

Rekenen en Industrie

Dr. ir. H.L. Beckers

*Group Research coördinator Koninklijke Shell Groep
Shell Internationale Research Maatschappij BV*

Dames en Heren,

In de loop van de jaren heeft de waardering voor het beoefenen of toepassen van de wiskunde nog al wat veranderingen ondergaan. Ik zal u een enkel voorbeeld daarvan in herinnering brengen: Plato raadde de burger de studie van de wiskunde aan, niet voor de handel of het ambacht, maar alleen voor contemplatie en oefening van de geest. 'Laat niemand die niet aan wiskunde heeft gedaan, mijn huis binnenkomen', schijnt hij gezegd te hebben! Iemand die de wiskunde beroepsmatig toepaste vond hij maar een mechanicus. Geen burger zou zo iemand als geschikte partij voor zijn dochter moeten beschouwen.

De Heilige Augustinus maakte het zelfs nog wat bonter met zijn vermaning dat goede christenen moeten oppassen voor wiskundigen, omdat het gevaar bestaat dat die een pact met de duivel gesloten hebben! Als ik dat dan zo hoor, ben ik als Limburgse katholiek vandaag wel in een fraai gezelschap beland!

Gelukkig zijn er ook nog andere meningen te vinden. Einstein heeft eens geschreven: 'Ik ben doortrokken van een groot respect voor de wiskunde, waarvan ik de subtiele onderdelen in mijn onschuld tot nu toe als zuivere luxe had beschouwd'. Met 'hun speciale helderziendheid' hadden wiskundigen zijn weg naar de algemene relativiteitstheorie heel goed voorbereid, zei hij.

Toepassingen van wiskundige theorieën in andere wetenschappen zijn heel oud: al heel vroeg zien wij die in de arithmetiek, de astronomie, muziek en geografie, terwijl na de Middeleeuwen de natuurkunde natuurlijk een uitermate vruchtbaar toepassingsgebied is gebleken.

Dit hangt uiteraard samen met het feit dat de wiskunde de ideale taal is om te communiceren in de wetenschap: zoals we allen weten is wiskunde heel

precies gedefinieerd, niet voor tweërlei uitleg vatbaar en universeel geldig. In die taal kunnen boodschappen met een maximale duidelijkheid en nauwkeurigheid worden geconstrueerd, en ze kunnen worden gemanipuleerd en getransformeerd volgens heel precieze regels zonder dat de betekenis ervan verloren gaat. Zoals Galileo al zei: 'De Natuur is geschreven in wiskundige taal'.

Toch is het pas in en vooral na de Tweede Wereldoorlog dat de wiskunde steeds meer wordt gezien als een nuttig maatschappelijk hulpmiddel voor het beschrijven en analyseren van complexe relaties, niet alleen in de natuur- en scheikunde en de technologie, maar ook in de economie, biologie, sociale wetenschappen en noem maar op.

Zoals we allemaal weten hangt deze ontwikkeling ten nauwste samen met het op grote schaal beschikbaar komen van steeds snellere en grotere reken-tuigen, waarbij het accent van analytische wiskundige modellen verschoof naar numerieke modellen, die steeds meer het karakter kregen van simulaties van de werkelijkheid op de computer. In dit verband is het misschien goed er nog eens op te wijzen, dat het beschrijven van de werkelijkheid in mathematische taal, dus het formuleren van een wiskundig model, geen garantie is dat dat model ook waar is, dat het klopt met die werkelijkheid. Het model is niet meer dan een analogie, waarin een structuur van logische en wiskundige relaties aanwezig is, waarvan wordt verondersteld dat die veel overeenkomsten heeft met datgene wat het probeert te verklaren, maar die zeker niet daarmee volledig kan worden geïdentificeerd. Toegegeven, een waarheid als een koe, maar in debatten over de interpretatie van de uitkomsten van een rekenpartij toch nog wel eens over het hoofd gezien of vaak niet eens ter discussie gesteld.

Ik wil u vandaag aan de hand van een aantal voorbeelden laten zien welke centrale rol *fundamentele wiskundige resultaten* spelen bij het maken van vorderingen op technologisch gebied en hoezeer die kunnen bijdragen aan het in stand houden van een gezond en concurrerend bedrijfsleven. De schijnwerper is hier dus bewust gericht op de *wiskunde als basisgereedschap* voor ons werk; zonder de resultaten daarvan beginnen we zelfs met de grootste en snelste computer heel weinig!

Ik heb de voorbeelden met opzet gekozen uit de 'bread and butter' praktijk van het bedrijf waar ik zelf werk, de Koninklijke Shell Groep. Dat was echter niet alleen om het mijzelf wat gemakkelijker te maken, zoals u nu wel zult denken, het had ook nog een andere reden.

U weet dat er ten aanzien van de concurrentiepositie van onze Europese industrie in brede kring bezorgdheid bestaat; je kunt vrijwel geen krant of tijdschrift opslaan zonder dat een expert of politicus (die twee zijn niet altijd synoniem!) beweert, dat Europa achter dreigt te gaan lopen bij haar voornaamste concurrenten: de Verenigde Staten en Japan. U kent ook de oplossing die voor dit probleem wordt gepropageerd: meer investeren in onderzoek en ontwikkeling. Noch met de probleemstelling, noch met de aanbevolen oplossing ben ik het in alle opzichten eens. De probleemstelling is mij te algemeen:

met de voorbeelden die ik dadelijk zal gaan geven, hoop ik te laten zien dat wij in de wereldwijde concurrentieslag ons mannetje toch wel staan, zoals ook onze Europese concurrenten dat doen en zoals ook andere industrietakken in Europa, zoals biotechnologie, waterbouw en landbouw dat doen.

Laten we naast de 'sunrise' industrieën vooral niet de 'sunshine' industrieën vergeten, die ons nog altijd het merendeel van ons inkomen en werkgelegenheid verschaffen, zowel nu als in de toekomst. En wat de aanbevolen oplossing betreft: zonder het belang van een adequate inspanning op research- en ontwikkelingsgebied ook maar enigszins te willen bagatelliseren, lijkt mij meer onderzoek en ontwikkeling als de panacee voor alle Europese kwalen, ook de politieke, een nulde-orde benadering voor een zeer complex probleem. We laten alle storingstermen weg, want dat rekent zo gemakkelijk!

Maar genoeg hierover, ook mijn mening heeft u al eerder in krant en tijdschrift kunnen lezen.

Met de voorbeelden van vandaag ga ik met reuzenstappen door een deel van onze activiteiten, omdat ik u wil laten zien dat er vanaf het zoeken naar olie en gas tot aan het verkopen van produkten aan de benzinepomp *toepassingen van de wiskunde* te vinden zijn, die het ons mede mogelijk maken als succesvolle onderneming te blijven opereren in een klimaat dat wordt gekenmerkt door hevige concurrentie.

Onderzoek, ontwikkeling en toepassing lopen hierbij steeds naast en door elkaar: voortdurend zijn wij bezig methodieken, modellen en systemen te onderzoeken, te ontwerpen, te verbeteren en in de dagelijkse praktijk toe te passen, want u weet het ook: beweging is relatief en stilstand is achteruitgang.

Mijn eerste voorbeelden komen uit het z.g. upstream deel van onze activiteiten: de exploratie en produktie van ruwe olie. Het aantal toepassingen van de wiskunde is daar zo talrijk dat ik mij beperk tot een tweetal waar de *wiskunde een primaire rol speelt*.

Naar omvang en economisch belang gemeten staat de transformatie van seismische gegevens naar kennis omtrent de plaats en kwaliteit van olie- en/of gashoudend gesteente veruit op de eerste plaats. Om u een idee te geven van het soort bedragen waar we over praten: de kosten van een typische exploratieput buitengaats liggen in de orde van 2 tot 3,5 miljoen dollar per maand en gemiddeld wordt er zo'n 2 tot 3 maanden, en regelmatig ook wel langer, geboord. Het gaat dus al gauw om zo'n 5 tot 10 miljoen dollar per put! Als we dus erg goed zijn in het bepalen van de juiste boorlocatie, d.w.z. de kans om olie of gas aan te boren kunnen vergroten, kan dat tot immense besparingen leiden.

Seismisch onderzoek is dus zeer belangrijk. Bij dit onderzoek wordt een puls akoestische energie de bodem ingedreven. Die puls plant zich in de aarde als een golf voort en wordt aan grensvlakken tussen rotsformaties teruggekaatst. De teruggekaatste geluidsgolven worden aan het oppervlak door detectoren opgevangen en omgezet in elektrische signalen die moeten worden verwerkt en geïnterpreteerd. Dat enorme karwei wordt geklaard dank zij de ondersteuning

van zelf al zwaar mathematisch geladen disciplines, zoals:

- meet- en regeltechniek voor de dataverwerking;
- geofysica voor de modellering van de signaalvoortplanting door de aarde;
- informatica voor de verwerking van de immense hoeveelheid data.

Sinds een aantal jaren zijn we, dank zij supercomputers als de Cray, in staat zo'n seismisch onderzoek uit te voeren met een twee-dimensionaal netwerk van detectoren, waarvan de signalen uiteindelijk worden verwerkt tot een drie-dimensionaal plaatje van de structurele ondergrond.

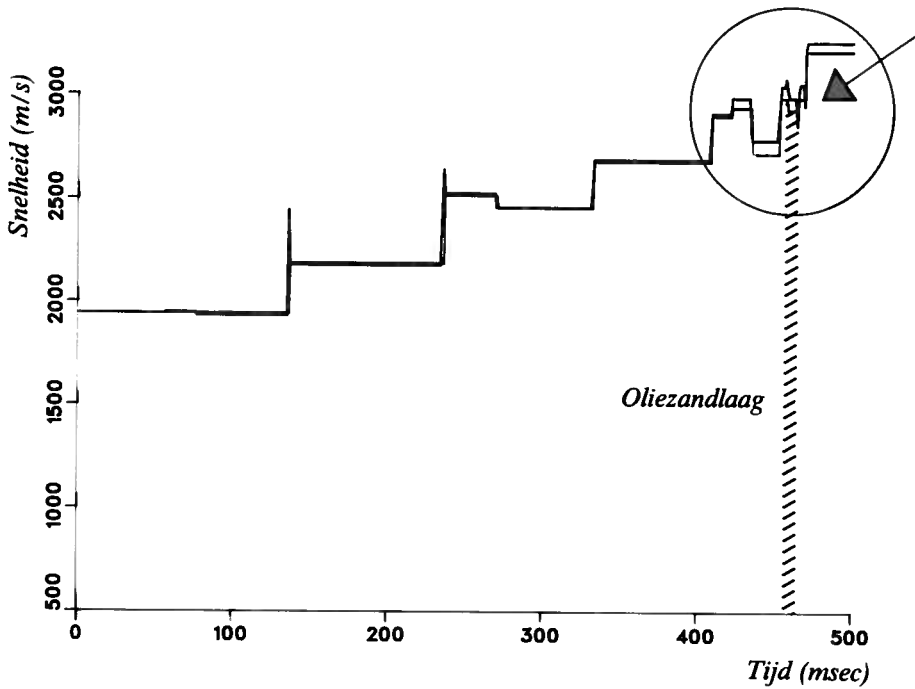
In de kern echter berusten de oplossing en berekening op *twee fundamentele wiskundige resultaten*:

- de inzichten van Wiener omtrent filtering, specifiek wat nu onder kenners de Levinson-recursie voor Toeplitz-matrices heet;
- de Fast Fourier Transform van Cooley en Tukey.

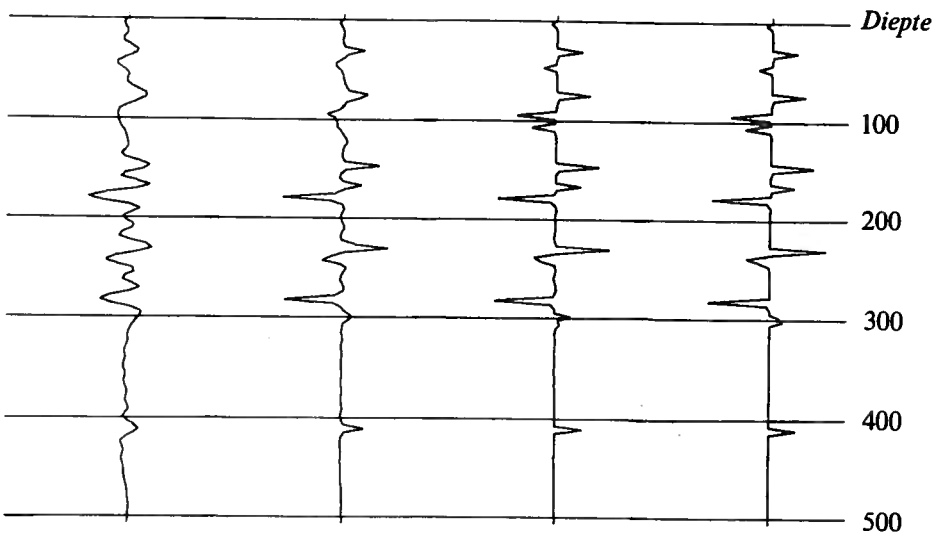
Sinds met deze concepten en de opkomst van de computer in het begin van de jaren zestig de grondslagen voor grootschalige seismische processing waren gelegd, heeft de ontwikkeling geen moment meer stil gestaan. Voortbouwend op de resolutie-analyse van onder meer Backus en Gilbert en gebruik makend van de algoritmen voor 'singular value decomposition' is het oplossend vermogen van de complete techniek blijven stijgen. Het gevolg is dat steeds kleinere olievoorcomens en steeds dunnere oliezandlagen met groeiende precisie kunnen worden gedetecteerd (zie figuur 1).

De recente ontdekking van een klein olieveld dat ten dele onder Rotterdam ligt en het feit dat de olie- en gasreserves in de wereld de laatste jaren op peil zijn gebleven, zijn afdoende illustraties voor de succesvolle ontwikkeling van deze techniek.

Toch blijft *harde* evidentie omtrent het voorkomen van olie of gas schaars. Zelfs met de beste verwerking van seismiek en gegevens van naburige putten blijft de beslissing een nieuwe put te boren in laatste instantie een extrapolatie. We kennen allen de uitspraak van de Britse politicus Disraeli, die, geconfronteerd met de noodzaak onzekerheden te hanteren, uitriep: 'Lies, damned lies and statistics'. En ofschoon sommigen van ons in bepaalde gebieden en activiteiten zeker nog in deze stelling geloven, zijn we op andere gebieden in de olie-industrie steeds groter vertrouwen gaan stellen in waarschijnlijkheidsuitspraken. De afgelopen jaren hebben een definitieve doorbraak te zien gegeven van de *geostatistiek*: de statistische modellering van geologische informatie. Eerst met betrekking tot het schatten van reserves, maar, opererend met Markov-ketens om sedimentatie te karakteriseren en met random fields om ruimtelijke variatie van gesteente-eigenschappen te beschrijven, dringt deze beschouwingwijze nu niet alleen door in de seismiek, maar ook in de simulatie van stroming in een olieveld tijdens de produktie. Het gevolg is dat beperkte seismische resultaten kunnen worden aangescherpt tot nauwkeurige positioneringen van gesteentelagen door een geologische verwachting omtrent het aantal laagovergangen statistisch verantwoord te verwerken (zie figuur 2).



FIGUUR 1. Detectie van een dunne olie-zandlaag uit seismische gegevens



FIGUUR 2. Een beperkt seismisch resultaat (geheel links) wordt op een statistisch verantwoorde manier aangescherpt tot een nauwkeurige positionering van gesteentelagen (geheel rechts)

Ook hier zien we dus weer: vooruitgang door gebruik te maken van fundamentele wiskundige resultaten.

Na de seismiek is reservoirsimulatie onze grootste gebruiker van computertijd. We proberen daarbij het stromingsgedrag van olie, water en gas in het poreuze formatiegesteente zo realistisch mogelijk te modelleren, zodat we het gedrag van een put tijdens productie en onder invloed van bijvoorbeeld waterinjectie in het veld zo betrouwbaar mogelijk kunnen voorspellen. De stromingsvergelijkingen die hiervoor moeten worden opgelost, zijn (even diep ademen):

gekoppelde systemen van inhomogene, anisotrope, niet-stationaire, niet-lineaire partiële differentiaalvergelijkingen van gemengd parabolisch-hyperbolisch type in geometrisch willekeurige drie-dimensionale gebieden.

Kortom, vreselijk gecompliceerd en alleen numeriek, met de computer, op te lossen. Veel van wat de laatste tien jaren in de numerieke wiskunde is ontwikkeld op het gebied van discretisatie, linearisatie en oplosroutines voor gestructureerde lineaire stelsels heeft in de simulatieprogrammatuur een plaats gevonden. Naar verwachting zal dat ook zo blijven, want de gewenste detaillering in de modellen en de gewenste nauwkeurigheid in de numerieke oplossingen zijn nog lang niet bereikt.

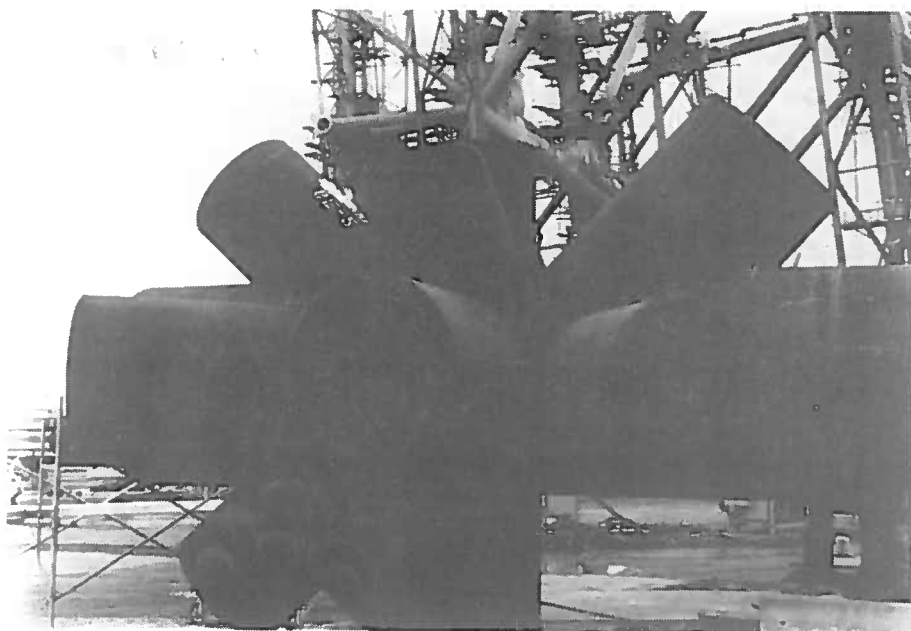
Een oliedruppeltje dat met oudere methoden door numerieke fouten tijdens transport 'oploste' blijft met de nieuwere methoden intact, zodat er langzamerhand geen druppeltje olie meer aan onze aandacht ontsnapt!

Uit de olieput omhoog klauterend, wil ik nu een kijkje nemen op een offshore productieplatform (zie figuur 3).

De veiligheid van zo'n platform wordt bepaald door de onderbouw en de fundamente. Als u bedenkt dat bijvoorbeeld het Shell Esso North Cormorant platform van 31.000 ton in de Noordzee in 160 meter diep water staat, waarvan de golven tijdens een zware storm een hoogte van meer dan 30 meter kunnen bereiken, dan zal het u duidelijk zijn dat bij het ontwerpen van zo'n constructie het berekenen van de mechanische eigenschappen van essentieel belang is. Een aspect dat daarbij veel aandacht krijgt is het z.g. vermoeiingsgedrag van de constructie. Bij ingewikkelde knooppunten (zie figuur 4) van onderdelen van de constructie, en wel speciaal bij de lassen of ook op plaatsen waar geometrische discontinuïteiten optreden, zijn normaal gesproken de mechanische spanningen hoger dan in de rest van de constructie. Gecombineerd met de wisselende belasting veroorzaakt door de golfbewegingen zouden bij een bepaalde las de mechanische spanningen zo hoog op kunnen lopen, dat na een zekere tijd die las het zou kunnen gaan begeven, met natuurlijk grote risico's voor mens en milieu.



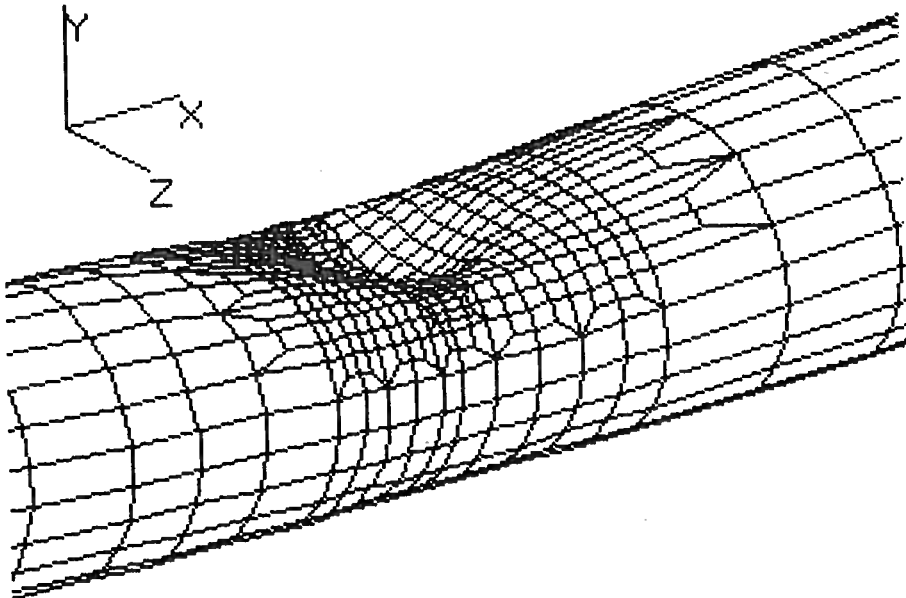
FIGUUR 3. *Shell/Esso Cormorant A productieplatform*



FIGUUR 4. *Een ingewikkeld knooppunt*

Berekening van de spanningen bij die geometrisch zeer complexe situaties kan niet analytisch gebeuren en we nemen daarom weer onze toevlucht tot numerieke methodes, waarbij we gebruik maken van de z.g. eindige-elementen-methode. Toepassing van deze methode voor een platform waar een voorraadschip tijdens een storm een deuk in had gevaren, liet precies zien hoe de verdeling van de mechanische spanningen veranderd was rondom de deuk (zie figuur 5). Op basis van dit soort eindige-elementen-berekeningen kon dan vervolgens worden bepaald hoe gevaarlijk de deuk voor de integriteit van het platform was en of een vaak zeer ingewikkelde en kostbare reparatie noodzakelijk was.

Het gebruik van de eindige-elementen-methode is tegenwoordig wijd verbreid. Een interessante toepassing vormt voor ons daarbij ook de gesteentemechanica die van belang is voor het verkrijgen van een goed inzicht in de stabiliteit en historie van de bestaande structuur van geologische formaties.



FIGUUR 5. *De verdeling van de mechanische spanningen rondom de deuk*

Om te voorkomen dat u nu de indruk gaat krijgen dat toepassingen van de wiskunde bij ons voornamelijk te vinden zijn aan de upstream kant en in de werktuigbouw, wil ik nog een voorbeeld geven van een zeer belangrijke toepassing in de z.g. downstream sector, weer in een 'bread and butter', maar hoogtechnologisch stuk van ons bedrijf, namelijk bij de raffinaderijplanning en -scheduling.

Raffinaderijen bestaan tegenwoordig voor het merendeel uit een geïntegreerde verzameling van complexe fabrieken. Op de langere termijn is zeer belangrijk hoe fabrieken en processen worden geïntegreerd, opdat de raffinage-operatie zo efficiënt mogelijk verloopt. Op de kortere termijn moet de raffinaderij zien te bepalen hoe op de meest economische manier uit de beschikbare ruwe olie de produkten gemaakt kunnen worden, waar op dat moment vraag naar bestaat.

Sinds de oliecrisis in 1973 is de ruwe olie voor een raffinaderij als Pernis niet langer afkomstig van een beperkt aantal bronnen. Afhankelijk van de situatie en de prijsontwikkelingen op de oliemarkt kunnen voorraden ruwe olie van zeer verschillende kwaliteit en samenstelling voor verwerking worden aangekocht. Dit betekent dat een grote mate van flexibiliteit in de procesvoering vereist wordt om steeds zo economisch mogelijk te kunnen opereren. Ook aan de produkten-kant is flexibiliteit noodzakelijk, omdat bijvoorbeeld de afname van een bepaald produkt sterk seizoengebonden is. Voor het oplossen van deze uitermate complexe optimaliseringsvraagstukken wordt met nog steeds toenemende intensiteit onder andere gebruik gemaakt van lineaire programmeringstechnieken.

Sinds de ontdekking door Dantzig in 1947 heeft deze techniek zich ontwikkeld tot een van de basisinstrumenten voor het bedrijfsleven, zeker ook dank zij de enorme groei in rekenmogelijkheden met de digitale computer. Deze ontwikkeling is nog lang niet ten einde: computers met een nieuwe architectuur die nog meer kunnen en nog sneller zijn, zijn in aantocht (ik denk aan parallel computing) en ook zijn er nieuwe algoritmische ontwikkelingen voor lineaire programmering in de maak.

De gigantische modellen die bij deze planningsoperaties worden gebruikt, vragen zeer veel rekentijd met de huidige generatie computers en algoritmen, en versnelling van het rekenwerk kan tot grote kostenbesparingen leiden. Ik verwacht dat de mogelijkheden voor geïntegreerde optimalisering van complexe aanvoer-, verwerkings- en marketing operaties van directe invloed zullen zijn op de winstkansen voor die operaties. Met de nog steeds bestaande overcapaciteit voor raffinage blijft toepassing van dit soort technieken voor een bedrijf als Shell van cruciaal belang om de concurrentie het hoofd te bieden.

Overigens is onderzoek aan optimaliseringstechnieken, of te wel Operations Research, in de begintijd meer een zaak van de industrie dan van de wetenschap geweest. Hier in Nederland hebben vooraanstaande Shell-onderzoekers, die later de overstap naar de wetenschappelijke wereld maakten, mede een belangrijke impuls gegeven aan het fundamenteel onderzoek op dit

gebied. De aanwezigheid van een actieve afdeling Operations Research aan dit instituut (CWI) vormt het bewijs dat uit een dialoog industrie - wetenschap iets tot stand kan komen, waaraan beide partijen plezier kunnen beleven zonder dat die wetenschap het werk van de industrie gaat doen. Het CWI-werk aan combinatorische optimaliseringstechnieken heeft raakvlakken met ons huidige onderzoek ten behoeve van raffinaderij- en distributie scheduling en kan dus een basis voor een verdere dialoog zijn.

Zoiets is geloof ik *nog niet* gerealiseerd in een ander gebied waar de laatste jaren zeer interessante dingen gaande zijn, namelijk het gebied van de kennisverwerkende systemen, of te wel expert systems. Expert systems zien wij als een hulpmiddel met groot potentieel voor het verspreiden en toegankelijk maken van zeer specialistische en daarmee schaarse kennis voor alle onderdelen van de Shell Groep. Ze kunnen ook een belangrijke rol gaan spelen in besluitvormingsprocessen waarin steeds opnieuw met weinig harde gegevens moet worden gewerkt.

Toen wij ons eind jaren zeventig serieus met deze 'knowledge engineering' gingen bezighouden, moesten de betrokken research medewerkers voor hun informatie naar het buitenland en nog steeds lijkt het zo te zijn 'dat we het lek-kers van ver moeten halen'! Laat Nederland hier een kans liggen? Ik weet het niet, maar zou het niet een goed thema zijn voor het gesprek tussen wetenschap en industrie?

Dames en heren,

Het lijkt mij hoog tijd om af te ronden, maar toch wil ik nog twee zaken kwijt. De eerste is een zorg, *een zorg om het fundamentele onderzoek in de wiskunde*. Ik heb u met mijn voorbeelden hopelijk duidelijk kunnen maken dat vorderingen in het wiskundig onderzoek van cruciaal belang zijn geweest voor de 'sprong voorwaarts', die wij in onze technologieën hebben gemaakt. Ik ben ook van mening dat er nog ruimte is voor verbetering van onze prestaties.

Maar, als ik zo hoor en zie welke nadruk de laatste tijd gelegd wordt op computers en informatica, dan vraag ik mij wel eens af of er voldoende aandacht overblijft voor studie van de basistheorieën. Is het nog steeds zo dat wiskundigen met 'die speciale helderziendheid', die Einstein frappeerden, over genoeg middelen beschikken om wegen voor te bereiden die we dan de komende jaren kunnen volgen, of naderen we het eind van het gebaande pad en worden alle bouwers van wiskundige wegen omgeschoold tot informatici en computertechnici? Ik ben benieuwd wat professor Baayen daar straks over te zeggen zal hebben.

De andere zaak die ik nog kwijt wil, is de aankondiging dat er momenteel intensieve discussies gaande zijn tussen onze laboratoria in Amsterdam en Rijswijk enerzijds en het CWI anderzijds, om te komen tot een heropleving van samenwerking. Gezien het aantal raakvlakken dat er op onderzoeksgebied

tussen ons bestaat, vertrouwen wij er op dat die discussies zullen leiden tot het instellen van een door Shell gesponsord Fellowship bij het CWI.

Het doet mij genoegen dat ik die mededeling vandaag kan doen, want uiteindelijk bestaat de SMC veertig jaar en heeft Shell aan de wieg gestaan bij de oprichting en heb ik net geprobeerd duidelijk te maken hoe belangrijk 'rekenen in de industrie' is en blijft.

Als de jaren gaan tellen wordt de uitspraak: 'Iemand is zo jong als hij zich voelt' wel eens wat vaker van stal gehaald. Ik hoop, dat het CWI zich niet alleen heel jong zal blijven voelen, maar dat *ook* in zijn activiteiten aan de buitenwereld duidelijk zal blijven maken.

Ik dank u voor uw aandacht.