. De morfologische analyse geeft geen tijdanalyse van de potentiële technische mogelijkheden, zodat men voor het opstellen van een tijdplanning deze tijdanalyse naderhand moet uitvoeren. Eenzelfde opmerking geldt voor een risico-analyse, die, indien daaraan behoefte bestaat, eveneens pas achteraf in de beschouwing kan worden betrokken. Bij morfologische analyse ontbreekt verder elke mogelijkheid om interacties na te gaan tussen nieuwe technologische ontwikkelingen en omgeving of functies. Tijd- en risico-

schattingen kunnen nl. door deze interacties worden beïnvloed, zodat men na de morfologische analyse nog zal moeten bepalen welke interacties er zo al kunnen bestaan.

D. Uitvoeringscriteria

1. Onder B.2 werd reeds gewezen op de noodzaak van volledigheid der morfologische groepen. Het heeft geen betoog dat het definiëren der groepen en der elementen per groep een gedegen en vaak langdurige voorbereiding vergt om er zeker van te zijn dat de hierbij gehanteerde definities volledig, eenduidig en relevant zijn. Dit vergt in de praktijk meestal een aantal vergaderingen van diverse deskundigen.

2. Hoewel volledigheid een eerste vereiste is, heeft dit tot gevolg dat morfologische analyse al snel zeer complex en uitvoerig wordt, zodat de tijd die nodig is om de methode uit te werken en de resultaten te interpreteren zeer lang is. Bij acht groepen van elk vijf elementen bedraagt het aantal combinaties reeds $5^8 = 390.625$ mogelijkheden. Het is echter mogelijk dat een aantal combinaties zonder meer kan worden uitgesloten van evaluatie omdat onderlinge strijdigheden optreden. In dat geval is het aantal combinaties dat bij morfologische analyse moet worden nagegaan, reeds bij voorbaat verminderd. Hoewel het moeilijk is een tijdschatting te geven omdat het werk afhankelijk is zowel van de aard van het probleem als van de persoon die het oplost, blijkt uit ervaring dat een half tot anderhalf manjaar nodig is om de resultaten van een morfologische analyse van ten hoogste vier groepen met elk vier elementen te evalueren. Onder evaluatie verstaan we hier de beoordeling of een gevonden mogelijkheid technisch en economisch uitvoerbaar is. De evaluatie omvat dus ook het opstellen van gedetailleerde deelplannen zoals het spuurwerk- en ontwikkelings-

Tabel 2. Samenvatting van mogelijkheden en beperkingen van morfologische analyse.

Criterium	Mogelijkheden	Beperkingen
A.	A.1. Exploratief verkennen	
B.	B.1. Kwalitatieve, niet-intuitieve informatie als invoergegevens en als uitkomst	B.2. Uitkomst staat of valt met volledigheid der informatie; uitvoerder moet goed op de hoogte zijn van de stand van de techniek
	B.3. Verbinding tussen strategische en tactische planning	B.4. Uitkomst geeft geen voorkeursordering aan tussen diverse mogelijkheden
C.		C.1. Geen expliciete tijd- en risico-analyse en geen interacties met omgeving resp. functies
D.	D.2. Computerverwerking soms mogelijk	D.1. Veel voorbereidings-tijd D.2. Veel tijd nodig om de uitkomsten te evalueren D.3. Alleen toepasbaar voor principiële technische mogelijkheden

plan, het investeringsplan enz.. Beperkt men de morfologische analyse tot het nagaan welke combinaties mogelijk zijn, dan is de gegeven tijdschatting te hoog. Men moet dan op één tot twee maanden rekenen. Verwerking van de gegevens per computer is soms mogelijk.

3. De morfologische analyse is alleen toepasbaar voor principieel technische mogelijkheden.

IV. Netwerkanalyse

A. Normatief versus exploratief

1. De methode van de relevantieboom is bruikbaar voor normatief en exploratief verkennen. Bij normatieve verkenning zal men toekomstige technologieën steeds meer gaan detailleren tot men tenslotte is aanbeland bij de thans bestaande technologieën. Bij exploratief verkennen zal men een bestaande technologie steeds verder uitwerken voor wat betreft toekomstige ontwikkelingen. Bij normatieve verkenning is dus de toekomst het hoogste hiërarchische niveau, bij exploratief voorspellen is dit het heden. Voor het overige vertoont de netwerkanalyse een grote overeenkomst met de morfologische analyse, met dit onderscheid dat de methode van de netwerkanalyse het probleem hiërarchisch structureert. Men redeneert in feite van het algemene naar het bijzondere.

B. Aard van de gegevens

1. De te vergaren invoergegevens zijn kwalitatief en niet-intuïtief. Kent men aan de diverse takken binnen de relevantieboom gewichten toe, dan verkrijgt men als uitkomst subjectieve, kwantitatieve informatie over de belangrijkheid der diverse onderdelen in de boom. Voor de relevantieboom geldt bij tactische planning dat de niveau's minder abstract zijn dan bij toepassing voor strategische planning. Past men bij strategische planning de relevantieboom toe voor de evaluatie van doelstellingen en van systemen die aan deze doelstellingen kunnen voldoen, bij tactische planning zal men meer concrete niveau's hanteren, bijv. één bepaalde sector en alle daarbij behorende mogelijke toestanden. Gebruikt men de methode van de relevantieboom bijv. voor de bouwsector, dan is één der vertakkingen in deze boom de huizenbouw. Een volgende vertakking kan zijn het materiaal dat men bij huizenbouw kan gebruiken zoals metaal, plastics, baksteen, hout, vezelplaat, beton enz.. De relevantieboom heeft hier dus betrekking op zeer concrete producten en toepassingen daarvan.

C. Tijd- en risico-analyse

1. Men kan de relevantieboom zodanig opzetten dat er een tijdnetwerk ontstaat (beslissingsboom). Tijd-analyse is derhalve bij deze methodiek mogelijk, hoewel het zeer de vraag is of men bij strategische planning de benodigde tijdschattingen kan uitvoeren. Door sommigen worden de relevantiecijfers die men aan elke tak binnen de boom toekent, beschouwd als conditionele kansschattingen. Indien men de relevantietechniek op deze manier opzet, is risico-analyse dus mogelijk.

D. Uitvoeringscriteria

1. De opmerkingen die bij morfologische analyse werden gemaakt over volledigheid, complexiteit en tijdrovende uitwerking, zijn eveneens van kracht bij de relevantieboom. Een globale tijdschatting voor het opzetten en uitwerken van een relevantieboom is ook hier weer moeilijk te geven. Het opzetten van een relevantieboom vergt doorgaans 5 à 7 vergaderingen van deskundigen; het uitwerken van een boom met vier niveau's met in totaal ongeveer 250 vertakkingen vereist al spoedig een half tot anderhalf manjaar.

Tabel 3. Samenvatting mogelijkheden en beperkingen van de netwerkanalyse (relevantieboom).

Criterium	Mogelijkheden	Beperkingen
A.	A.1. Zowel normatief als exploratief verkennen	
B.	B.1. Invoergegevens zijn niet-intuïtief en kwalitatief, terwijl de uitkomsten subjectief en kwantitatief kunnen zijn	
C.	C.1 Tijd en risico-analyse mogelijk	
D.		D.1 Techniek is al snel complex en uit dien hoofde tijdrovend; ook hier geldt eis van volledigheid

V. De Delphi-methode

Strategische planning

We zullen de mogelijkheden en beperkingen van de Delphi-procedure allereerst bespreken als hulpmiddel voor strategische planning.

A. Normatief versus exploratief

1. Het zal duidelijk zijn, gezien de omschrijving van de Delphi-methode in hoofdstuk 2, dat deze methode toepasbaar is zowel bij normatief als bij exploratief verkennen.

B. Aard van de gegevens

1. Het is weinig zinvol bij strategische planning reeds naar kwantitatieve uitspraken te vragen. De bedoeling van strategische planning is immers het ontdekken van nieuwe technologieën. De vragen die men bij de Delphi-methode aan experts zal voorleggen, hebben daarom de vorm: "Welke nieuwe ontwikkelingen verwacht u in de toekomst?". De uitkomst is dus niet kwantitatief maar kwalitatief.

2. Daarnaast is de uitkomst tevens intuïtief, met alle gevaren van dien. Zowel de ondervraagde deskundigen als de samenstellers van de tussentijdse verslagen lopen het gevaar hierdoor in vaagheden te vervallen. Tevens bestaat het gevaar van wederzijds verkeerd begrijpen en interpreteren van elkaars visies, zodat men, door het gebrek aan uniforme uitgangspunten, elkaars visies niet op dezelfde golfhoogte uitwisselt.

3. Een ander gevaar van de Delphi-methode is dat men zich te veel richt op hetgeen, gegeven de huidige situatie, reeds mogelijk is. Experts geven dan alleen verwachtingen waarvan ze zijn overtuigd dat deze op korte termijn realiseerbaar zijn. Men schiet daardoor het doel van de strategische planning voorbij.

4. Of de leider zelf bepaalde invoergegevens verstrekt dan wel deze vraagt aan deskundigen, steeds loopt men het gevaar te sterk gekleurde gegevens te verschaffen of te ontvangen. De gegevensverschaffer is immers altijd in zekere mate vooringenomen door afkomst, opleiding, politieke gezindheid, recent ontvangen informatie e.d., en deze factoren zijn niet of moeilijk meetbaar. Juist vanwege de onbekendheid van deze factoren heeft men snel de neiging weinig aandacht te besteden aan de aard van de invoergegevens. Het behoeft geen betoog dat deze basisgegevens zeer grondig voorbereid en zo objectief mogelijk gemaakt behoren te worden.

C. Tijd- en risico-analyse

1. Men zal bij de Delphi-procedure ten behoeve van strategische planning geen behoefte hebben aan een uitgebreid tijdschema voor de voltooiing van een bepaalde ontwikkeling. Het zou ook moeilijk zijn een dergelijk tijdschema te laten opstellen, omdat de te verkennen grootheden slechts vaag zijn omschreven. Wel is het mogelijk de deskundigen een tijdsinterval te laten aangeven waarbinnen zij een nieuwe technologie ontwikkeld en toepasbaar achten.

2. Eenzelfde opmerking als onder 1. kan men maken voor de risico-analyse. Het is in deze fase van planning onmogelijk gedetailleerde schattingen te geven van de kans van slagen van bepaalde ontwikkelingen. Men kan hoogstens vragen een ruwe indicatie te geven van de kans dat een bepaalde ontwikkeling in een vooraf bepaald tijdsinterval zal zijn gerealiseerd. Men kan gevoeglijk aannemen dat deze kans kleiner zal zijn naarmate een verkenning verder in de toekomst ligt. De betrouwbaarheid van de verkenning zal overigens gering zijn, o.a. wegens de grote rol die in deze verkenning wordt gespeeld door intuïtie.

3. Omdat men niet precies weet hoe goed kennis en inzicht van elke deskundige zijn en op welke uitgangspunten hij zijn oordeel baseert, is het bijna onmogelijk schattingen over realisatietijdvak en verwachtingen omtrent de kansen op succes met elkaar te vergelijken. De vergelijkbaarheid van verwachtingen van diverse deskundigen is derhalve moeilijk aan te geven. Men kan dit bezwaar enigszins ondervangen door het telkens expliciet vastleggen van uitgangspunten waaraan elke specialist zich moet houden. Men verschuift daarmee het probleem van de vergelijkbaarheid der verwachtingen naar de betrouwbaarheid der uitgangspunten.

D. Uitvoeringscriteria

1. Doordat de Delphi-procedure een schriftelijke ondervragingsmethodiek is, vermijdt men vaak langdurige vergaderingen van deskundigen. Men bespaart een aanzienlijke hoeveelheid vergader- en reiskosten, alsmede tijd.

2. Reeds eerder werd gewezen op de soms nadelige psychologische factoren die kunnen optreden tijdens vergaderingen waarbij personen lijfelijk aanwezig zijn, zoals:

- degene die zijn visie met de meeste overtuigingskracht weet te presenteren, krijgt de meeste bijval;
- de algemene tendens kan zijn dat men zich schikt naar de gemiddelde opinie;
- sommige deskundigen weigeren in het openbaar hun meningen te herzien of zich te voegen naar door anderen geuite visies uit vrees voor gezichtsverlies;
- men richt zich naar die deskundige die algemeen als zeer goed wordt gekwalificeerd, ongeacht de visie die deze naar voren brengt.

Deze psychologische factoren, die nadelig kunnen zijn voor een goede meningsvorming, worden ondervangen door de Delphi-methode omdat het de bedoeling is dat de deskundigen van elkaar niet weten welke antwoorden men geeft en de visies schriftelijk moeten worden geformuleerd en van argumentering voorzien.

3. Men vervangt door het weloverwogen programma van opeenvolgende ondervragingsronden van de Delphi-procedure het soms moeilijk in juiste banen te leiden "brainstorming"-debat. Dit noodzaakt de deskundigen na de eerste ronde de door hen over het hoofd geziene aspecten in ogenschouw te nemen en op grond daarvan hun oorspronkelijk gegeven visies eventueel te corrigeren. Bovendien dwingt men de deelnemers tot een steeds solider argumentering van hun visies in de opeenvolgende rondes.

De argumentering is vaak een belangrijker resultaat van deze procedure dan de verkenning zelf.

4. Nadelig bij de Delphi-procedure is het ontbreken van de interactie tussen de deelnemers zoals die bij vergaderingen mogelijk is. Al discussiërend kan men vaak tot een steeds beter omlinjende probleemstelling komen, waardoor de visies over de oplossing van het probleem ook beter omschreven zijn. De enig mogelijke interactie bij de Delphi-methode ligt in de correctiemogelijkheid op basis van gecompileerde visies van deskundigen uit de vorige rondes.

Het nadeel van het ontbreken van interactie is echter beperkt. Hoewel proefondervindelijk is vastgelegd dat pas na vier rondes geen verdere convergentie van meningen meer plaatsvindt, beperkt men in de praktijk de schriftelijke procedure meestal tot twee rondes. De resultaten uit deze twee rondes worden vervolgens in een vergadering aan de deskundigen voorgelegd, waarbij men al discussiërend tot conclusies tracht te komen. In feite combineert men dus de Delphi-procedure met een forumdiscussie, enerzijds om interactie tussen de deskundigen mogelijk te maken, anderzijds omdat uit ervaring is gebleken dat de responsie van de deskundigen sterk afneemt indien men meer dan twee rondes gebruikt.

5. Eén der problemen bij toepassing van de Delphi-methode is de keuze van de te ondervragen deskundigen en van de leider die na elke ronde in een kort overzicht de visies compileert. De deelnemers moeten uiteraard ter zake deskundig zijn, maar hoe meet men dit? Men kan hierbij afgaan op naam en faam die een

bepaalde deskundige binnen zijn vakgebied geniet, hoewel dit geen garantie biedt dat men dan de beste deskundige voor de Delphi-procedure inschakelt.

Wordt aan de deelnemers de eis gesteld van deskundigheid in één bepaald vakgebied, aan de leider wordt de eis gesteld van een algemene deskundigheid. Hij moet in staat zijn opmerkingen uit diverse vakgebieden te verstaan en bovendien nog te vergelijken en op belangrijkheid te toetsen. Bij dit laatste moet hij zorgvuldig waken tegen persoonlijke interpretaties en het naar voren halen van die aspecten uit de gegeven visies die precies in zijn eigen visie passen. Integriteit en algemene deskundigheid zijn derhalve eisen waarvan de leider moet voldoen.

6. Eveneens moeilijk bij de Delphi-procedure is het opstellen van relevante en ondubbelzinnige vragen. Enerzijds wil men deskundigen enig licht laten werpen op de toekomst, anderzijds moet men al een bepaalde toekomst voor ogen hebben om vragen te kunnen formuleren. Vragen die voor de toekomst te veel vastleggen, zijn funest voor de vrijheid van visie der deelnemers; anderzijds geven vragen die te veel open laten de deelnemers een vrijbrief eigen uitgangspunten te kiezen, waardoor meningen onvergelijkbaar worden. Het opstellen van vragen kost vaak een zeer grote hoeveelheid tijd. Het opzetten en uitwerken van een Delphi-procedure vergt 3 à 6 manmaanden.

7. De Delphi-methode is toepasbaar bij weinig gestructureerde problemen, iets wat vaak zal voorkomen bij strategische planning.

Tabel 4. Samenvatting van mogelijkheden en beperkingen van de Delphi-methode bij strategische planning.

Criterium	Mogelijkheden	Beperkingen
A.	A.1. Bruikbaar voor zowel normatief als exploratief verkennen	
B.	B.1. Uitkomst is kwalitatief en intuïtief	B.2. Gevaar voor planningsinflatie en verkeerd interpreteren van elkaars visies en daardoor vertekening van de uitkomst B.3. Uitkomst geeft soms alleen datgene wat snel realiseerbaar is B.4. Uitkomst en invoergegevens vaak sterk subjectief gekleurd. Objectivering daarvan is noodzakelijk
C.		C.1. Geen uitgebreide tijdanalyse C.2. Geen uitgebreide risico-analyse C.3. Gevaar van onvergelijkbaarheid der visies over tijd en risico
D.	D.1. Weinig reis- en vergadertijd D.2. Ondervangt nadelige psychologische factoren D.3. Weloverwogen vragenschema D.7. Delphi-methode is ook toepasbaar bij weinig gestructureerde problemen	D.4. Ontbreken interacties D.5. Goede deelnemers voor Delphi-methode zijn schaars D.6. Opstellen vragenlijst vergt veel tijd

Tactische planning

Toepassing van de Delphi-methode voor tactische planning impliceert dat men meer kwantitatieve gegevens wil vergaren over toekomstige technologische ontwikkelingen. Men zal in deze situatie niet zozeer aan deskundigen vragen welke nieuwe ontwikkelingen zij verwachten, maar hoeveel tijd, kosten, mankracht e.d. zij nodig achten om een bepaalde technische ontwikkeling te realiseren. Maakte men bij strategische planning gebruik van deskundigen die een toekomstvisie konden weergeven, bij tactische planning zoekt men naar deskundigen op het uitvoerende vlak, zoals leiders van speurwerk en ontwikkeling, die met behulp van hun ervaring moeten schatten welke kosten bepaalde research met zich meebrengt.

De uitkomst in deze opzet van de Delphi-methode is intuïtief en kwantitatief. Uit de uitkomsten kan men mediaan, verwachte waarde, spreiding en interkwartielafstand bepalen.

Nogmaals zij gewaarschuwd tegen de schijn van objectiviteit die statistisch verwerkt cijfermateriaal kan suggereren. Bij iedere schatting van kwantitatieve gegevens zal men elke deskundige moeten vragen zijn antwoord te motiveren. Wederom geldt de opmerking

dat de door deelnemers gegeven argumentaties wel eens belangrijker zijn dan de uitkomst van de geschatte grootheden, daar uit deze argumentaties bijv. de toekomstige omgeving waarbinnen de onderneming gaat opereren, zichtbaar kan worden.

Tabel 5. Samenvatting der mogelijkheden en beperkingen van de Delphi-methode bij tactische planning.

Criterium	Mogelijkheden	Beperkingen
B.	B.1. Uitkomst is kwantitatief	B.2. Statistisch verwerkt cijfermateriaal geeft vaak ten onrechte een schijn van exactheid
C.	C.1. Tijd- en risico-analyse is voor tactische planning uitvoerbaar	
D.		D.1. Deelnemers zijn managers in het uitvoerende vlak D.2. Toepassing van deze methode vergt veel tijd

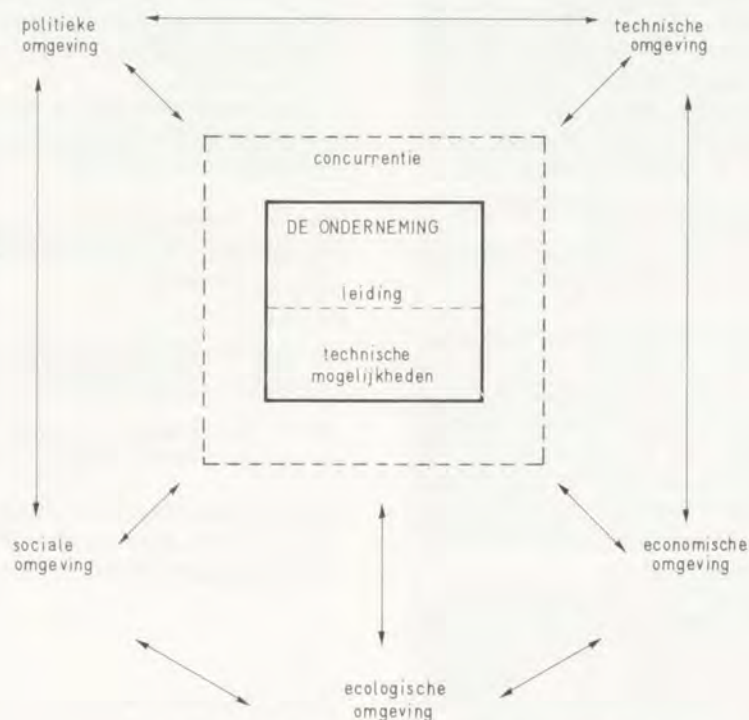


Fig. 1. Relatie tussen onderneming en omgeving.

VI. Het verkennen van behoefteterreinen en omgeving

Tot nu toe hebben we ons beperkt tot het verkennen van technologische ontwikkelingen. Het is evident dat dit niet een geïsoleerd vraagstuk vormt, maar in feite een onderdeel is van een maatschappelijke ontwikkeling. Schematisch kan men de plaats van de onderneming weergeven als in figuur 1.

Uit deze figuur blijkt dat het verkennen van technologische ontwikkelingen slechts een fractie is van de verkenning van het totale ondernemingsgebeuren en

van de omgeving waarbinnen een onderneming opereert, resp. in de toekomst gaat opereren. Eén van de deelaspecten dat in het bijzonder een aparte verkenning behoeft, is de vraag naar nieuwe producten, hetgeen een onderdeel is van de economische omgeving. Bekend is dat elk produkt slechts een eindige gangbaarheid heeft. Deze levenscyclus van produkten kan men weergeven als in figuur 2.

Uit deze figuur blijkt dat elk produkt na verloop van tijd een daling te zien geeft qua omzet, resp. winstpotentie. De onderneming zal daarom tijdig moeten ingrijpen om het gevoerde assortiment van produkten

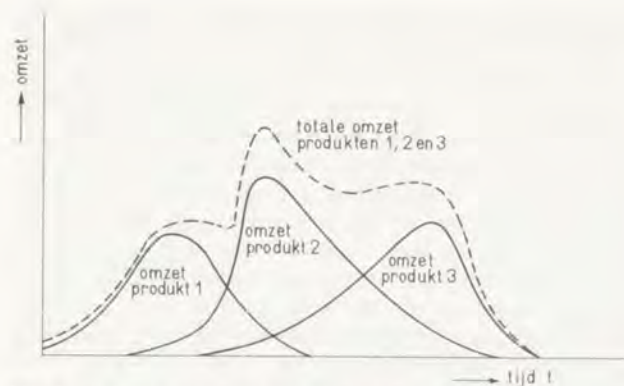


Fig. 2. De levenscyclus van produkten.

te verjongen, wil ze haar continuïteit handhaven. Dit houdt in dat men in een vroeg stadium moet signaleren welke produkten men in de toekomst wenst te voeren, welke vraag naar die produkten zal bestaan en aan welke technische eisen moet worden voldaan. De verkenning van behoefteterreinen en de vertaling van behoeften in concrete produkten is binnen een bedrijf grotendeels de taak van de marketingafdeling. De methoden van verkenning zijn in wezen dezelfde als in hoofdstuk 2 beschreven, met dien verstande dat niet een technische parameter optreedt als te verkennen grootte maar bijv. de afzetmogelijkheden van een bepaald produkt.

Heeft de marketingafdeling als taak de wenselijkheden te formuleren vanuit de marktzijde, de speurwerk- en ontwikkelingsafdeling staat voor de taak de mogelijkheden op technologisch gebied aan te geven die nodig zijn om deze wensen te realiseren. In zeer nauwe samenwerking zullen de beide genoemde afdelingen moeten komen tot het formuleren van een toekomstig beleid ten aanzien van te ontwikkelen nieuwe produkten. Technologisch verkennen kan hierin alleen een antwoord geven op wat mogelijk is, terwijl marktonderzoek moet aangeven wat wenselijk is.

Uit figuur 1 blijkt dat technologie en behoefte weer een onderdeel vormen van en worden beïnvloed door de omgeving waarbinnen de onderneming gaat operen. Enerzijds beïnvloedt de omgeving de onderneming, anderzijds kan de onderneming, zeker indien het een groot bedrijf betreft, invloed uitoefenen op die omgeving. Vandaar de in- en uitgaande pijlen in figuur 1.

Omgevingsanalyse vindt meestal zijn neerslag in een toekomstscenario. Een treffend voorbeeld daarvan is het in 1972 verschenen rapport van de "Club van Rome" [20].

In een dergelijk scenario worden mogelijke ontwikkelingen en de argumentering daarvan aangegeven op allerlei gebied. Ontwikkelingen van economische factoren zijn bijv. de groei van het nationale inkomen, de groei van de arbeidsproductiviteit en de groei van het inkomen per hoofd van de bevolking. Het omschrijven van sociale ontwikkelingen kan bijv. bestaan uit het aangeven van de functie van het gezin in de toekomst, de groei van de bevolking of planologische aspecten in de toekomst. Een scenario is dus een weergave van een mogelijk toekomstig maatschappijbeeld waarbinnen de onderneming, resp. de overheid zal gaan functioneren. Als zodanig biedt het scenario het totaalbeeld aan de hand waarvan men eventueel te ontwikkelen technologieën op hun waarde kan toetsen.

Het scenario is geen overbodig gedetailleerd kwalitatief en kwantitatief omschreven Jules Verne verhaal dat ruimte laat voor nog niet te plaatsen fantasieën, maar een noodzakelijk totaaloverzicht waarin alle deelaspecten hun plaats vinden. Men kan het scenario zien als de kapstok waaraan de diverse mogelijkheden ter zake van toekomstige technologieën en produkten dienen te worden opgehangen.

Zonder dit scenario is het onmogelijk verkenningen over technische ontwikkelingen of over groeiende of nieuwe behoeften te evalueren en op waarde te schatten. Dit neemt niet weg dat vele scenario's bij het opstellen te veel onderhevig zijn aan planningsinflatie, zodat toetsing van deelaspecten aan dat scenario weinig zin heeft. De opmerkingen over planningsinflatie zoals die zijn gemaakt bij de Delphi-methode zijn dan ook in het bijzonder van toepassing bij het opstellen van een scenario.

VII. Slot

In het voorgaande is een aantal mogelijkheden en beperkingen van methoden van technologisch verkennen ter sprake gekomen. De beschrijving hiervan kan soms suggereren dat de beperkingen zwaarder wegen dan de mogelijkheden, waardoor technologisch verkennen weinig zinvol schijnt. Hoewel aan de methoden vele beperkingen kleven, is technologisch verkennen onmisbaar bij het opzetten van lange termijnplanning.

De genoemde nadelen der methoden gelden in het bijzonder indien technieken geïsoleerd worden toegepast. Bij planning zal men niet één methode van verkenning moeten hanteren, maar een combinatie van methoden. De uitkomst die elke methode biedt, is deel informatie die in een totaalbeeld moeten worden ingepast. De keuze tussen exploratief en normatief technologisch verkennen is om dezelfde reden een schijnkeuze. Beide benaderingswijzen vullen elkaar aan omdat ze een verschillende invalshoek bieden voor hetzelfde probleem.

Nogmaals zij erop gewezen dat de genoemde methoden, met name de Delphi-procedure, de netwerkanalyse en de morfologische analyse, meer methoden zijn van *toekomstdenken* dan van *toekomstvoorspellen*. Technologisch verkennen is geen doe-proces maar een denk-proces, zeker indien het als hulpmiddel bij strategische planning wordt gehanteerd.

Degene die op het strategische planniveau reeds voorspellingen in de zin van gebudgetteerde taakopdrachten verwacht, is niet bezig met strategische planning, maar met planning op korte termijn. De neiging om van technologisch verkennen te snel concrete resultaten te verlangen, is funest voor het ontwikkelen van een werkelijke toekomstvisie.

Wat trendextrapolatie en regressie betreft, menen we dat de zin van deze technieken niet zozeer ligt in het verkennen van een toekomst, maar veel meer in het op overzichtelijke wijze presenteren van historisch cijfermateriaal en het analyseren van de probleemstelling. De resultaten van deze methoden mogen nooit als losstaande gegevens worden gebruikt maar behoren te dienen als ondersteuning voor de intuïtieve methoden. Immers, de resultaten van trendextrapolatie en regressie zijn waardevol indien deskundigen op het betrokken probleemgebied deze gegevens interpreteren. Ze zijn zeer gevaarlijk en leiden al snel tot

nonsens als leken conclusies trekken door simpel trendlijnen door te trekken naar de toekomst.

Eerder is opgemerkt dat de methoden zoals die hier zijn beschreven, niet pretenderen te voorspellen in die zin dat een toekomst wordt vastgelegd. De methoden kunnen hoogstens een mogelijke ontwikkeling signaleren, waarbij de beslisser de taak heeft de verkenning op haar waarde te schatten. De methoden van technologisch verkennen geven dus geen beslissingen, maar dragen alleen informatie aan die waardevol zijn voor de beslissingsvoorbereiding.

Bij elk beslissingsprobleem voor de toekomst loopt de beslisser het risico zich te vergissen. Vergissen is menselijk, maar het nalaten zich bij elke beslissing optimaal te informeren is onvergeeflijk [21].

Ten aanzien van de overheid geldt min of meer hetzelfde als in het voorafgaande voor de onderneming is gezegd. Reeds in de inleiding is gesteld dat de overheid een sterke invloed uitoefent op technische en

wetenschappelijke ontwikkelingen. Kennis van toekomstige technische trends is derhalve ook voor de overheid onontbeerlijk. Wat betreft de analyse van toekomstige behoeften zal het een ieder duidelijk zijn dat hier maatschappelijke behoeften bedoeld zijn zoals verkeer, volkshuisvesting, onderwijs, gezondheidszorg, defensie enz. Omdat deze behoefteterreinen bijna iedereen raken, is de omgevingsanalyse een van de zwaarstwegende taken voor de overheid. Omtrent de omgevingsanalyse bij de onderneming stelden we dat dit een zwaarder accent krijgt naarmate de onderneming haar omgeving meer kan beïnvloeden. Geldt dit voor grote ondernemingen, dan geldt dit zeer zeker voor de overheid. Hoewel er dus in wezen geen verschil is tussen technologisch verkennen bij overheid of onderneming, treden er wel accentverschillen op met name in de omgevingsanalyse: het opstellen van scenario's. Het is duidelijk dat in de eerste plaats de overheid behoefte heeft aan een totaalvisie van een mogelijke toekomstige maatschappij.

Hoofdstuk 4. Een Wetenschap zonder Discipline

door dr. ir. W. J. Beek

I. Inleiding

Het is een vooroordeel bij de beoefening van de exacte wetenschap iedere niet te kwantificeren en niet te reproduceren waarneming buiten beschouwing te laten en zich slechts te beperken tot die fenomenen in de natuur welke zijn te herhalen onder zo efficiënt mogelijke uitsluiting van de invloed van de waarnemer. Kronig ziet dit vooroordeel, dat hij als fysicus bewust tot het zijne maakt, duidelijk in [27]. Hij gaat zelfs zover, dat hij de beoefenaren van wetenschappen als bijv. geschiedenis, psychologie en economie waarschuwt voor het introduceren van methoden die aan de exacte wetenschappen zijn ontleend, omdat in de niet-exacte wetenschappen de waarnemer en het onderwerp van studie samenvallen en omdat derhalve de relatie tussen oorzaak en gevolg niet eenduidig kan zijn. Hij zal het met W. H. Auden eens zijn, die in "Under which lyre?" schrijft:

"Thou shalt not answer questionnaires, nor quizzes upon world affairs, nor with compliance take any test. Thou shalt not sit with statisticians, nor commit a social science".

Zulk een standpunt zou ons bijv. de mogelijkheid ontlenen kwantitatief wetenschappelijk te denken over maatschappelijke verschijnselen als technologische vernieuwing en wetenschapsbeoefening.

Tegenover deze mening staat die van bijv. Redeker [28] en Romeijn [29], die tot de conclusie komen dat in alle wetenschap zowel het kwantitatief-meetbare als het onmeetbare-kwalitatieve (in logische en in sensitive zin) een plaats zou moeten hebben. Daarom kunnen economie, psychologie, sociologie en geschiedenis zich ook, zij het niet alleen, in cijfers uitdrukken. Daarom ook zal, indien de natuurwetenschapper blijft bij data (cijfers) alleen, zijn positivisme, dat een naïeve levensbeschouwing overwon, zelf een naïeve levensbeschouwing worden.

Ik sta dicht bij de opvattingen van Redeker en Romeijn dan bij die van Kronig [30]. Met de laatste ben ik echter wel van mening dat iedere wetenschap waarmee men de technologische ontwikkeling in een maatschappelijk verband wil bestuderen slechts dan zinvol is, indien deze wetenschap de mogelijkheid in zich heeft de consistentie van zijn beweringen op een onafhankelijke, interne wijze te verifiëren. Dit nu faalt nog in de "leer" van het technologisch verkennen. Zoals Francis Bacon en René Descartes de basis legden voor het inwendig toetsen op juistheid van beweringen in de exacte wetenschappen, zo ontbreekt een toetsingsmogelijkheid nog voor iedere theorie over de maatschappelijke inhoud van mogelijke technologische vernieuwingsprocessen. Daarom moet Schepers in zijn voorwoord tot deze studie zoveel nadruk leggen op het gezonde verstand als bewaker bij het gebruik van de hiervoor besproken methoden. Daarom ook han-

delen de vorige hoofdstukken in mijn ogen meer over "de technieken die bij het vooruitzien worden gebruikt" dan over de basisvraag naar: "de voorspelbaarheid van technologische ontwikkelingen".

Er is dus alle reden het technologisch verkennen zodanig te ontwikkelen dat de technieken beter op hun interne logica kunnen worden getoetst, (zie ook [30]). Het terrein is nog zo nieuw, dat er nog geen wetten bestaan maar empirie.

Het volgende is geschreven als een poging tot onderzoek naar de factoren die van belang zijn om het technologisch verkennen deze discipline bij te brengen. De gegeven voorbeelden zijn ook zoveel mogelijk gekozen om de methodische knelpunten in de huidige aanpak te illustreren. De opzet van het hoofdstuk heeft daarom overwegend een karakter van these versus anti-these: continue of discontinue ontwikkelingsprocessen (IV), enkelvoudige of meervoudige afhankelijkheden (V), structurele trend versus conjuncturele schommeling (VI), trend versus norm in niet of wel expanderende samenlevingen (VII), groei versus verval (VIII) en kwaliteit versus kwantiteit (IX). Daaraan gaan vooraf twee beschouwingen: één over de keuze van de groeiparameters (II) en één over het kiezen van de tijdparameters en het te omspannen tijdbestek (III).

II. Keuze van de groeiparameters

Technologische verkenningen onderzoeken de mogelijke afhankelijkheden tussen technologie en haar omgeving. Meestal komt dit neer op onderzoek van de technologische, de economische en de sociale factoren. Hiertoe zijn er twee ingangen: de producent van een goed of de leverancier van een dienst én de consument of de ontvanger.

Voor beide overlappen de technologische en de economische factoren in enige mate, maar vaak ook zullen de kencijfers voor deze factoren voor consument en producent verschillen. Zo zijn er dus drie factoren, waarvan er twee twee kanten hebben. Dat betekent dat zelfs in de eenvoudigste technologische verkenning ten minste vijf kenmerkende grootheden dienen voor te komen. In dit toch nog naïeve geval is de sociale factor meestal verschaald tot zoiets als: Inwoner-aantal, inwonerdichtheid of kijkdichtheid. Daarop kan dan worden genormeerd, zodat er vier grootheden overblijven. Vallen de technologische kenfactoren bij producent en consument samen, doordat bijv. beide naar maximale kwaliteit vragen, dan is er nog een reductie met één kengrootheid mogelijk. Beschouwt men verder bijv. alleen macro-economische factoren, dan vindt een laatste reductie plaats, zodat er twee kenfactoren in het model overblijven: één technische en één economische. Zulk een model is dan vaak wel een procrustesbed, waarin de werkelijkheid slechts met wat kunstgrepen wil passen.

In veel literatuur over technologisch verkennen wordt bezien hoe één kengrootheid van de tijd afhangt. Gegeven de omstandigheden is dit niet verwonderlijk. Het zegt echter verschrikkelijk weinig, zeker buiten de context van een probleemstelling. De bruikbaarheid neemt sterk toe, indien men modellen bouwt die een verband geven tussen minstens twee parameters en indien men zowel deze parameters in de tijd vervolgt als hun onderling verband (zoals dit door het model wordt geponeerd) toetst. Deze toetsing, waarbij men de tijd als variabele elimineert en waarbij men de overige variabelen direct met elkaar in verband stelt, is van wezenlijk belang als men met de technieken van technologisch verkennen tot inzicht wil komen. Dat dit mogelijk is, wordt in paragraaf V met voorbeelden van zulke modellen aangetoond. Zo zou bijv. Meadows in zijn "Limits to Growth" er in mijn ogen goed aan hebben gedaan de ratio aan te tonen achter de geponeerde afhankelijkheid tussen zijn vijf parameters. Gunnar Myrdal wees hem m.i. terecht op deze belangrijkste omissie in zijn werk.

Ook al accepteert men als methode: modelbouw met meer dan één parameter, zodat er een toetsingsmogelijkheid op de interne consistentie van het model overblijft, dan nog staat of valt het model met de keuze van de grootheden die de parameters in het model zullen zijn. Die keuze zal geheel verschillend uitvallen afhankelijk van de probleemstelling en van de doelstellingen van de industriële technologische bedrijvigheid die men onderzoekt. Dit heeft geleid tot een eerste poging van een classificatie (taxonomie) voor deze bedrijvigheid. Wat dat betekent voor de keuze van de parameters zal ik aan het eind van deze paragraaf met enkele voorbeelden toelichten. Eerst geef ik kort een mogelijke indeling van de technisch-economische bedrijvigheid.

Een mogelijke taxonomie van industriële bedrijvigheid

Een industrie die de hoogste kwaliteit per eenheid van prijs moet leveren (zoals een bedrijf voor wetenschappelijke instrumenten, of voor informatieverwerkende systemen), steunt sterk op wetenschap en technologie, waaraan dan ook voornamelijk de kengrootheden voor technologisch verkennen zullen worden ontleend. Zodra dit soort industriële producten zich meer en meer naar standaardproducten ontwikkelt (en dit geldt ook voor vele half-fabrikaten die in bulk worden gefabriceerd, zoals bouwmaterialen als cement en be-

ton, verpakkingsmaterialen als glas en plastics, vele petroleumproducten en andere mijnbouwproducten als ijzer), verschuift bij de producent de drang tot technologische innovatie naar maatregelen om kosten te besparen: de afnemer blijft aan deze producten kwaliteitseisen stellen, vaak gecombineerd met eisen ten aanzien van het gemak waarmee deze producten te gebruiken zijn.

Het aantal technologische criteria waarop de ontwikkeling moet worden getoetst, neemt dan toe (onderhoud¹⁾, bezettingsgraad apparatuur, flexibiliteit) en de economische criteria worden belangrijker (eenheidsprijs voor het produkt én eenheidsprijs voor de fabriekapparatuur). Wordt het goed bovendien gemeengoed (een "commodity") zoals de auto, voedingsmiddelen, cosmetica, voorzieningen als drinkwater en elektriciteit, dan wordt het streven van de fabrikant gericht op maximalisering van de jaaromzet. Criteria voor de economie (volume zowel als marge) en voor de sociale organisatie (distributie, advertenties, promoties en verkoop) zijn dan belangrijker dan die voor de technologie. Zo kan men voortgaan bij het maken van een indeling: de fabrikant van kapitaalgoederen (machines, constructieapparatuur, landbouwmachines enz.) zal, met behoud van de gewenste (technologische) functies, streven naar lagere installatiekosten dan zijn concurrenten en zal derhalve bij zijn technologisch verkennen sterk leunen op technologische cijfers. Het reisbureau (of andere vormen van dienstverlening) zal de hoogste bevrediging per eenheid van prijs willen leveren, waarbij slagvaardigheid en improvisatietalent ten aanzien van zowel het onderkennen van de behoefte als de informatiegaring doorslaggevend zijn, zodat hier de nadruk valt op de kenmerken voor de organisatieontwikkeling, de toegankelijkheid van de informatie enz.

Voorbeelden van parameterkeuze

Kopergebruik voor elektriciteitsvoorziening

Als eerste voorbeeld nemen we een verkenning van het toekomstige kopergebruik voor de elektriciteitsvoorziening. Neemt men als criterium het kopergebruik per jaar per hoofd van de wereldbevolking, dan ziet men tussen 1910 en 1950 een lichte stijging van 0,6 kg per hoofd per jaar tot ongeveer 2 kg per hoofd

¹⁾ Dit leidde in Engeland reeds tot een nieuwe benadering van de onderhoudsfunctie en dus (!) tot nieuwe specialisten, terotechnologen.

Tabel 1. Ontwikkeling van het kopergebruik voor de elektriciteitsvoorziening sinds 1920 [31].

Jaar	Kg per jaar per hoofd van de wereldbevolking	Ibid. in de geïndustrialiseerde landen	Ibid. voor de elektriciteitsvoorziening alléén	Kg per jaar per verbruikt kWh per jaar***	Index verhouding capaciteit grootste centrale en kwadraat van het transport-voltage (1920 is 1)
1920	0,6	1,5	1,0	1	1
1930	0,9	2,5	2,0	1	1
1940	1,1	3,0	2,5	1	1
1950	1,4	4,6	3,5	1	1
1960	1,9	6,0	5,0**	0,75	0,75
1970	2,0	9,0	9,0**	0,50	0,50
1980*	2,0	14,0	14,0**	0,20	≥0,20****

* Prognose.

** Rekening houdend met substitutie van koper door andere materialen in overig gebruik.

*** Veronderstelling: constante afschrijftermijn voor de distributiesystemen voor elektriciteit.

**** Begin noodzaak tot vervanging van koper voor het transport van elektriciteit.

per jaar. Daarna blijft dat kengetal constant op 2 kg per hoofd per jaar tot vandaag, ondanks een enorme stijging van het elektriciteitsgebruik in de geïndustrialiseerde wereld na 1955-1960 (zie [31] en tabel 1, kolom 1).

Een prognose voor de toekomst op deze basis is duidelijk: een constant blijvend hoofdelijk koperverbruik, maar zulk een uitspraak is weinig zinvol. Immers het overgrote deel van de wereldbevolking, dat geen koper voor deze toepassing gebruikt, steeg veel sneller in aantal dan het deel dat het wel hiervoor gebruikt. Derhalve kan men overwegen het koperverbruik per jaar uit te drukken per hoofd in de geïndustrialiseerde wereld (tabel 1, kolom 2). Er ontstaat een tijdreeks met een stijging, die nog aanzienlijk minder is dan de stijging in het elektriciteitsverbruik. Een volgende stap is dan het verbruik voor overige toepassingen van koper hiervan af te trekken, rekening houdend met het feit dat er in dit overig verbruik substitutie (door plastic) plaatsvond (tabel 1, kolom 3). Nu blijkt dat, althans tot ongeveer 1950-1955, het koperverbruik gelijke tred houdt met het verbruik aan elektrische energie, daarna neemt het relatief af (tabel 1, kolom 4).

Hier werken twee tegengestelde factoren:

— Grotere elektriciteitscentrales verlengen de transportafstand en dus het verbruik van koper en verhogen ook de bedrijfsnoodzaak tot koppelnetten over te gaan;
— Verhoging van het voltage waarbij wordt getransporteerd, doet dit verbruik afnemen (ten koste van vermogensverlies). Dit vraagt nader onderzoek hoe de lengte van het net en de grootte van de centrales zich ontwikkelden, alsmede technologisch inzicht in de mogelijkheden en gevolgen van het transport bij hogere spanning. Slechts op grond van dit inzicht in de fijnstructuur van de technologische ontwikkeling is te begrijpen hoe het specifieke kopergebruik voor dit doel afhangt van de capaciteit van de centrales en van het toegepaste voltage. Voor het laatste kan men dan nog onderscheid maken tussen de verschillende klanten: industrie, vervoer (bijv. elektrificatie spoorwegen) en huishoudens. Zodra dat inzicht aanwezig is, valt het verloop tot dusver te "begrijpen" (tabel 1, kolom 5) en kan tot technologisch verkennen worden overgegaan. Dan blijkt dat de mogelijkheden om in enkele decennia veel lager te komen dan 0,2 kg/kWh vrij gering zullen zijn, zodat het knelpunt in de kopervoorziening ten behoeve van onze sterk stijgende elektriciteitsbehoefte reeds binnen één generatie van nu is te voorzien. Parallel hiermee loopt het aanleggen van kopervoorraden in de grote, dunbevolkte, geïndustrialiseerde landen, waarover de cijfers schaars zijn, maar uit een balans van de koperstromen over de wereld blijkt dat deze zonder de veronderstelling van voorraadvorming niet kloppend is te krijgen. Ingangen tot technologisch verkennen worden dan: vergroting van de recirculatiestroom van koper "at a price" (van 30-40% nu tot het dubbele in tien jaren van nu), vervanging van koper voor elektriciteitstransport (door aluminium, de energieverlinder?) of alternatief energietransport (waterstof?), produktie in kleinere eenheden voor de basisbehoefte (lagere rendementen bij de opwekking, minder koelproblemen en andere vervuilingproblemen) en beteugeling van het gebruik (betere rendementen, vooral ook in huishoudens; integrale energiehuishoudingen). De strategieën die daaruit voort kunnen komen, hangen sterk af van de doel-

stelling die men de elektriciteitsbedrijven laat. Bijv. een maximalisatie van de jaarafzetten (bij door de overheden geknepen marges als onbetekend element in de inflatiebestrijding en derhalve bij geringe mogelijkheden tot zelffinanciering in deze industrietaak) zal een andere strategie vragen dan een doelstelling die gericht is op minimalisatie van alle kosten, de externe daarbij inbegrepen.

Wat leert ons dit voorbeeld? De naïeve parameter: koperverbruik per jaar per hoofd van de wereldbevolking, bood ons geen houvast; uitgedrukt per hoofd van de geïndustrialiseerde wereld had hij al meer betekenis en wel des te meer, indien hij voor het overig gebruik werd gecorrigeerd. Zó was hij in verband te brengen met het verbruik aan elektrische energie, waarbij de samenhang met de (stapsgewijze) ontwikkeling in de hoogspanningstechniek en in de schaalvergroting van centrales inzicht gaf in de verhouding: koperverbruik per hoofd per jaar voor de elektriciteitsvoorziening en het verbruik aan elektrische energie per hoofd per jaar¹⁾. Dit kengetal, dat nu te "begrijpen" is in relatie tot de technologische ontwikkeling tot dusver, werd daardoor bruikbaar voor technologisch verkennen, zodat dit eigenlijke werk kon beginnen. Dat betekende, dat de ontwikkeling daarvan in verband kon worden gebracht met verwante ontwikkelingen zoals in het hamsteren en in de retourhandel van koper. Het ontwerpen van toekomststrategieën op basis van dit inzicht is dan alleen mogelijk indien de doelstellingsfunctie van deze bedrijvigheid duidelijk is gesteld.

Groei van het aantal personenauto's

Een tweede voorbeeld wordt geleverd door de groei van het wagenpark van personenauto's in ons land. Om de groeiwetten voor dit park op te sporen, kan men de volgende ingangen voor een analyse kiezen: de jaarlijkse aankopen (eventueel gespecificeerd naar klasse), de omvang van het park en de groei daarin, de leeftijdsverdeling van het bestaande park, de economische levensduur (eventueel gespecificeerd naar eerstehands bezit, tweede- en meerdere handsbezit), het aantal rijvaardigheidsbewijzen, het aantal autoverzekeringen, de omvang van de kneusjesmarkt (bijv. uit Duitsland), de technische levensduur, de relatieve prijs voor auto's e.a..

Hoe men daarbij te werk zal gaan, zal mede afhangen van de beschikbaarheid van de gegevens. Meestal zijn de marktgegevens via producenten- en handelsorganisaties het beste bereikbaar. Liefst zal men geen afgeleide grootheden (bijv. over de groei in het aantal verzekeringen) willen gebruiken, omdat men dan onzekerheden introduceert in de vertaling daarvan.

Cramer [32, 33, 34] laat zien wat voor een verband er bestaat tussen de omvang van het wagenpark en de jaarlijkse aankopen: de omvang van het park is vrijwel gelijk aan de som van alle aankopen tot op heden

¹⁾ In feite zit hierin nog verkapt de niet geverifieerde stelling dat de afschrijvingsperiode voor het distributiesysteem constant is gebleven (bijv. 40 jaren); zo niet, dan had het kengetal moeten luiden: geïnvesteerde hoeveelheid koper per eenheid van geïnstalleerd vermogen.

verminderd met de som van alle aankopen tot negen jaar geleden (dit is na te gaan m.b.v. tabel 2).

Tabel 2. De ontwikkeling van het Nederlandse park van personenauto's sinds 1950 (in 1000 stuks), [32, 33, 34].

Jaar	Aankopen in dat jaar	Som van alle aankopen tot dat jaar	Omvang van het wagenpark in dat jaar
1950	34	59	—
1951	20	79	—
1952	21	100	—
1953	29	129	—
1954	45	174	—
1955	64	238	—
1956	70	308	—
1957	65	373	—
1958	56	429	—
1959	79	498	421
1960	102	600	492
1961	123	723	—
1962	147	870	700
1963	187	1057	866
1964	228	1285	—
1965	275	1560	1250
1966	249	1809	1502
1967	300	2109	1720
1968	354	2463	2000
1969	407	2870	2290
1970	469	3339	2500

Het opvallende is, dat de statistiek in dit opzicht ergodisch is. De reden daarvoor is dat de technische levensduur van de auto, in afwijking van het populaire geloof, constant is gebleven over de jaren: ruim 10 jaren¹⁾ (vóór de tweede wereldoorlog ongeveer 8 jaren).

De tweede regel, die ook uit tabel 2 is af te lezen, is de volgende: de aankopen in een jaar zijn ongeveer gelijk aan $1/6$ x de som van alle aankopen die tot dat jaar zijn gedaan. Ook deze regel blijkt een (vrijwel) ergodische wet, die het groeimechanisme van de personenautomarkt verklaart. Hij zegt dat er per jaar 1 op de 6 eerstehandswagens wordt ingeruild voor een nieuwe. Deze inruilwagens vormen dan een onelastisch aanbod op de tweedehandsmarkt, waarvoor de prijs zich zó instelt dat ze ook worden afgenomen. De koop- en inruilgewoonten van de eerste bezitters bepalen meer dan enige andere factor de groei in het aantal auto's. Een "turn-over"-snelheid van nieuwe auto's van 16% per jaar leidt tot een verdubbelings-tijd van 5 jaren (vergelijk tabel 2).

Uit de gewoonte van hen die auto's nieuw plegen te kopen (1 op de 6 wordt per jaar ingeruild), volgt de gemiddelde levensduur in de eerste hand: $2\frac{2}{3}$ jaar. Dit gegeven is zelden afzonderlijk onderzocht. Uit CBS-enquêtes van 1963 en 1965 zou kunnen blijken dat deze grootheid over de jaren niet of nauwelijks verandert.

De relatieve prijs voor een auto van constante kwaliteit daalt met de seriegrootte. Indien de seriegrootte met de omvang van het park in ongeveer 5 jaren zou verdubbelen, zou dit betekenen dat de relatieve prijs in constante kwaliteit ongeveer in 15 jaren zou halveren. Gevonden wordt een daling daarvan in 15 jaren tot ongeveer 60% (reden voor het "kleine" verschil: grotere diversificatie in de modellen).

¹⁾ Dat de omvang van het park niet gelijk is aan de som van de aankopen over de laatste 10 jaren, maar wel aan deze som over de laatste 9 jaren, komt doordat sommige auto's voortijdig worden vernield.

De ontwikkeling in het aantal uitgegeven rijvaardigheidsbewijzen, de groei van het aantal autoscholen, de toename in het aantal autoverzekeringen en de groei in de kneusjesmarkt zijn nu tegen deze achtergrond aan inzicht te bestuderen en te begrijpen, indien men daarnaast in de gaten houdt de veranderingen die in de wet werden aangebracht en de groei van het autopark in W-Duitsland (dat volgens gelijke wetmatigheden verloopt, maar op ons voorloopt, zodat daar de prijs voor een tweedehands wagen relatief lager ligt).

Uit dit tweede voorbeeld blijkt wederom dat men eerst inzicht dient op te bouwen in de onderlinge afhankelijkheid van nogal een groot aantal technische, economische en maatschappelijke parameters voordat tot technologisch verkennen kan worden overgegaan. Zo zal bijv. een extra heffing op de aankoop van een auto ten behoeve van wedergebruik van het schroot, gezien de aard van het groeimechanisme, nauwelijks van invloed op deze groei zijn. Extra belasting op het rijden zelf zal vooral de marginale groepen treffen, waartoe gaan behoren de huismoeders en de opgroeiende jongeren (tweede en derde auto in het gezin), die dan waarschijnlijk niet van de auto afzien, maar elders besparingen vinden (bijv. op het onderhoud van de auto). De omvang van het te verwachten schrootaanbod in de vorm van autowrakken is nu ook te bestuderen, met de conclusie dat dit aanbod in de komende jaren zo zal stijgen dat een professionele retourorganisatie reeds nu moet worden opgezet.

Normatieve verkenningen worden eerst dan mogelijk indien de doelstellingen van bijv. het openbaar vervoer, de zorg voor wegen enz. duidelijk door de gemeenschap worden omschreven.

Daarbij kan dan ook de introductie van de elektrisch aangedreven auto, die binnenkort voor stadsverkeer technisch mogelijk wordt, worden beschouwd. Eén zaak is wel reeds duidelijk: al is technisch met deze auto de prestatie van een auto met explosiemotor te bereiken voor stadsverkeer, hij zal, wil hij kunnen concurreren, meteen moeten worden uitgebracht in een serie-omvang die te vergelijken is met de seriegrootte die de gewone auto nu bereikt. Dat betekent een enorme "entrance fee" voor de ondernemer die met dit nieuwe systeem de markt op wil gaan [35].

Groei in de procesindustrie

Als derde voorbeeld kiezen we de schaalvergroting in een industrie die zwaar op technologie en wetenschap steunt, de procesindustrie. In figuur 1 is ter illustratie het verbruik van ammoniak en de geïnstalleerde capaciteit voor de produktie daarvan in de Verenigde Staten uitgezet tegen de tijd [36].

Het opvallende van dit soort industrie is dat de beschikbare capaciteit stapsgewijze groeit, doordat schaalvergroting technologisch slechts in stappen mogelijk is. De benuttingsgraad van de produktiemiddelen zakt dus bij het begin van iedere stap en stijgt dan weer met het toenemend verbruik. De prijs van het produkt schommelt mee met de benuttingsgraad. Groei in dit soort industrieën is altijd schoksgewijs en gaat met conjunctuurschommelingen gepaard vanwege de aard van het technologische vernieuwingsproces:

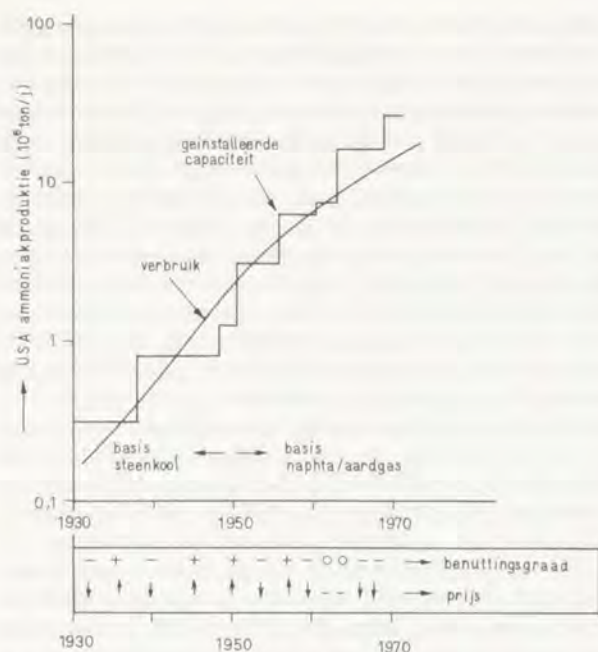


Fig. 1. Het verband tussen de geïnstalleerde capaciteit en het verbruik voor ammoniak in de USA [36].

een verschijnsel dat iedere krantelezer kent (synthetisch textiel, polypropyleen, gespecialiseerde bulkscheepvaart enz.). Die conjunctuurschommelingen zijn het hevigst in die landen die een kleiner marktaandeel bestrijken, dus in Canada sterker dan in de Verenigde Staten, in Australië sterker dan in Japan en in Oost-Europa en de Mediterrane landen sterker dan in West-Europa. De reden is dat deze kleinere producenten toch binnen luttele jaren de schaalvergroting moeten volgen die de grotere producenten reeds hebben bereikt (om hun concurrentiepositie te handhaven), alhoewel de groei van hun markt dit nog maar nauwelijks kan rechtvaardigen.

Een analyse van de technologische problemen die kunnen optreden bij het in schaal vergroten van bestaande processen en de karakterisering daarvan met kengetallen, zou zeer nuttig kunnen zijn voor toekomstverkenningen in dit soort industrie. De technologie laat hier echter verstek gaan; zulk een analyse ontbreekt, althans de resultaten ervan zijn niet algemeen toegankelijk. De economische kengetallen voor vergroting, zoals kostprijs in relatie tot capaciteit, besparingen op energie, grond en arbeid als functie van grootte, kosten van aanloop, bedrijfszekerheid, onderhoud, veiligheid en flexibiliteit als functie van de omvang, zijn beter bekend dan de technologische. Vergroting door over te gaan op een geheel nieuwe procesvoering of op een nieuwe grondstof (vergelijk ook figuur 1) heeft altijd iets unieks, zodat daarin niet veel te systematiseren zal zijn. De fysisch- en chemisch-technologische vergrotingsregels zijn in principe dezelfde als voor de vergroting van proef-fabriek naar fabriek, al kunnen praktische toeslagen (voor vervuiling of voor veiligheid) een rol gaan spelen. De onkunde over de technische knelpunten en hun mogelijke oplossingen liggen vooral op de gebieden van **constructie** (lastechnieken, lageringen, doorvoeringen en afdichtingen), **montage** (transport bijv. van pijpenpakketten van koelers, kraanhoogten, zwaaiercirkels van kranen welke lay-out en dus grond-

gebruik kunnen bepalen, verticale of horizontale bouw), **voorzieningen** (bijv. fornuizen met hun materiaal- en vervuilingproblemen en dus frequente inspectie en reparatie), **appendages** (afsluiters met problemen van regeling bij vergroting, afdichting en onderhoud, veiligheidskleppen), **pompen en compressoren** (type en rendement, toelaatbare tipsnelheden), **opslagtanks** (toelaatbare grondbelasting, las- en gloeitechniek, materiaalkeuze en toelaatbare spanning, verhouding hoogte tot diameter, prijs per eenheid van inhoud) en **organisatie en planning van bouw** (logistiek van mensen en materialen, inspectie, kritisch pad, grootte van bedieningspanelen en hun ergonomische grenzen, onderlinge afhankelijkheid van fabrieken in een industriële agglomeratie enz.). Het zou aanbeveling verdienen deze grensbepalende technische aspecten eens in Klvl-verband diepergaand te bestuderen (zie ook [37, 38, 39]).

Ook in dit voorbeeld bleek weer dat er eerst een aantal factoren in onderlinge samenhang zijn te bestuderen alvorens op verantwoorde wijze tot technologisch verkennen te komen: verbruik, geïnstalleerde capaciteit, benuttingsgraad, verloop van de kostprijs van de produkten (zowel trendmatig als vooral ook conjunctureel; zowel in grote als in kleine markten), samen met een analyse van het eerstvolgende technische knelpunt in de schaalvergroting en van zijn mogelijke oplossing. Daar deze knelpunten stapsgewijs tot een oplossing komen, blijkt dat, althans in één type industrie, het aanpassen en extrapoleren van groeicurven die worden verondersteld continu te lopen, een hachelijke zaak is. Daarop wordt in paragraaf III teruggekomen, terwijl het feit dat trendverschuiving zelden zonder conjuncturele schommeling gepaard gaat in paragraaf IV opnieuw ter sprake zal komen.

III. Keuze van de tijdparameter en het tijdbestek

Zet men bijv. de verplaatsingssnelheid van de mens uit van het nomadentijdperk tot nu, of de vuurkracht van de soldaat vanaf de middeleeuwse boogschutter tot de infanterist bewapend met een Uzi of een Bazooka, dan vallen alle ontwikkelingen die van werkelijk belang zijn zo te zeggen tussen 3 voor 12 en 12 uur. Men krijgt dan zeer gedegenereerde groeicurven, waarin iedere fijnstructuur van veranderende sociale, economische en internationale verhoudingen ontbreken. Voorspellingen op dit soort basis zijn vaak niet alleen naïef, maar ook absurd. Bijv. bestudeert men zo de overschakeling van hout op kolen, op olie, op gas, op kernsplijting als bronnen voor de energievoorziening, dan volgt daaruit ogenschijnlijk een natuurwet dat de mens iedere 50 jaren op een andere brandstof overgaat. Het tijdbestek van de studie moet derhalve een ruimte omvatten waarin de aard van de drijvende krachten voor de ontwikkeling niet veranderde. Zo zullen bijv. studies over technologische verkenningen van ontwikkelingen in de Europese landbouw "discontinuïteiten" vertonen omstreeks 1650, 1850 en 1950 en studies over de ontwikkeling van het toerisme "discontinuïteiten" in 1880, 1920 en 1950, studies over de chemische industrie

in 1920 en 1950 en demografische studies in 1400, 1700 en 2000. Wezenlijke schoksgewijze gebeurtenissen moet men niet proberen weg te middelen door het aanpassen van curven zonder eerst na te gaan of de grondslagen voor de ontwikkeling zich niet wezenlijk hebben gewijzigd (zoals waarden en normen, grondstoffenvoorziening, internationale afhankelijkheid enz.). Anderzijds laten zulke "discontinuïteiten" zich ook niet voorspellen. In wezen is de basis voor technologisch verkennen dat zulke schokken te vermijden zijn. Beschouwingen over technologisch verkennen zijn verrassingsvrij ("surprise free").

Eén methode om na te gaan of de aard van de krachten die de ontwikkeling vóór en na een schok drijven gelijk is gebleven, is: niet alleen de groei te beschouwen, maar ook te analyseren hoe het oude verviel. Blijkt deze vervalcurve gedegenereerd te zijn, dan is er meestal een verandering in de drijvende kracht (bijv. verval centrale verwarming met oliestook in Nederland, maar versnelling in de groei van het percentage gasgestookte centrale verwarmingen door snelle aardgasexploitatie).

Soms blijken de drijvende krachten vóór en na een schoksgewijze verandering in aard gelijk te blijven. Dan is hiervoor te corrigeren door contractie van de tijdas over de duur van de schok (wereldoorlog, epidemie, overstromingsramp, geldcrisis enz.). Zo kan men bijv. de groei in het autopark, het verbruik van autobanden, de groei in aantal van wetenschappelijke artikelen en congressen en in aantal afgestudeerden sinds de laatste eeuwwisseling tot nu, als een continu proces bestuderen indien men op de tijdas 1916-1918 en 1942-1945 weglaat. Een kenmerkend voorbeeld daarvan zijn de Olympische records welke te "begrijpen" zijn indien men ze uitzet tegen het nummer van de spelen en niet tegen de tijd. Figuur 2 geeft deze records voor de snelheid op de 100 m hardlopen en voor polsstokhoogspringen. Ken-

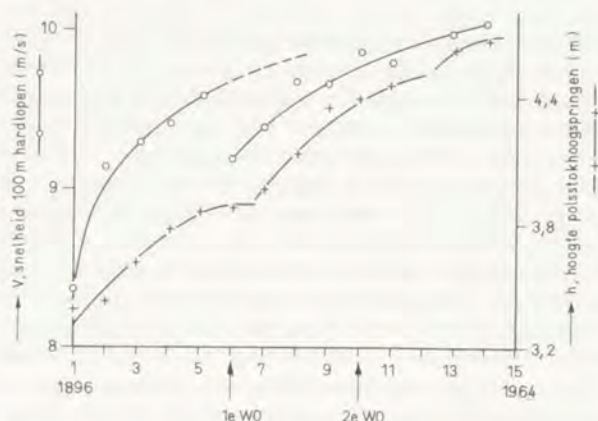


Fig. 2. Olympische records 100 m hardlopen en polstokhoogspringen.

nelijk zet men zich slechts af tegen het laatste record. De eerste wereldoorlog is voor de toen nog alleen op zichzelf aangewezen sportsman een wezenlijke onderbreking; de tweede, dank zij training, professionalisme, voedings- en bewegingsstudies en psychologische begeleiding, niet meer. Na het invoeren van de glasvezel polsstok, die minder energieverlies

geeft (tweede breekpunt in de curve), worden beide krachtsexplosies vergelijkbaar ($v^2 \approx 2gh$). Zulke fysische verbanden zijn ook tussen de records van andere uitgekende sporten te leggen (discuswerpen en verspringen, optimalisatie krachtsinspanning over verschillende afstanden hardlopen). Deze sporten komen in het gebied van de afnemende meeropbrengst: de seconde die Davis (V.S.) in 1960 op de 400 m hardlopen won was veel duurder betaald dan de seconde die Carr (V.S.) in 1932 op deze afstand won. De competitie in deze sporten zal meer en meer afhankelijk zijn van nauwkeuriger meettechnieken en van individuele uitschieters die tot records leiden die zich langer handhaven.

Verbeteringen zullen marginaal zijn (iets betere verdeling van rotatie- en translatie-energie en van het beter benutten van de "lift" bij springen bijv.). Bij het schaatsen daarentegen is, indien men de records analyseert, de maximale perfectie nog geenszins bereikt, niet op de 500 m en op de 10 km, maar zeker niet op de 3 km [40]. De records op de laatste afstand, die eerst later (in 1936) werd toegevoegd, lopen achter bij die van de klassieke afstanden (de gemiddelde snelheid op de 10 km is bijna 10% hoger dan die op de 3 km). Kennelijk is het streven naar perfectie toch meer een proefondervindelijk leerproces dan een proces dat zich laat sturen en plannen.

IV. Continue beschrijving versus discontinue ontwikkeling

Tot dusver zijn we een aantal voorbeelden tegengekomen van in wezen discontinue verschijnselen (schaalvergroting in industrieën die de hoogst mogelijke kwaliteit leveren per eenheid, terugkerende wedstrijden of (wereld-)handelstentoonstellingen, schokkende gebeurtenissen enz.). Toch beschrijven we (onder de dwang van de integraal- en differentiaalrekeningen?) deze gebeurtenissen als continu. Daarin zit al een belangrijke vooronderstelling verscholen. Tijdreeksen als gevolg van het discontinue bemonsteren van een in principe continu proces en tijdreeksen van een in principe discontinue proces zijn toch wel twee verschillende zaken. De methoden van analyse en beschrijving zouden in beide gevallen wel eens kunnen verschillen.



Fig. 3. De ontwikkeling van het ruwe olietransport en de grootte van de tankers [36].

Figuur 3 geeft als voorbeeld de groei van het wereldtransport aan ruwe olie en de groei in de maximale grootte van de daarvoor ingezette tankers. Er zijn daarin twee soorten discontinuïteiten te onderscheiden. Ten eerste die, welke we reeds leerden kennen als een technologische hebbelijkheid van de schaalvergroting in een bedrijfstak die de kosten minimaliseert. Ten tweede die, welke samenhangen met een veranderende bedrijfsstrategie (in casu ten gevolge van een toenemende politieke instabiliteit in het Midden-Oosten en van een te voorziene toespitsing van het politieke belang in dit gebied van de geïndustrialiseerde wereld vanwege zijn sterk groeiende energiebehoefte bij afnemende exploiteerbare hoeveelheden). Een scheepswerf, die zijn technologische ontwikkeling zou hebben afgestemd op het in de pas lopen met de transportbehoefte alléén¹⁾, zou in 1956 reeds 5 jaren en in 1966 al 8 jaren op de vraag hebben achtergelopen. Voorzag het bedrijf de extra drijvende kracht van schaalvergroting ten gevolge van de politieke ontwikkelingen wel en anticepeerde het daarop technologisch (bijv. de noodzakelijke overgang van één naar twee scheepsschroeven om bij de supergrote tankers toch de gebruikelijke vaarsnelheid te behouden), dan nog kon het moeilijkheden ondervinden in de kostprijscalculatie van deze technische huzarenstukjes (Verolme).

Niet alleen blijkt uit dit voorbeeld wederom de onderlinge afhankelijkheid van vele factoren (groei van de behoefte, de economie van nieuwe routes gekozen om politieke redenen, de daarmee samenhangende verschuiving in de tanker-brandstof en de ontwikkeling in het gebruik van pijpleidingen), maar ook het belang van goed inzicht in de technologische fijnstructuur van de stapsgewijs te realiseren schaalvergroting. Een "curve-fitting" op de ontwikkeling van de grootte van de tankers zou beide discontinuïteiten hebben uitgemiddeld en een prognose op basis daarvan zou aardig bezijden de waarheid zijn geweest, zowel na 1956 als na 1966.

V. Enkelvoudige versus meervoudige afhankelijkheid

In de inleiding (I) is reeds betoogd dat ieder model voor technologisch verkennen de mogelijkheid voor een interne toets zou moeten hebben en dat dit slechts mogelijk is indien ten minste twee onderling samenhangende parameters voor de ontwikkeling op hun tijdsgedrag worden onderzocht. Alle tot dusver gegeven voorbeelden toonden ook aan dat zulke meervoudige ingangen tot een probleem van technologisch verkennen ook steeds te vinden zijn. Wat tot nu ontbrak in de gebruikte modellen, was een a priori veronderstelling over de samenhang van deze afhankelijk variabelen. Bestudeert men nu de beschikbare modellen voor technologisch verkennen, dan blijkt dat ze in feite wel twee parameters bevatten, maar in zulk een gedegeneerde vorm, dat er ogenschijnlijk geen

noodzaak bestaat de a priori veronderstelling over hun samenhang ook te toetsen. Bijv. in het Isenson-Gompertz-Pearl-model over de acceptatie van een nieuw produkt is de veronderstelling dat de snelheid van acceptatie evenredig is met het produkt van de fractie potentiële kopers die reeds overtuigd zijn en de fractie die dat nog niet is (een soort gravitatiewet), a priori geponeerd. Daar natuurlijk de som van deze fracties gelijk aan de eenheid is, vervalt mathematisch formeel de noodzaak deze gravitatiewet afzonderlijk te toetsen. Er zijn echter goede "marketing"-methoden om dit te verifiëren en alhoewel blijkt dat deze "wet" vaak opgaat, zijn er toch ook wel (verklaarbare) uitzonderingen daarop bekend.

Ik zal in woorden (dus zonder formules) nu een aantal van zulke modellen beschrijven, om duidelijk te maken hoe er steeds minstens twee meetbare afhankelijke grootheden in verscholen zitten. Daarna laat ik enige uitgewerkte voorbeelden zien, vooral ook om aan te tonen hoe gevaarlijk het is zich zonder model en dus zonder toets op een type formule vast te leggen (als een waarschuwing tegen gebedsmolentechnieken).

Model van de toren van Babel

Het eerste model is dat wat ik het model van de toren van Babel wil noemen (hier in een stationaire maatschappij, in paragraaf VII komt het terug voor een expanderende maatschappij). Volgens het bekende schilderij van Brueghel is er per gerealiseerde hoogte van deze toren een gegeven aantal bouwvallers voor onderhoudswerk nodig, die dus aan de werkers op de hoogste trans moeten worden onttrokken. Derhalve neemt de hoogte van de toren exponentieel asymptotisch toe, tot alle beschikbare bouwvallers zich met onderhoud en reparatie moeten bezig houden. De verhouding tussen de fracties spitswerkers en restaurateurs, die evenals de hoogte afzonderlijk te meten is, neemt daarmee exponentieel af. Een dergelijk model beschrijft bijv. de groei van het percentage monniken in leerorden tussen 1200 en 1600 in tegenstelling tot die welke in agrarische orden werkten, of de huidige groei van het percentage werknemers in de bibliotheek verzorging (informatiediensten, bibliografische diensten, bibliotheken, vertaal- en copieerafdelingen enz.) ten opzichte van het totaal aantal werkers in deze bedrijfstak (dus inclusief drukkerijen, uitgeverijen en verkoop). In beide gevallen is naast het percentage werkers in de verzorging, ook de hoogte van de (ditmaal "ivoren") toren te meten (bijv. het volume aan boeken en geschriften).

Model van de oerwoud expeditie

Een tweede model om hier te beschrijven is dat van de expeditie in de jungle. Het beschrijft hoe ver een expeditie kan komen, indien men na iedere dag reizen een voorraad opslaat voor de terugkeer en de dragers met lege manden (vanwege het feit dat er die dag gegeten is en er een voorraad is aangelegd) terugstuurt met voldoende eten om weer bij het beginpunt te komen. Het is dus een vervalmodel, geen groei-model. Het aantal deelnemers blijkt exponentieel af te nemen tot het eindpunt, dat door de helft van de deelnemers wordt bereikt. De resterende voorraad proviand, de tweede afzonderlijk te meten parameter, blijkt ook exponentieel af te nemen, maar niet asymp-

¹⁾ De maximaal mogelijke diepgang bijv. voor het Suezkanaal, voor de Straat van Malakka, voor de Perzische golf en voor de Golf van Mexico waren of worden punten van mede-overweging voor de tankergrootte.

totisch (er is natuurlijk een "point of no return"). Zulk een model beschrijft bijvoorbeeld de verpaupering van de boerenstand in West-Nederland en de ontvolking van het platteland tot 1940. Wederom is het dan van belang niet alleen het verloop van de aantallen op het land en in de stad te meten, maar ook het verloop in we'stand.

Zendingen-bekeerlingen model

Als derde en laatst te beschrijven groei- (of verval-) model (er zijn er veel meer) kies ik het zendingen-bekeerlingen model. Dit neemt aan dat iedere zending in een gegeven tijd een gegeven aantal bekeerlingen maakt, waarvan een deel (een fractie of de wortel van het aantal) weer zending wordt. De twee parameters om in de tijd te vervolgen, zijn dus het aantal bekeerlingen en het aantal zendingen. Het model veronderstelt een onbeperkt aantal heidenen. Het is bijv. in staat de groei van een school (een type opleiding of schoolsysteem) te beschrijven over een tijd waarin men mag blijven aannemen dat het aantal ezels onbeperkt is. Volgens dit model blijkt dat het aantal zendingen vrijwel lineair met de tijd toeneemt en het aantal bekeerlingen vrijwel kwadratisch.

Vergelijkt men dit laatste model met van de toren van Babel, dan is er overeenkomst (dàar groei van leerorden, hier groei van scholen), maar ook duidelijk onderscheid (daar vordert het werk in eerste instantie lineair met de tijd, hier kwadratisch), waaruit maar weer eens blijkt hoe belangrijk de keuze van en de toets op het model is om tot enige betrouwbaarheid te komen. Henry Adams stelde reeds in 1907 dat voor dit soort voorspellingen het noodzakelijk is de tweede afgeleide van de tijdreeks voldoende nauwkeurig te kennen. In dat licht ontbreekt er nog wel wat aan onze basisgegevens en de manier waarop deze worden verzameld.

Laten we, voordat we tot de conjunctuurmodellen

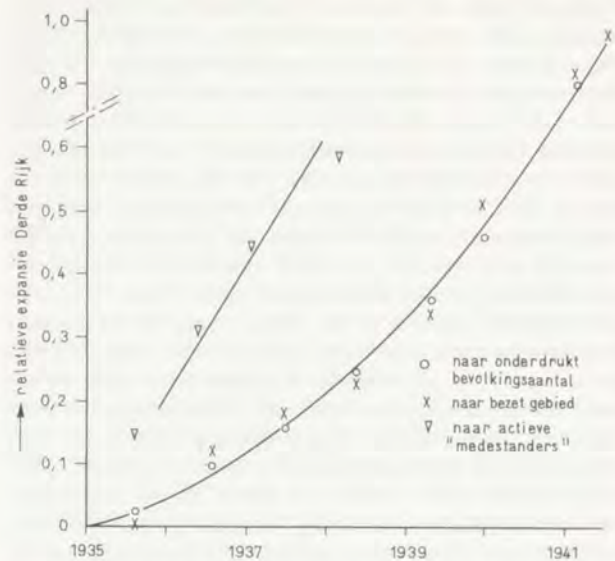


Fig. 4. De relatieve expansie van het Derde Rijk [41].

overgaan, eerst twee voorbeelden van groei- en vervalmodellen inlassen.

Het eerste handelt over **de relatieve expansie van het Derde Rijk**, naar onderdrukt bevolkingsaantal, naar de omvang van het bezet gebied en naar het aantal actieve medestanders (NSB-achtige bewegingen); zie figuur 4 [41, 42]. Het blijkt dat het zending-bekeerling model (te vertalen in medestander-onderdrukte model) hier beter voldoet dan het toren van Babel model (restaurateur te vertalen in bezettende macht). Het is vooral de versnelling (en niet zozeer de snelheid) van expansie van de Nazi-beweging tussen 1935-1939 geweest, die de ontwikkeling aan impuls deed toenemen. Zuivere expansie betekent vertraging (toren van Babel model), versnelling betekent geloof in of minstens behoefte aan een nieuwe orde (het idee van de corporatieve staat; katholiek reveil; Colijn, elementen in Nederlandse Unie).

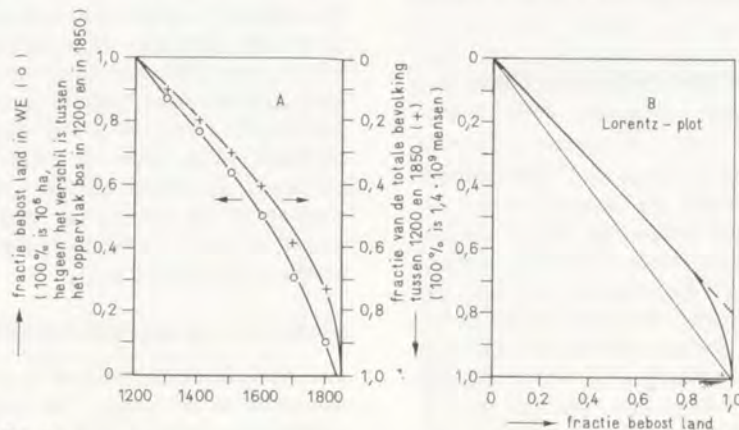


Fig. 5.

A. De afname van de fractie bebost land in West-Europa en de toename van de fractie van de bevolking die in totaal tussen 1200 en 1850 in West-Europa heeft geleefd als functie van de tijd [43].

B. Beide in figuur 5 A genoemde fracties in een Lorenz-plot tegen elkaar uitgezet.

Het tweede voorbeeld gaat over **de ontbossing in West-Europa** tussen 1200 en 1850. In figuur 5 A is de fractie bebost land voor dat tijdsbestek uitgezet (de norm is het verschil in bebost land tussen 1200 en

1850: 10^9 ha¹⁾), benevens de cumulatieve fractie van de bevolking, die totaal tussen 1200 en 1850 in West-

¹⁾ In figuur 5A is foutief 10^6 ha aangegeven.

Europa leefde (= $1,4 \times 10^9$ mensen), zie [43] en verschillende encyclopedieën als ENSI en Winkler Prins). Beide fracties vertonen het bekende exponentiële verloop van de demografische wetmatigheid (tot 1650 vrijwel lineair). Om nu uit te maken of bevolkingsdruk en ontbossing inderdaad rechtstreeks aan elkaar zijn gecorreleerd, zijn beide in een Lorentz-plot¹⁾ tegen elkaar uitgezet (figuur 5 B). Hieruit blijkt dat inderdaad 80% van al het verloren bos over al die eeuwen in vrijwel gelijke mate is benut door alle generaties die in dat tijdsbestek leefden. Dat betekent natuurlijk een versnelde ontbossing na 1600-1650, als de bevolkingsexplosie begint. Echter blijkt uit de Lorentz-plot ook, dat ongeveer 20% van al het verloren bos extra is gebruikt door de twee generaties die tussen 1800 en 1850 leefden (10% van de totaal beschouwde bevolking). Mocht dus tussen 1200 en 1800 een vrij simpel model gelden, na 1800 is een model met meer parameters (dan verbruik en aantal koppen) nodig: bijv. het veranderend verbruikspatroon met name ook voor de toenemende scheepvaart en visserij, die in de Verenigde Staten in 1870 en in Engeland in 1900 van hout op staal overschakelde en de ontwikkeling in de houtvesterij.

Naast de groei- en vervalmodellen, die alle eigenlijk minstens twee afzonderlijk te meten parameters bevatten, kennen we de conjunctuurmodellen, die ook op minstens twee parameters zijn gebaseerd. De tot dusver behandelde modellen waren trend- of structurele modellen, maar in de praktijk komen daarnaast vrijwel altijd conjuncturele verschijnselen voor (hetgeen reeds bleek bij de behandeling van het mechanisme voor

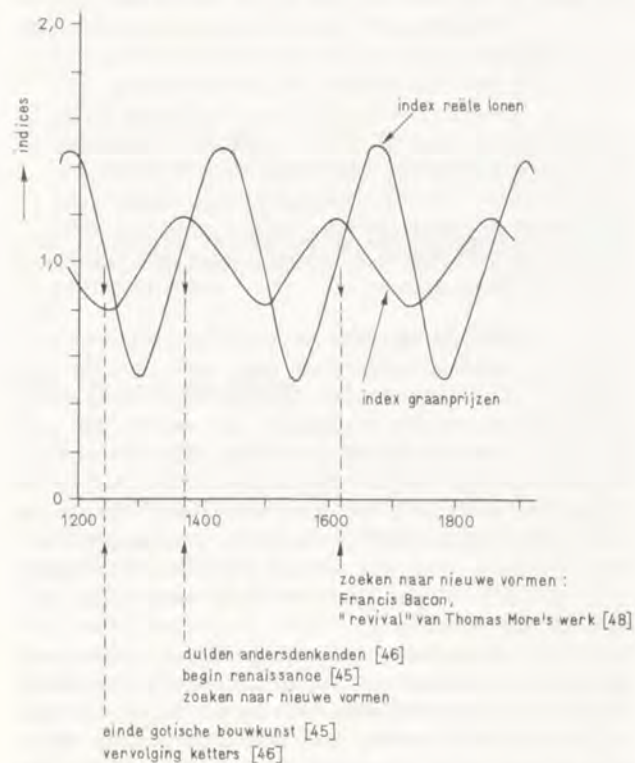


Fig. 6. De indices voor de graanprijzen en de reële lonen in West-Europa tussen 1200 en 1850 [43, 44].

¹⁾ Een Lorentz-plot is van oorsprong: het procentueel cumulatief inkomen uitgezet als functie van het percentage inkomentrekkers, gerangschikt van de laagst- naar de hoogst-betaalden.

technische schaalvergroting in de procesindustrie). Over trends en over de fluctuaties daarop handelt paragraaf VI. Hier gaat het om de vraag naar de wezenlijke samenhang tussen twee grootheden die een verschijnsel, hier een conjunctureel verschijnsel, begeleiden.

Wederom zonder de (bekende) theorie van dit soort verschijnselen te geven, wordt volstaan met enige voorbeelden.

Figuur 6 geeft de indices voor de **graanprijzen en de reële lonen** in West-Europa tussen 1200 en 1850 (enigszins gestyleerd) weer [43, 44].

Het is duidelijk hoe deze beide parameters via faseverschuiving en amplitudeverhouding aan elkaar zijn gecorreleerd. Natuurlijk komt hier de vraag op of het zin heeft zulk een lange periode te beschouwen. We zagen echter reeds dat na 1600-1650 weliswaar de bevolkingsexplosie begon, maar dat het nog tot ongeveer 1800 duurde voordat het levenspatroon van deze bevolking wezenlijk ging veranderen (figuur 5). Het kan dus zin hebben deze conjunctuurbeweging in West-Europa nader te analyseren. Dat kan ten eerste door de bouwkunst onder de loep te nemen. Daartoe kan men de ontwikkeling van het romaans, het gotisch en het renaissance bouwvolume analyseren [45]. Het blijkt dat voor alle drie bouwstijlen het denken over en het uitproberen ervan begint als de lonen hoog zijn en de graanprijzen laag; op dat moment neemt echter om begrijpelijke reden het bouwvolume weinig toe. Zodra echter de conjunctuur wisselt en de kerk bij lage lonen en hoge graanprijzen in bouwen kan investeren, komt de nieuwe bouwstijl in bouwvolume volledig tot ontwikkeling.

Ten tweede kan men **de geschiedenis van de kettervervolg**ing nagaan [46, 47]. Ook hier valt op hoe afwijkingen worden bestreden bij relatieve armoede en worden geduld bij relatieve rijkdom. Het ontstaan en de historie van bewegingen die vernieuwing en ideaal zochten (vrijmetselarij, Katharen, wetenschapsbeoefening [48]) passen ook in dit beeld. Toch blijft men zich afvragen of dit beeld niet te naïef is [49].

Daartoe wordt nog een derde poging ondernomen. Figuur 7 geeft de indices voor **de landaanwinning in ons land en de West-Europese graanprijzen** tussen 1400 en 1850 [43, 44].

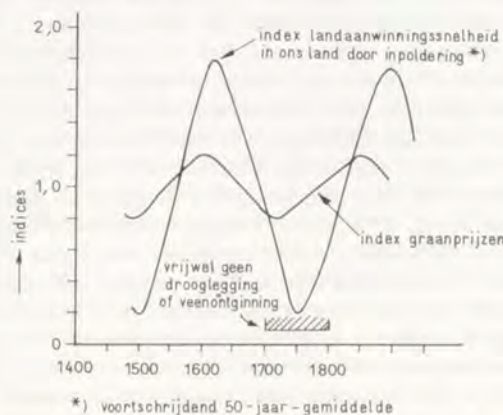


Fig. 7. De indices voor landaanwinning (ontginning en drooglegging in ons land) en voor de Westeuropese graanprijzen tussen 1400 en 1850 [43, 44].

Wederom valt een eenduidige relatie tussen beide op (dit maal met een grote versterkingsfactor: zodra de opbrengsten stijgen, is men bereid geld te steken in landverbetering en landaanwinst; zodra de opbrengsten dalen, stopt deze behoefte vrijwel geheel). Het zou zinvol zijn deze gegevens eens nader kwantitatief te bestuderen (zie voor een beginnetje daartoe [50]). Niet dat deze kennis enig nut zou hebben voor het doen van extrapolaties; daartoe veranderde de samenleving sinds 1850 te wezenlijk. Het zou echter te denken moeten geven als er in deze beschouwingen wel iets zat. Hoe mis zou de technologisch verkenner van 1400 of van 1600 geweest zijn als hij zijn groeivoorspelling zou hebben gebaseerd op dat handje vol niet-gefundeerde curven voor durende structurele groei, waarop we nu via "curve-fitting" onze extrapolaties baseren. Hoe voorzichtig de technologisch verkenner met trendextrapolatie en regressie-analyse moet zijn, heeft Bemelmans bij herhaling in de voorgaande hoofdstukken benadrukt.

VI. Trend versus fluctuatie

Het laatste voorbeeld van paragraaf V maakt reeds duidelijk hoe moeilijk het vaak is trendverschuivingen te midden van fluctuaties (conjunctuurschommelingen bijv.) te ontdekken.

Fluctuaties met een tijdconstante die aanzienlijk kleiner is dan het te analyseren tijdsbestek, laten zich eenvoudig, zonder verlies van veel informatie uitmidelen (zie Bemelmans in hoofdstuk 2 over het gebruik van het voortschrijdende gemiddelde).

Komen er echter in de fluctuaties tijdconstanten voor van de orde van grootte van het beschouwde tijdsbestek, dan ontstaan er moeilijkheden bij de analyse. De moeilijkheden zijn des te groter, indien de amplitudeverhouding tussen de twee conjunctureel verbonden parameters groot is. Vergelijk hiervoor bijv. figuur 7, waaruit blijkt dat reeds bij enigszins dalende graanprijzen de landaanwinning vrijwel geheel tot stilstand komt. Dit leidt tot niet-lineariteiten in de beschrijving vanwege het feit dat er natuurlijke begrenzingen zijn die de fluctuaties niet kunnen overschrijden.

Een voorbeeld hoe trendverschijnselen van conjunctuurverschijnselen te scheiden zijn, geeft P. C. Jansen [51], die de sociale conjunctuur in Amsterdam tussen 1750 en 1800 bestudeerde. Hij ging het verloop in die jaren na van de roggeprijs, de sterfte (gecorrigeerd voor een ander golfverschijnsel op korte termijn: de epidemieën), de huwelijksfrequentie en de opbrengst aan waagaccijns. Tot omstreeks 1850 zijn deze parameters duidelijk gekoppeld in één conjunctureel verband (vergelijk figuur 5). Daarna, met het begin van de industriële revolutie, is zulk een verband niet langer aanwezig. In Engeland is de economische crisis van 1857 de eerste die niet samenviel met hoge graanprijzen; in Nederland treedt dit eerst op in 1907. Werkloosheid valt dan niet meer samen met hoge voedselprijzen, meestal is het zelfs omgekeerd. De conjunctuuranalyse, die tot dan de verschijnselen goed beschrijft, moet plaats maken voor een trendanalyse.

Een ander voorbeeld over de verwevenheid van trendverschuiving en conjunctuurverschijnsel is ook ont-

leend aan de landbouw. Het gaat over het verloop in het relatief gebruik en de relatieve prijs op de wereldmarkt van drie belangrijke grondstoffen, waaruit een volksvoedsel kan worden samengesteld. De drie beschouwde grondstoffen zijn reeds mengsels, elk van twee natuurproducten. Deze "aggregatie" is mogelijk doordat blijkt dat naast het ene natuurproduct steeds ook een ander natuurproduct in een vaste verhouding moet worden gebruikt om een eindproduct van de gewenste kwaliteit te krijgen.

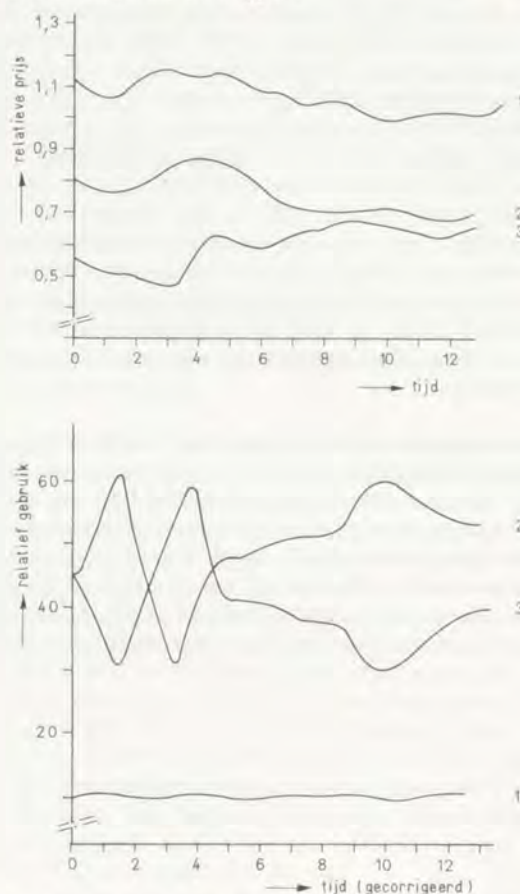


Fig. 8. De relatieve prijs en het relatieve gebruik van drie mogelijke grondstoffen voor een massaproduct, beschouwd over een gegeven periode.

Figuur 8 geeft de relatieve prijs en het relatieve gebruik van deze grondstoffen over een periode van ongeveer 12 tijdseenheden. Daarop zijn reeds twee verdere bewerkingen toegepast. Ten eerste zijn alle fluctuaties met tijdconstanten korter dan $1/6$ van de beschouwde tijd reeds uitgemiddeld. Ten tweede is, omdat de verwerking tot eindproduct najlt bij de inkoop van de grondstoffen (er wordt voorraad gehouden), de tijdas voor het relatieve gebruik gecorrigeerd voor de tijd die gemiddeld verloopt tussen de aankoop en de verwerking.

Hierdoor ontstaat een doorzichtige figuur, indien men deze zou vergelijken met de oorspronkelijke gegevens waaruit hij werd afgeleid. Wederom blijkt dat een nogal specifieke kennis van het beschouwde fenomeen nodig is, wil men met inzicht verder komen (in dit geval kennis over de eisen aan samenstelling van het eindproduct uit drie (reeds samengestelde) grondstoffen en de voorraadpolitiek in de branche, die het bijv. niet zinvol maakt relatief korte schommelingen te beschouwen).

Uit figuur 8 blijkt dat relatief geringe veranderingen

in de prijs van de grondstoffen relatief grote veranderingen in het gebruik tot gevolg hebben. Een uitzondering daarop is grondstof 1, die het duurst is en die kennelijk, wat ook zijn prijs is, in een gegeven percentage in het eindprodukt moet zitten. Die grondstof toont een heel geringe prijselasticiteit; de afzet ervan is direct evenredig met de markt van het beschouwde eindprodukt. Zou men echter de componenten van grondstof 1 zoals deze op de wereldmarkt worden aangeboden afzonderlijk beschouwen, dan zou blijken dat er daarbinnen nog vele substitutiemogelijkheden worden benut. Dat geeft een deelmodel dat, binnen de grenzen gesteld in figuur 8, afzonderlijk kan worden bestudeerd. De grondstoffen 2 en 3 blijken nu, althans binnen de grenzen van de geconstateerde schommelingen, vrij uitwisselbaar. De voorkeur gaat naar het duurdere mengsel (om kwaliteitsredenen), zodra dit economisch te verantwoorden is.

Is men eenmaal zover, dan zijn trend en fluctuatie te scheiden (bijv. met de methode van de kleinste kwadraten, indien deze is aangevuld met een oscillerende stoorfunctie, zie ook hoofdstuk 2, paragraaf II). Wil men vandaar tot een model komen, dan moet men eerst nagaan of de verhoudingen in de hellingen van de trendlijnen voor prijzen en gebruik overeenkomen met de overeenkomstige verhoudingen in de amplituden van de fluctuaties om de trendlijnen. Het blijkt dan dat de relaties tussen prijs en gebruik nog steeds kunnen worden weergegeven door wat King reeds in de 18e eeuw vond [43]: (relatieve prijs) \times (relatief gebruik) ^{α} = constant, waarbij α een gegeven exponent is ($\alpha < 1$).

Met dit voorbeeld, dat enigszins abstract moest worden gebracht, is gepoogd aan te tonen, dat:

- 1) het scheiden van trends en schommelingen vaak een grote voorkennis vereist, wil het zinvol mogelijk zijn en
- 2) zulk een scheiding, wil hij tot een enigszins betrouwbaar model leiden, een extra toets op interne consistentie van het model vereist: verhoudingen tussen trends moeten overeenstemmen met overeenkomstige verhoudingen in de grootte van de schommelingen.

VII. Trend en norm

In de vorige paragrafen is stilzwijgend en vaak een normeringsprincipe gebruikt: verbruik per hoofd, fractie van het totale verbruik of van een totale bevolking, relatieve prijzen, index landaanwinningsnelheid en procentueel gebruik.

Het is de vraag of dit zo maar geoorloofd is. Het is een juiste procedure indien de totale bevolking, het totale ver- of gebruik en het totaal voor ontginning beschikbare land constant zijn. Voor zulke stationaire situaties is normering dan ook geen probleem. Ook indien er aan een proces een natuurlijke limiet is gesteld, is het niet dubieus indien men daarop normeert. Wil men echter verschijnselen beschrijven in groeiende of expanderende samenlevingen, dan kunnen zich bij het normeren vragen voordoen. Dat is reeds in te zien door de drie modellen die in paragraaf V worden besproken, opnieuw te bezien.

In het model van de toren van Babel en in het model van de expeditie in de jungle komen elk twee parameters voor die onderling een lineair verband vertonen. Normering van deze paren van parameters op dezelfde basis levert dan geen bezwaar. In het zendingen-bekeerlingen-model komen echter twee parameters voor die onderling kwadratisch afhangen. In dat geval levert het normeren van beide, bijv. op basis van een totale bevolking, problemen voor de interpretatie op zodra deze totale bevolking in de tijd niet constant is.

Zo zijn er meer voorbeelden te geven waar één modelconceptie, uitgewerkt voor een al dan niet groeiende samenleving, leidt tot principieel verschillende afhankelijkheden van de parameters van het model in het tijdsdomein. De bekende S-vormige groeicurve van Isenson-Gompertz-Pearl is daar zelf een voorbeeld van. In zulke gevallen zou men de analyse van de modelbeschrijving opnieuw moeten nalopen om te bezien of en hoe normeren mogelijk is.

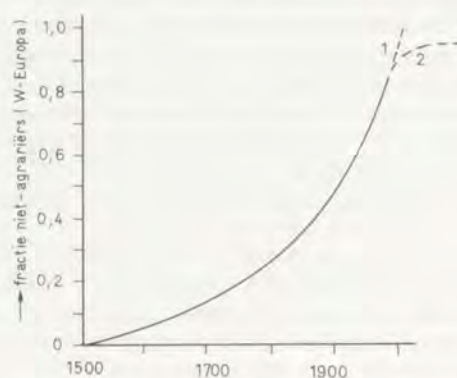


Fig. 9. De fractie niet-agrariërs in de werkende bevolking sinds 1500 (1 = extrapolatie op basis van voorgaande jaren, 2 = extrapolatie op basis van een analytisch model).

Figuur 9 laat zien tot welk een gedegeneerde beschrijving van een groei naar verzadiging men komt indien men met het voorgaande geen rekening houdt. In de figuur is uitgezet de fractie niet-agrariërs in de werkende bevolking van West-Europa sinds 1500 [43]. "Curve-fitting" zou al snel een vrijwel kwadratische afhankelijkheid van deze fractie van de tijd geven (extrapolatie 1), die voorspelt dat er op korte termijn van nu geen landbouwers meer in West-Europa voorkomen (ondanks een toenemend volume van de landbouwproductie).

Een echte analyse op basis van de groei in de opbrengst per kg zaaizaad, in het aantal ha dat per man kan worden bewerkt als gevolg van rationalisatie, mechanisatie en andere efficiency-maatregelen en in de opbrengst per ha met de moderne technieken van de industriële landbouw, geeft een ander beeld (extrapolatie 2). Er zal zelfs met de huidige trends in de ontwikkeling van de land- en tuinbouw en in de aanwas van de totale bevolking uiteindelijk nog minstens 4% van de werkende bevolking in de primaire sector werkzaam zijn. Het belang van deze relatief kleine fractie zal wellicht op afzienbare termijn niet te onderschatten zijn, zowel voor West-Europa zelf, als voor de niet-geïndustrialiseerde landen.

VIII. Groei en verval

Groei van het ene betekent vaak verval van het andere. Er vindt een overname plaats. Iedereen kent wel dergelijke overnamereeksen met hun fijnstructuur:

- autobanden van natuurrubber en van synthetische rubber; het verdwijnen van de binnenband; de opkomst van de radiaalband; carcassbewapening van de buitenband op basis van katoen (1940), rayon (1950), nylon (1970) en polyester [52, 53];
- kolenkachels; centrale verwarming op kolen, aardolie en aardgas;
- zwart-wit-televisie, kleurentelevisie en kleurentelevisie gecombineerd met een eigen opname- en afspelaarsapparaat;
- margarine versus boter; margarine gebaseerd op één olie; zacht smeerbare margarine; gezondheidsmargarine en dieetmargarine [53].

Meestal beschrijft de bekende S-vormige groeicurve van Isenson-Gompertz-Pearl de groei en het verval als complementaire processen in het substitutieproces, zelfs voor de fijnstructuur in de marksubstituties [53]. In zulke gevallen is het niet nodig naast de groei van het ene, het verval van het andere te bestuderen.

Soms echter is het niet zulk een eenvoudige substitutie. In paragraaf III werd reeds als een uitzondering op eenvoudige vervanging genoemd de overschakeling in ons land op centrale verwarming met aardgas. Het is opvallend en wellicht kenmerkend voor onze cultuur, dat technologische verkenner zich altijd met de analyse van groei en verval met die van verval bezighouden. Hier hangt de neiging mee samen om dan omhullenden om individuele groeicurven te trekken, ook al hebben deze curven niet meer gemeen dan juist die ene beschouwde parameter. Wanneer men gegevens over verval niet gebruikt, mist men wederom een kans om een model intern op consistentie te toetsen. Met zulk een toets maakt men uit of men met een simpel substitutiemechanisme te doen heeft of dat er iets bijzonders in de keten groei, verval en vervanging aan de hand is.

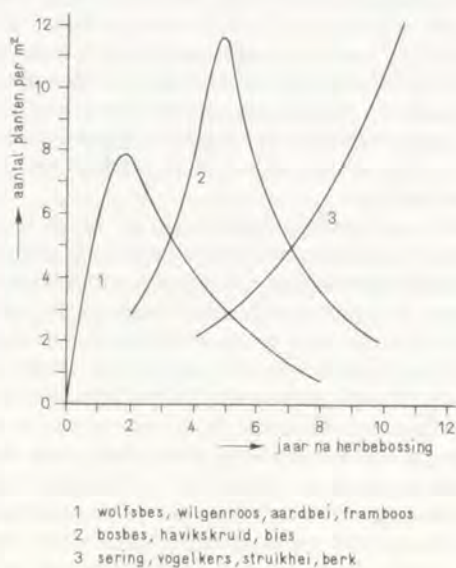


Fig. 10. De begroeiingsdichtheid van drie generaties planten en struiken als functie van het jaar verstreekt nadat herbebossing is begonnen [54, 55].

Figuur 10 geeft een voorbeeld van wat geen simpele substitutie in een expanderende samenleving kan zijn. De figuur toont de begroeiingsdichtheid van drie opeenvolgende generaties begroeiing als functie van het aantal jaren dat verstreekt sinds de eerste maatregelen werden genomen om het geërodeerde gebied weer in cultuur te brengen [54, 55]. De omhullende hiervan construeren, d.w.z. het totaal aantal planten per m² voor de drie generaties samen uitzetten tegen de tijd, heeft weinig zin. Het verloop van de groei en het verval van de voorgaande generatie is bepalend voor de groei van de volgende.

IX. Kwalitatieve versus kwantitatieve overwegingen

Kwalitatieve overwegingen spelen bij technologisch verkennen altijd een rol, meestal zelfs een overheersende. In wezen ging het gehele voorgaande daarover, ook al worden daarin "slechts" kwantitatieve benaderingen besproken. Er zitten veel verborgen kwalitatieve overwegingen in de keuze van de parameters, het tijdsinterval, de middelings- en normeringsprocedures, de beschrijving van het verschijnsel als continuproces ook al is het in feite discontinu enz. Meestal is men zich daarvan niet of niet voldoende bewust.

Ook de wijze waarop het probleem wordt gesteld voordat het gereedschap voor technologisch verkennen uit de kast wordt gehaald, komt tot stand in een subjectief en kwalitatief proces. Wat zich in dat stadium afspeelt, is meestal bepalend voor de kwaliteit van al wat er nakomt [56].

Waar technologisch verkennen sterk is gekoppeld met het bedrijven van onderzoek en ontwikkeling, komen nog andere kwalitatieve overwegingen aan bod. Een ieder kent de keuze of nu op grond van een gegeven scenario wel of niet in R. en D. zal worden geïnvesteerd. Ook deze keuzetechniek als onderdeel van technologisch verkennen heeft men verregaand willen kwantificeren (de onverzadigbare behoefte van de technicus). Men voert dan in: kansen op succes van de research, kansen op succes van de technische realisatie, kansen op succes van de economische realisatie enz. Het blijkt vaak dat hier de technieken ontsporen, omdat hun resultaat veel te sterk afhangt van zulke zeer subjectieve en dus zeer onnauwkeurige factoren [56].

Vooraf bij het gebruik van relevantie- en beslissingsbomen, gebaseerd op het toekennen van subjectieve waarderingscijfers, moet men hiervoor op zijn hoede zijn. Het voorbeeld van de tabellen 9 en 10 in hoofdstuk 2, waar het gaat om een keuze tussen vier auto's die verschillende functies van verschillend gewicht moeten vervullen, illustreert dit probleem al enigszins. Een kleine verschuiving in de afweegfactoren binnen de marge van het gevoel zou de keuze van type C naar type A of zelfs naar type B kunnen verschuiven. Dat is niet omdat het voorbeeld er naar is, het treedt vrij algemeen op. Beter is het in zulk een geval in woorden te blijven zeggen waarop de keuze is gebaseerd. Zie daartoe de opmerking van Bemelmans bij dat voorbeeld.

Uit veel literatuur over technologisch verkennen blijkt de behoefte te veel in cijfers te willen uitdrukken wat in wezen kwalitatief is, vooral in de niet-intuïtieve kwalitatieve methoden. Deze leveren schemata die meer of min compleet zijn en desgewenst tot een voorkeursvolgorde leiden. Vandaar is het nog maar één stap of ordeningsgetallen worden afweegfactoren. Een team van mensen kan dan lang en uitermate onproductief bezig zijn om te schaven aan en overeenstemming te krijgen over deze afweegfactoren. Komt die er, dan is het antwoord één cijfer, dat niemand meer iets zegt.

Dit soort methoden hebben hun nut omdat ze schema's leveren die aan het denken en het discussieren ordening geven. Maar zij zijn het beste zuiver kwalitatief te gebruiken. Het antwoord is dan niet een cijfer, maar een bondige en duidelijke omschrijving van een conclusie.

Vanzelfsprekend overheerst in de intuïtieve methoden het kwalitatieve element. Zaken als veranderende normen en waarden, of een wijziging in een wetgeving, zijn ook slechts te beschrijven. Scenario-achtige technieken geven de brede samenhangen waarin de kwantitatieve verkenningen, die altijd beperkte samenhangen beschrijven, goed passen. Eigenlijk gaat de een niet zonder de ander. De visie, het kwalitatieve inzicht, komt eerst en dan de grutterige waarmaking met kwantitatieve gegevens, die de visie kan bevestigen of wijzigen, maar die op zichzelf vrij geïsoleerde kennis geeft.

Daarmee zijn we terug bij het begin van hoofdstuk 4, ja zelfs bij de woorden van Schepers in de inleiding geschreven.

Geschriften over technologisch verkennen, ook dit, moet men daarom met grote voorzichtigheid gebruiken. Technologisch verkennen is geen specialisme: het laat zich niet in isolement beoefenen of verklaren. Men moet oppassen dat er geen toepassing van dit soort technieken plaatsvindt die maakt dat velen later steeds weer zullen constateren dat "de toekomst alweer niet werd wat hij geweest was".

Literatuur

- [1] R. C. Lenz, *Forecasts of exploding technologies by trend extrapolation*, Technological forecasting for industry and government, p. 57 enz., J. R. Bright editor, Prentice-Hall U.S.A., 1968.
- [2] N. Dalkey and O. Helmer, An experimental application of the Delphi method to the use of experts, *Management Science* 1963, 9, 458.
- [3] T. Gordon and O. Helmer, Report on a long range forecasting study, RAND-paper P-2982, RAND Corp., Santa Monica, California, sept. 1964.
- [4] E. Jantsch, *Technological forecasting in perspective*, OECD, Paris, 1967.
- [5] M. J. Cetron, Ch. A. Ralph, *Industrial applications of technological forecasting*, John Wiley & Sons, New York, 1971.
- [6] J. P. Martino, *Technological forecasting for decision making*, American Elsevier Publ. Co., New York, 1972.
- [7] J. G. Wissema, Aspectenonderzoek, *De Ingenieur*, 1 (85), 4 jan. 1973.
- [8] J. R. Bright, *Technological forecasting for industry and government*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1968.
- [9] R. J. Thierauf, R. A. Grosse, *Decision making through operations research*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1970.
- [10] J. P. Martino, *Technological forecasting and the autonomy of technology*, *Technological forecasting*, June 1969.
- [11] R. U. Ayres, *Technological forecasting and long range planning*, Mc.Graw Hill Book Co., New York, 1969.
- [12] H. W. Lanford, *A synthesis of technological forecasting methodologies*, Wright Patterson Air Force Base, Ohio, 1970.
- [13] J. C. Fisher, R. H. Pry, A simple substitution model of technological change, *Technological forecasting and social change*, 1971.
- [14] N. R. Draper, H. Smith, *Applied regression analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1967.
- [15] J. Johnston, *Econometrics methods*, Mc.Graw Hill Book Co., New York, 1960.
- [16] H. Theil, *Principles of econometrics*, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1971.
- [17] F. Zwicky, *Morphology of propulsive power*, Society for Morphological Research, Pasadena, California, 1962.
- [18] T. J. Gordon, H. Hayward, Initial experiments with the cross impact matrix method of forecasting, *Futures, The journal of forecasting and planning*, 1 (2), 1968.
- [19] H. Bonus, *Die Ausbreitung des Fernsehens*, Verlag Anton Hain, Weisenheim am Glan, 1968.
- [20] D. L. Meadows, *Rapport van de Club van Rome: De grenzen aan de groei*, Het Spectrum, Utrecht, 1972.
- [21] M. J. Cetron, J. N. Johnson, A. B. Nutt, H. A. Wells, *Technical resource management, Quantitative methods*, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.
- [22] J. R. Bright, *Technological planning on the corporate level*, Harvard University, Boston, 1962.
- [23] J. V. Gregg, C. H. Hosell, J. T. Richardson, *Mathematical trend curves: an aid to forecasting*, Monograph 1, Oliver and Boyd, Ltd., London, 1964.
- [24] L'utilisation des méthodes rationnelles dans la politique scientifique gouvernementale, Evaluation O.E.C.D., Paris, 1970.
- [25] A. G. van Vijfeyken, *Technological forecasting: een bruikbaar instrument voor wetenschapsbeleid? Intern rapport Philips Gloeilampenfabrieken N.V.*, Eindhoven, 1970.
- [26] G. Wills, D. Ashton, B. Taylor, *Technological forecasting and corporate strategy*, Bradford University Press, London, 1969.
- [27] R. Kronig, *Delta*, Winter 1966-1967.
- [28] H. Redeker, *Woord en Cijfer*, Proloog, Dec. 1945.
- [29] J. Romein, Zekerheid en onzekerheid in de geschiedwetenschap, *Historische lijnen en Patronen*, Querido 1971.
- [30] W. J. Beek, Hoe verder?, *De Ingenieur* 84, 35 (1 sept. 1972) A 740-748.
- [31] J. McHale, *Futures*, sept. 1971, 216-301.
- [32] J. S. Cramer, *Statistica Neerlandica* 20, 2 (1966) 215-224.
- [33] J. S. Cramer, *Statistica Neerlandica* 20, 2 (1966) 225-239.
- [34] J. S. Cramer, *Statistica Neerlandica* 22, 2 (1968) 119-131.
- [35] J. S. Cramer, *Int. J. Techn. Forecasting* 1, 2 (1969) 173.
- [36] W. H. C. Simmonds, *Techn. Forecasting and Social Change* 3 (1972) 205-224.
- [37] J. de Koning, *De Ingenieur*, 83, 26 (juli 1971) A 437-439.
- [38] C. Grooters, *De Ingenieur*, 83, 26 (juli 1971) A 439-442.
- [39] J. A. Smit, *De Ingenieur*, 84, 14 (april 1972) W 35-42.
- [40] W. A. Wagenaar, *NRC-Handelsblad*, 16-3-1971.
- [41] Z. R. Dettrich, H. van Werveke, *Wereldgeschiedenis*, de Haan, Hilversum.
- [42] H. N. ter Veen, *Grenzen*, Servire 1947.
- [43] B. H. Slicher van Bath, *De agrarische geschiedenis van West-Europa (500-1850)*, Spectrum, Utrecht.
- [44] A. P. Usher, *The Rev. of Econ. Statistics* 12 (1930); 159 13 (1931) 103.
- [45] K. O. Hartman, *Ontwikkeling van de bouwkunst*, Wereldbibliotheek 1924.
- [46] J. J. Mak, *De Nieuwe Stem*, april 1960.
- [47] R. H. Robbins, *The encyclopedia of witchcraft and demonology*, Nevill 1964.
- [48] P. Medawar, *New Scientist*, 4 sept. 1969.
- [49] P. Ziegler, *The black death*, Pelican 1970.
- [50] W. J. Beek, *Collegedictaat Cursus Environmental Engineering*, Uit Course on Hydraulics, Delft 1973.
- [51] P. C. Jansen, *Het ritme van de dood*, Ons Amsterdam, maart 1973.
- [52] F. J. Kovac, M. F. Dague, *Chemical Technology* 1 (1971) 18-23.
- [53] J. C. Fisher, R. H. Pry, *Technological Forecasting and Social Change* 3 (1971) 75-88.
- [54] E. A. Rossmässler, *Der Wald*, Leipzig 1863.
- [55] W. Schoenicken, H. Hausrath, O. Feucht, H. Wolff, *Von grünen Dom*, München 1926.
- [56] W. J. Beek, *Collegedictaat Industriële Economie en Bedrijfsuithoudkunde: Industriële Research en Development*, Erasmus Universiteit 1972/1973.

T
T