

WOUDSCHOTEN

'99

*Natuurkunde tussen hemel
en aarde*

Verslag Woudschotenconferentie 1999

Werkgroep Natuurkunde-Didactiek

**Buijs Ballotlaboratorium
Princetonplein 5
3584 CC Utrecht
Tel.: 030-2531179**

Bestuur

Voorzitter: H.C.M. Eijkelhof

Penningmeester: J. Kortland

Leden: M. Bollen

F. Budding

J. Hellemans

G. Munters

M. Vloemans

P.J. Wippoo

Verslag

Redactie: J. Kortland, F. Budding en J. Hellemans

Typewerk/layout: W. van Eijnsden

Foto's: J.J. Wijnmalen

Omslag: Zuidam & Uithof, Utrecht

Inhoud

Inhoud		
Programma		
Voorwoord	1	
Uitreiking Minnaert-prijs 1999	2	
Lezingen		
De toestand van de ozonlaag <i>J. Lelieveld</i>	5	
Wervels in atmosfeer, oceaan en laboratorium <i>G.J.F. van Heijst</i>	9	
Voorspelbaarheid van weer en klimaat <i>J.D. Opsteegh</i>	15	
En toch beweegt zij... Over gasreservoirs en bodembewegingen <i>H.W. Frikken</i>	21	
De magnetische zon <i>R.J. Rutten</i>	31	
Multimedia met Coach 5 <i>C. de Beurs en P. Molenaar</i>	33	
Fysische geografie – een natuurlijke brug over de kloof tussen profielvakken <i>W. Bouten</i>	39	
Klimaten op de golven van de geologische geschiedenis <i>N. Vandenberghe</i>	41	
Van thermoziuil tot zonnestralsingsmeter <i>C.H. Hoogendijk</i>	53	
Het Global Positioning System (GPS). Over navigatie, platentektoniek en het weer <i>H. van der Marel</i>	57	
Het weer, natuurkunde vol onzekerheden <i>J. Tuttel</i>	59	
Werkgroepen		
4. Zandtransport en kustontwikkeling <i>J. van der Molen</i>	69	
5. El Nino, een onberekenbaar verschijnsel? <i>G. Burgers</i>	73	
6. De hemelglobe: een hulpmiddel voor de beschrijving van hemelbewegingen <i>G. Linssen</i>	81	
8. Veldwerk met Casio's Grafische Reken- machine en Datalogger <i>K. v.d. Veen en K. Vergouwen</i>		83
11. Oceanografische metingen vanaf de veer- Den Helder – Texel <i>H. Ridderinkhof</i>		85
12. Thinking about a round world <i>L. Fucili</i>		89
13. Remote Sensing <i>A. Wielemaker en M. Lateir</i>		95
17. Coach 5: De hemel op aarde <i>V. Dorenbos en P. Uylings</i>		96
18. ElektriX – elektriciteitsbegrippen leren door virtueel practicum <i>C. Mulder</i>		99
20. Probleemgestuurd leren – Een didactiek voor de 2 ^e fase? <i>W. Bustraan en P. Noordzij</i>		104
21. De grafische rekenmachine in de natuur- kundeles <i>P. van Wijlick</i>		107
22. Technisch ontwerpen en profielwerkstuk versus zelfstandig onderzoek <i>H. Vos</i>		109
23. Studievaardigheden in de natuurkundeles <i>H. Bruijnesteijn</i>		111
24. Fysica als gezelschapsspel <i>M. Beddegenoodts, M. Heines en J. Hellemans</i>		113
27. 'De Trillende Tengel' <i>J. Buning en P. Dekkers</i>		114
28. Het profielwerkstuk in de praktijk <i>J.H. Flokstra en C.M. Drukker</i>		118
29. Praktische produkten voor de tweede fase <i>S. Buwalda en H. Pol</i>		119
30. Naar samenhang in de natuur-profielen <i>T. van der Valk</i>		120
31. Een leermethode waardoor meisjes natuurkunde leuk vinden. En jongens ook <i>E. Boltjes</i>		123
35. Leerlijn technisch ontwerpen – Praktische opdrachten en profielwerkstuk met een technisch accent? <i>I. Frederik en H. Huijs</i>		126
Marktinformatie practicummateriaal Deelnemerslijst		

Programma

34^e Woudschotenconferentie

Vrijdag 10 december

- | | |
|--------------------------|---|
| 12.30 - 14.00 uur | Ontvangst |
| 14.00 - 14.10 uur | Opening van de conferentie door de voorzitter van de Werkgroep Natuurkunde-Didactiek, Prof.dr. H.M.C. Eijkelhof |
| 14.10 - 14.20 uur | Informatie over de conferentie door de conferentievoorzitter, mw. L. Heimel |
| 14.20 - 15.10 uur | Plenaire lezing door Prof.dr. M.J.R. Wortel : Geofysica van de vaste Aarde: van structuur naar dynamica |
| 15.10 - 15.25 uur | Uitreiking Minnaert-prijs |
| 15.25 - 16.00 uur | Thee |
| 16.00 - 17.00 uur | Keuze uit vier lezingen: <ul style="list-style-type: none">- Prof.dr. J. Lelieveld: De toestand van de ozonlaag- Prof.dr.ir. G.J.F. van Heijst: Wervels in atmosfeer, oceaan en laboratorium- Dr. Th. Opsteegh: Voorspelbaarheid van weer en klimaat- Dr. H.W. Frikken: En toch beweegt zij. Over gasreservoirs en bodembewegingen |
| 17.00 - 17.30 uur | Aperitief |
| 17.30 - 19.15 uur | Diner |
| 19.30 - 21.00 uur | Werkgroepen |
| vanaf 19.30 uur | Markt |

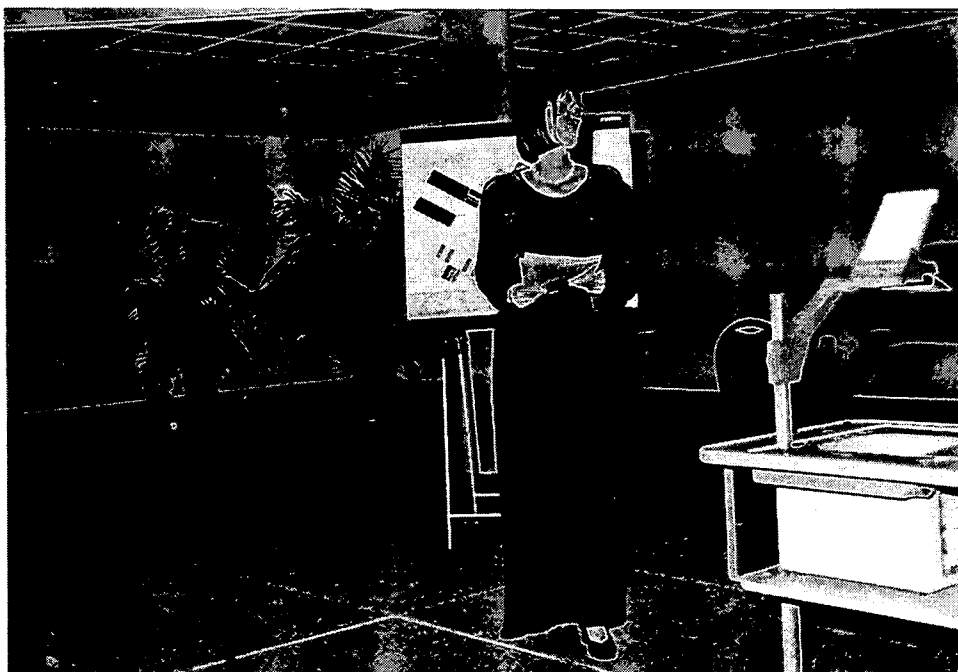
Zaterdag 11 december

- 7.45 - 8.45 uur** Ontbijt
- 9.00 - 9.50 uur** Plenaire lezing door
Dr. L.B.F.M. Waters: De vorming van sterren en planeten
- 10.00 - 10.50 uur** Keuze uit vier lezingen:
- **Dr. R.J. Rutten:** De magnetische zon
- **Prof.dr. J.A. Battjes:** Zeegolven
- **Ir. C. de Beurs en drs. P. Molenaar:** Multimedia met Coach 5
- **Dr.ir. W. Bouten:** Fysische geografie – een natuurlijke brug over de kloof tussen profielvakken
- 10.50 - 11.20 uur** Koffie
- 11.20 - 12.45 uur** Werkgroepen
- 12.45 - 13.45 uur** Lunch
- 13.45 - 14.40 uur** Keuze uit vier lezingen:
- **Prof.dr. V. Icke:** Alle fysica is astrofysica
- **Prof.dr. N. Vandenberghe:** De actuele klimaatdiscussie in een geologisch perspectief
- **Dr.ir. H. van der Marel:** Het Global Positioning System (GPS). Over navigatie, platentektoniek en het weer
- 14.40 - 15.00 uur** Thee
- 15.00 - 15.30 uur** Slotlezing door **Jan Tuttel:** Het weer, natuurkunde vol onzekerheden
- 15.30 - 15.40 uur** Sluiting van de conferentie
- 16.00 uur** Vertrek bus naar station Leiden

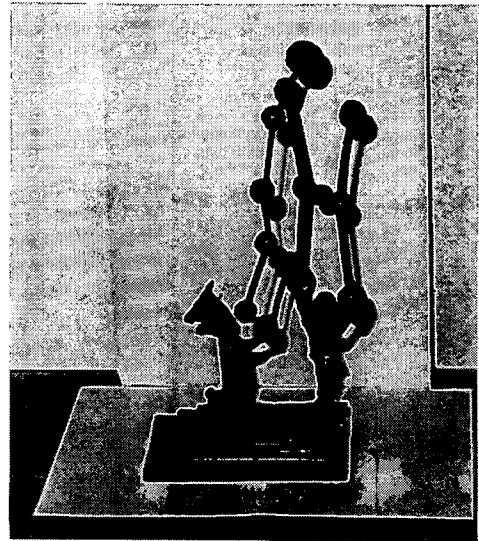
Voorwoord

De 34^e en laatste Woudschotenconferentie van de vorige eeuw hebben we genoemd 'Natuurkunde tussen Hemel en Aarde'. Het ging daarbij om nieuwe inzichten op het gebied van aarde, oceanen, atmosfeer en heelal, onderwerpen die in de belangstelling staan bij een breed publiek, maar die in het natuurkundeonderwijs doorgaans weinig aan bod komen. De nieuwe opzet van de Tweede Fase maakt het echter mogelijk de leerlingen in contact te brengen met deze gebieden, bijvoorbeeld via praktische opdrachten en profielwerkstukken. Bij deze onderwerpen zijn er goede mogelijkheden samen te werken met collega's in de vakken biologie, scheikunde, aardrijkskunde en ANW. In dit verslag vindt U een schriftelijke weergave van de inhoud van de meeste lezingen en werkgroepen. Ook treft u de toespraak aan bij gelegenheid van de uitreiking van de Minnaert-prijs aan dr. Ton Ellermeijer. Helaas lukte het sommige sprekers wegens tijdgebrek niet om een bijdrage aan het verslag te leveren. Het verslag kan deelname aan de conferentie dus niet vervangen maar wel complementeren: behalve de foto- en de videograaf heeft immers niemand alle sprekers en werkgroepen in actie gezien. Ik hoop dat het verslag hierdoor weer een nuttige functie kan vervullen. Onze dank gaat uit naar alle sprekers en werkgroepleiders die aan dit verslag hebben meegewerkt.

Harrie Eijkelhof
Voorzitter WND



Uitreiking Minnaert-prijs 1999



De Minnaert-prijs wordt in principe eens in de twee jaar uitgereikt aan iemand die zich gedurende een reeks van jaren verdienstelijk heeft gemaakt voor het vak natuurkunde in het voortgezet onderwijs in Nederland. Dat betekent dat hij of zij meer heeft gedaan dan alleen het goed uitvoeren van zijn of haar taak. Er moeten ook duidelijk aanwijsbare effecten zijn buiten de eigen werkring.

In het verleden is de prijs uitgereikt aan Henk Mulder, Rosalind Driver, Herman Hooymayers, Jan Leisink, Maarten van Woerkom en Hubert Biezeveld. Helaas zijn zowel Henk als Rosalind overleden.

De jury bestond dit jaar uit:

- Anneke de Leeuw, docent natuurkunde in Amsterdam
- Frits Dekkers, Fontys lerarenopleiding Tilburg
- Imme de Bruin, Universiteit Twente

Ik dank de jury voor hun werk en dit jaar in het bijzonder Anneke die dit nu voor de derde en laatste maal heeft gedaan.

De jury heeft dit jaar via de NVON-kringen en de lerarenopleidingen een oproep gedaan voor kandidaten voor de prijs. Uiteindelijk is met argumenten één kandidaat als eerste voorgedragen en het bestuur heeft van harte ingestemd met de voordracht.

Dat betekent dat ik dit jaar de prijs mag uitreiken aan Ton Ellermeijer.

Beste Ton,

De jury heeft in haar voordracht veel waardering laten blijken voor een aantal van je activiteiten:

- je centrale rol in het DBK-project (voor de jongeren onder ons: het project Differentiatie Binnen Klasverband), een project dat met weinig middelen en

veel liefde van docenten is uitgevoerd in de jaren 1974-1980 op initiatief van Jan Raat, later voortgezet in de DBK-vereniging

- je rol in de leiding van het VWO-bovenbouw-project, uitgevoerd in samenwerking met de RUG, afdeling natuurkunde-didactiek en het PLON-project
- maar vooral voor je leidende rol bij de ontwikkeling van software en hardware voor gebruik van de micro-computer in het onderwijs; door jouw vasthoudendheid heeft informatietechnologie een vaste plaats verworven in het Nederlandse natuurkunde onderwijs en ook in het biologie-, scheikunde- en techniekonderwijs; er vindt zelfs op grote schaal export plaats van Nederlandse software; zo is Coach inmiddels vertaald in 16 talen en heeft het programma al een internationale didactiekprijs (The International Award) gekregen.

Natuurlijk, en dat zul je straks wel tegenwerpen, heb je dat allemaal niet alleen gedaan. Toch is dit geen groepspreis maar een preis voor iemand die ervoor heeft gezorgd dat dit allemaal kon gebeuren.

Toen ik je hiervan op de hoogte stelde zei je me dat je bang was dat dit een soort eindpreis was, zo van nu is het mooi geweest, je kunt nu wel stoppen met CMA en het Amstel Instituut.

Sommige concurrenten zouden dat misschien wel willen.

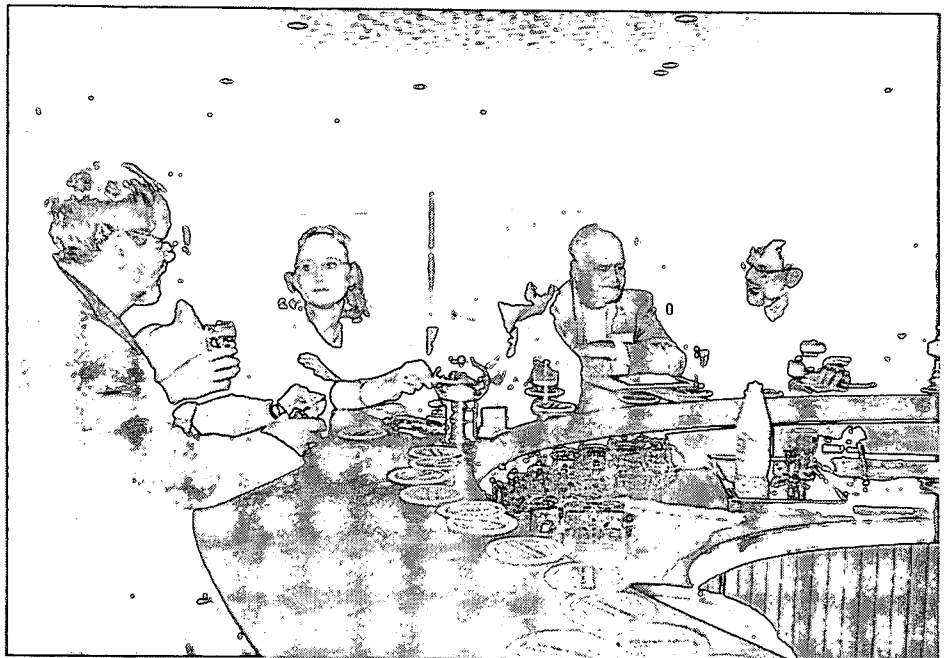
Publiekelijk wil ik graag kwijt dat we juist hopen dat je nu niet op je lauweren gaat rusten maar dat de preis een stimulans is om door te gaan met verbetering van het natuurkunde-onderwijs. Wij hopen dat anderen hieruit veel inspiratie zullen putten.





Lezingen





De toestand van de ozonlaag



J. Lelieveld

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht (IMAU)
Universiteit Utrecht

Inleiding

Er zijn zeer sterke aanwijzingen dat door de mens veroorzaakte emissies van sporengassen mondiale milieuproblemen veroorzaken. Sommigen hebben misschien het 'zelfreinigend vermogen' van de atmosfeer overschat. Eén voorbeeld is de afbraak van de ozonlaag door chloorhoudende verbindingen (CFKs). Deze stoffen worden helaas niet in het sterk oxiderende deel van de atmosfeer, de troposfeer, afgebroken, waardoor ze een lange levensduur hebben en de stratosfeer bereiken. In de stratosfeer worden ze door kortgolvlige zonnestraling afgebroken, zodat het 'actieve' chloor vrijkomt en ozon wordt afgebroken. Een tweede verrassing was dat met name aan de zuidpool, en soms ook aan de noordpool, een 'ozongat' ontstaat. Dit artikel gaat in op de oorzaken van deze fenomenen, en op de toekomst van de ozonlaag nadat internationale afspraken over CFK emissiebeperkingen zijn gemaakt.

Veranderende samenstelling van de atmosfeer

Dat de samenstelling van de atmosfeer verandert staat vast. Hoe hebben we dit vastgesteld? Dit is vooral goed waarneembaar aan sporengassen die een relatief lange levensduur hebben. De belangrijkste voorbeelden zijn kooldioxide (CO_2), chloorfluorkoolwaterstoffen (CFKs), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). Deze gassen verblijven een decennium tot meer dan een eeuw in de atmosfeer nadat zij vanaf het aardoppervlak zijn geëmitteerd. Verwijdering uit de atmosfeer verloopt meestal via chemische afbraak en depositie van de afbraakproducten op het aardoppervlak. CO_2 daarentegen is niet reactief, en het verwijderen ervan wordt bepaald door opname in de oceanen en het vastleggen in plantaardig koolstof. Bij dit laatste is het belangrijk dat er netto groei optreedt van de biomassa, zodat meer CO_2 wordt vastgelegd. Indien dit niet het geval is, komt de CO_2 na de koolzuurassimilatie weer vrij via respiratie en na het afsterven van planten. Dit deel van de natuurlijke kool-

stofkringloop duurt slechts kort (enkele jaren) en van CO_2 verwijdering uit het aarde-atmosfeer systeem is dus geen sprake. Niettemin zijn er aanwijzingen dat de mondiale biomassa iets groeit, zodat dit bijdraagt aan het beperken van de CO_2 levensduur (Schimel e.a., 1994).

Sinds enige tientallen jaren worden op enkele strategische plaatsen in de 'achtergrond' atmosferische metingen van deze gassen uitgevoerd. De laatste jaren is het aantal meetpunten sterk uitgebreid door het Amerikaanse NOAA Climate Monitoring Diagnostics Laboratory. Uit deze metingen kan ondubbelzinnig worden afgeleid dat de concentraties van CO_2 , CH_4 , N_2O en CFKs sterk zijn toegenomen (CDIAC, 1993). Bovendien laten analyses van ijskernen zien dat deze trends in de eerste helft van deze eeuw zijn begonnen. De vorming van ijs in Antarctica en Groenland in het verleden heeft luchtbelletjes uit de vroegere atmosfeer mee ingesloten. Hierdoor is een historisch archief van de samenstelling van de atmosfeer ontstaan. Dit archief beslaat enige honderdduizenden jaren. De analyses ervan laten zien dat de huidige toename van sporengassen in de atmosfeer veel sneller verloopt dan door natuurlijke variaties (Prather e.a., 1994). Dit geldt vooral voor de periode na de laatste ijstijd, het Holoceen. Bovendien correleren de atmosferische veranderingen zeer sterk met de toename van door de mens veroorzaakte emissies. Er is daarom weinig twijfel dat de opwaartse trends in sporengassen door de mens worden veroorzaakt.

De consequenties van deze trends zijn minder eenduidig. Bovendien lijkt het soms dat de meningen van wetenschappers sterk uiteenlopen of dat ze radicaal veranderen in de tijd: op één moment wordt er gesproken van een nieuwe ijstijd, op het andere moment wordt gezegd dat het versterkte broeikaseffect zal leiden tot een temperatuurverhoging. Deze discussie zal zeker nog voortduren, hoewel het aantal aanwijzingen voor antropogene klimaatveranderingen groeit. In dit artikel ga ik in op de toestand van de

ozonlaag als voorbeeld van door de mens veroorzaakte mondiale milieuproblemen. Ik zal niet alleen aangeven hoe en waarom het mis is gegaan, maar ook hoe maatregelen en internationale afspraken kunnen leiden tot een oplossing van het probleem.

Afbraak en herstel van de ozonlaag

De aanwezigheid van de ozonlaag is in de eerste plaats te danken aan de zuurstofproductie door de biosfeer. De zuurstofmoleculen worden in de stratosfeer door ultraviolette zonnestraling gesplitst in zuurstofatomen die samen met O₂ ozon (O₃) vormen. Net als zuurstof absorbeert ozon ook ultraviolette straling, zij het in een ander deel van het spectrum. Hierdoor wordt verhinderd dat de schadelijke kortgolvlige straling het aardoppervlak bereikt. In dit proces wordt continue ozon gevormd en afgebroken tot moleculair zuurstof, totdat zich een chemisch evenwicht instelt. Dit evenwicht in de stratosfeer wordt verstoord door de katalytische werking van chlooratomen die uit CFKs worden afgesplitst. De CFKs zijn synthetische verbindingen die worden gebruikt als koelstof, als drijfgas in spuitbussen en bij de productie van isolatiemateriaal. Het vrijkomen van 'actief chloor' uit CFKs in de stratosfeer vindt eveneens plaats door ultraviolette straling. De katalytische ozonafbraak door actief chloor is zo efficiënt dat er maar een klein beetje van nodig is om dit effect te bereiken. Inmiddels is ondubbelzinnig aangetoond dat de CFKs het chloorbudget van de stratosfeer domineren. Bovendien staat vast dat CFKs geen natuurlijke bronnen hebben (WMO, 1999).

We moeten hier wel aan toevoegen dat het enige tijd heeft geduurd voordat iedereen het ermee eens was dat dit probleem door de mens zelf is veroorzaakt. Het probleem openbaarde zich pas duidelijk in 1985 door de ontdekking van het gat in de ozonlaag boven de zuidpool (Farman e.a., 1985). Hoewel het in 1974 was voorspeld dat CFKs de ozonlaag aantasten (Molina & Rowland, 1974), had men met computermodellen niet kunnen voorspellen dat zich een ozongat zou ontwikkelen. De modellen die rond 1980 beschikbaar kwamen waren wel goed genoeg om te laten zien dat de toename van CFKs een geleidelijke, mondiale ozonafbraak zou veroorzaken. Maar pas halverwege de 80er jaren werd ontdekt dat interacties tussen de verstoorde chemie en ijsdeeltjes in de koude zuidpoolstratosfeer het ozongat veroorzaken (Solomon e.a., 1986; Crutzen & Arnold, 1986). Het bleek dat tijdens het voorjaar aan de zuidpool de combinatie van chemische en meteorologische omstandigheden zodanig is dat de stratosfeerchemie onstabiel wordt. Onder normale omstandigheden is een deel van het chloor gedeactiveerd in reservoirstoffen. Aan de zuidpool echter wordt dit proces verhinderd doordat de reactiepartners van het chloor in ijswolken worden opgenomen. Bovendien wordt de chlooractivering aan het ijs versneld. Het chloor kan dan ongestoord zijn destructieve werk doen.

Wat we hiervan leren is dat de natuur niet altijd in staat is een stabiliserende en reinigende werking uit te oefenen. Op onverwachte momenten kan het fout gaan, waarbij positieve terugkoppelingen destabiliserend kunnen werken. Voor de wetenschap is dit op de eerste plaats interessant. Het is natuurlijk een uitdaging te proberen dit soort processen op te sporen en hun rol in de natuur te begrijpen. Uiteraard is het voor ons allemaal relevant, omdat we van de atmosfeer afhankelijk zijn.

Wat leren we hieruit over computermodellen? Ondanks dat ze het ozongat niet konden voorspellen hebben ze een sleutelrol gespeeld. Door een koppeling te maken tussen meteorologische en chemische modellen ontstonden nieuwe inzichten. Vervolgens kon doelgericht worden gemeten in de atmosfeer om de modellen te toetsen (Andersen e.a., 1989). Pas toen bleek dat de modellen de hoeveelheid actief chloor in het ozongat onderschatten, ontstonden ideeën over de chemie aan ijsdeeltjes. Dus de combinatie van fysisch-chemische modellen met metingen in de atmosfeer was belangrijk. Uiteindelijk bleek dit overtuigend genoeg te zijn voor de politici om verregaande maatregelen te nemen. In het protocol van Montreal in 1987 en de verscherping ervan in de jaren erna werd besloten om de productie van CFKs volledig te stoppen. Als de modelstudies niet in een vroeg stadium zouden zijn begonnen, zou de kennisontwikkeling veel langzamer zijn verlopen.

Door het stopzetten van de CFK-productie zal in het begin van de 21e eeuw de mondiale afbraak van de ozonlaag ongeveer 5% bedragen. Als de CFK-productie onverminderd zou zijn doorgegaan was dit het dubbele geweest. Bovendien zou de ozondestructie in de volgende eeuw sterk zijn toegenomen. Halverwege de 21e eeuw zou de helft van de ozonlaag zijn verdwenen. Maar volgens de huidige prognoses zal de ozonlaag zich rond het jaar 2050 weer hebben hersteld (WMO, 1999).

Overigens zijn er nog altijd een paar hardnekkige onzekerheden. We weten niet precies waarom op gematigde breedtes op het noordelijk halfrond, vooral in het voorjaar, sterke ozonafname plaatsvindt in de lage stratosfeer. Dit heeft waarschijnlijk te maken met transport van actief chloor vanaf de noordpool naar onze breedtes. Verder moeten we er ook rekening mee houden dat door de afbraak van de ozonlaag en de toename van CO₂ de stratosfeer kouder wordt. Hierdoor kunnen zich aan de polen meer ijsdeeltjes vormen. Onze vliegtuigmetingen in de afgelopen jaren, uitgevoerd in de Arctische stratosfeer vanaf Kiruna (in het noorden van Zweden), hebben laten zien dat ook aan de noordpool omstandigheden voorkomen waarbij aan ijsdeeltjes ozonafbraak plaatsvindt. Bovendien worden inmiddels alternatieve chloorverbindingen geproduceerd om de persistente CFKs te vervangen. Hoewel deze veel sneller worden afgebroken in de lagere delen van de atmosfeer, is niet precies bekend hoeveel chloor alsnog de stratosfeer bereikt. Het is belangrijk dat

deze zaken goed worden onderzocht om nieuwe verrassingen te voorkomen.

Algemeen kunnen we over het onderzoek aan de ozonlaag zeggen dat het succesvol is; het heeft al veel opgeleverd. We hebben overigens wel geluk gehad. Bijvoorbeeld, als de industrie zou hebben besloten broomverbindingen te produceren in plaats van chloorverbindingen, zou het probleem veel groter zijn geweest (Crutzen, 1996). Op dit moment wordt broom slechts in kleine hoeveelheden gebruikt, bijvoorbeeld als halonen in brandblussers. Maar we kunnen er zeker van zijn dat bij grootschalig gebruik van deze stoffen de wetenschappelijke ontdekkingen te laat zouden zijn geweest. In tegenstelling tot een deel van het chloor wordt broom nauwelijks gedeactiveerd in reservoirstoffen. Bij broom is dit veel minder effectief. Dus door emissies van broom- in plaats van chloorverbindingen zouden we op dit moment een mondiaal ozongat hebben. Gelukkig is dit niet gebeurd, hoewel het gebruik van broomhoudende halonen in brandblussers nog wel toeneemt.

Literatuur

Andersen, J.G. e.a. (1989), Ozone destruction by chlorine radicals within the Antarctic vortex. *Journal of Geophysical Research*, 94, p. 11465.
Carbon Dioxide Information Analysis Center (1993), *Trends '93. A compendium of data on global*

change. Oak Ridge, TE: World Data Center, Oak Ridge National Laboratory.

Crutzen, P.J. & Arnold, F. (1986), Nitric acid cloud formation in the cold Antarctic stratosphere: a major cause for the springtime "ozone hole". *Nature*, 324, p. 651.

Crutzen, P.J. (1996), *My life with O₃, NO_x and other YZO_xs*. Stockholm: Swedish Royal Academy of Sciences.

Farman, J.C. e.a. (1985), Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, 315, p. 201.

Molina, M.J. & Rowland, F.S. (1974), Stratospheric sink of chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalyzed destruction of ozone. *Nature*, 249, p. 810.

Prather, M. e.a., (1994), Other trace gases and atmospheric chemistry. In: *Climate Change 1994*, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Schimmel, D. e.a. (1994), CO₂ and the carbon cycle. In: *Climate Change 1994*, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Solomon, S. e.a. (1986), On the depletion of Antarctic ozone. *Nature*, 321, p. 755.

World Meteorological Organization (WMO) (1999), *Scientific assessment of ozone depletion: 1998*. Geneva: WMO.

Wervels in atmosfeer, oceaan en laboratorium

G.J.F. van Heijst

Faculteit Technische Natuurkunde, TU Eindhoven



Inleiding

Het onderzoek aan de dynamica van coherente wervelstructuren heeft vanuit de geofysische stromingsleer een belangrijke impuls gekregen, vooral nadat satellietwaarnemingen de veelvuldige aanwezigheid van grootschalige wervels in oceanen en atmosfeer hadden aangetoond. Het gaat hier om bewegingen die quasi-tweedimensionaal zijn als gevolg van een gelaagde dichtheidsopbouw, de rotatie van het systeem, of een combinatie van beide. Een goed begrip van het ontstaan en de dynamiek van deze wervels is van groot belang wegens hun rol in het mondiale transport van materie en warmte. In dit artikel worden recente vorderingen beschreven die zijn bereikt op basis van numerieke simulaties en laboratoriumexperimenten.

Turbulente stromingen

Uit de ervaring van alledag weten we dat turbulente stromingen de 'wanorde' in een vloeistof doen toenemen, en in het algemeen een vrij efficiënte menging van materiële elementen veroorzaken. Nauwkeurige waarnemingen van rookpluimen uit schoorstenen, de dwarrelende rook boven een sigaret, of willekeurige andere turbulente stromingen maken duidelijk dat grote wervels in zo'n stroming instabiel zijn, en uiteenvallen in kleinere wervels. Op hun beurt zijn deze ook weer stabiel, en breken op in nog kleinere werveltjes. Dit proces zet zich voort tot op moleculaire lengteschalen, de schalen waarop de kinetische energie van de stroming uiteindelijk gedissipeerd wordt, d.w.z. getransformeerd wordt in warmte. Er vindt dus een spectrale energieflex van grote naar kleine lengteschalen plaats, en dit fenomeen staat wel bekend als de 'energiecascade' in driedimensionale (3D) turbulentie. Fenomenologisch uit zich deze cascade in de ontwikkeling naar een relatief ongeordende stroming vanuit een aanvankelijk betrekkelijk geordende stromingstoestand.

In opmerkelijk contrast met dit fenomeen staat het zogenaamde *zelforganisatie*-principe van de tweedimensionale (2D) turbulentie. Het grote verschil tussen 3D en 2D ligt in het effect van 'wervelstrekking': als een wervel gestrekt wordt, zal de materie naar de draaiingsas van de wervel worden getrokken, en vanwege behoud van hoekimpuls sneller gaan roteren (dit is vergelijkbaar met de pirouette van een kunstschaatser, die zijn draaisnelheid kan vergroten door beide armen tegen zijn lichaam te brengen). In een 2D-stroming is het mechanisme van wervelstrekking afwezig, en dit blijkt belangrijke consequenties te hebben voor de dynamica: de kinetische energie van de stroming vertoont nu juist een spectrale flux van kleine naar grote lengteschalen. Deze eigenschap kan vrij eenvoudig worden afgeleid uit de vergelijking voor de vorticeiteit $\omega = \nabla \times v$ van de stroming (hier is v de snelheidsvector die de stroming in elk ruimtelijk punt karakteriseert).

Voor een 2D-stromingsveld $v = (u, v, 0)$ is de vorticeitsvector ω gericht loodrecht op het vlak van de stroming, dus $\omega = (0, 0, \omega)$. Door de afwezigheid van het strek- en kantelmechanisme is de vorticeiteit in de limiet voor niet-visceuze stromingen dan een behouden grootheid. Uit de niet-visceuze vorticeitsvergelijking kan men nog twee belangrijke behoudswetten afleiden, namelijk die voor de kinetische energie $E = \frac{1}{2} |v|^2$ en voor de zogenaamde enstrofie $V = \frac{1}{2} \omega^2$, welke opgevat kan worden als een maat voor de totale vorticeiteit van de stroming. Een belangrijke eigenschap van 2D-stromingen kan men gemakkelijk afleiden door deze behouden grootheden E en V in spectrale vorm te schrijven:

$$E \propto \int_0^{\infty} \varepsilon(\kappa, t) d\kappa = \text{const.}$$

$$V \propto \int_0^{\infty} \kappa^2 \varepsilon(\kappa, t) d\kappa = \text{const.}$$

waarbij $\varepsilon(\kappa, t)$ de spectrale energiedichtheid in het golfgetalinterval $(\kappa, \kappa + d\kappa)$ op het tijdstip t .

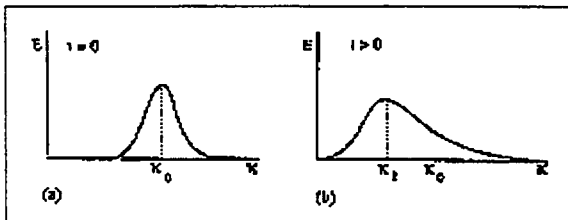


Fig. 1 De ontwikkeling van de spectrale verdeling van de kinetische energie in een 2D-stroming: de piek die zich aanvankelijk in golfgetal κ_0 bevindt (a) schuift naar kleinere κ -waarden (b)

Veronderstel dat aanvankelijk ($t = 0$) het energiespectrum een piek vertoont rond een golfgetal κ_0 , zoals weergegeven in figuur 1. Als gevolg van niet-lineaire interacties in de stroming zal de kinetische energie geleidelijk verspreid worden over een breder golfgetalinterval, echter zodanig dat het oppervlak onder de spectrale curve van E (d.w.z. de totale kinetische energie) gelijk blijft: een verbreding van het spectrum impliceert dus een afname van de piekwaarde. Tegelijkertijd moet volgens de definitie van V echter het 'tweede moment' van de spectrale verdeling behouden blijven: een spectrale energieflux naar grotere κ -waarden wordt gecompenseerd door een veel grotere energieflux naar kleinere κ -waarden.

Een en ander heeft tot gevolg dat het energiespectrum asymmetrisch wordt en dat de energiepiek verschuift naar kleinere golfgetallen κ (zie figuur 1). De kinetische energie van de 2D-stroming vertoont dus een spectrale flux van de kleinere naar de grotere lengteschalen – een effect dat wordt aangeduid als de *inverse energiecascade*. Vanuit een ongeordende, willekeurige beginsituatie – waarin de diverse eigenschappen over het hele golfgetal-spectrum continu verdeeld zijn – neemt men de vorming van zogenaamde coherente wervelstructuren waar. De kinetische energie van de stroming concentreert zich dus na enige tijd in dergelijke grootschalige wervels, welke vaak zeer stabiel en zwak-dissipatief zijn.

Het blijkt dat tweedimensionale turbulentie in een medium met niet al te grote viscositeit ook tot een organisatie in grotere structuren leidt: weliswaar zijn de energie E en de enstrofie V nu niet meer zuiver behouden, de energie vertoont nog steeds een cascade naar de grotere schalen. Omdat moleculaire dissipatie-effecten op dergelijke grote schalen niet werkzaam zijn, kunnen 2D-stromingen worden gekenschetst als zwak-dissipatief. Dit staat in sterk contrast met 3D-stromingen waarin de energiecascade naar de kleine lengteschalen borg staat voor een efficiënte dissipatie (zelfs bij zeer geringe viscositeit).

Numerieke simulaties

Met behulp van geavanceerde rekenfaciliteiten uitgevoerde numerieke simulaties van 2D-turbulentie heb-

ben veel inzicht verschaft in de spectrale eigenschappen van deze stromingen. Zo bleek dat vanuit een begintoestand van randomverdeelde vorticeiteit een tweedimensionale stroming de eerder genoemde 'ordering' vertoont, in die zin dat de energie zich gaat concentreren in geïsoleerde wervelstructuren (zie figuur 2). In veel gevallen blijken er wervels te ontstaan die ongeveer cirkelvormig zijn, maar onder bepaalde voorwaarden neemt men echter ook de vorming van andere werveltypen waar. Het is nu mogelijk de volgende klassifikatie op te stellen. Allereerst is er de *monopolaire wervel*, met een min of meer axisymmetrische (of lichtelijk elliptische) vorm, en welke een netto hoekimpuls bezit. Als tweede type is er de *dipolaire wervel*, bestaande uit twee wervels met tegengestelde draaiingszin. In zijn zuivere vorm is de dipool as-symmetrisch, en voert een translatie uit in een richting gedefinieerd door deze as. Een dipool-wervel bezit dus netto lineaire impuls, terwijl de netto hoekimpuls nul is.

Recentelijk is er een derde werveltype gevonden, namelijk de *tripool*. Deze tripolaire wervel bestaat uit een elliptische centrale wervel, geflankeerd door twee zwakkere satelliet-wervels met tegengestelde draaiingszin. Terwijl het centrum van deze vortexstructuur op z'n plaats blijft, vertoont de as door de satelliet-wervels een stationaire rotatie om het centrum. Zeer onlangs zijn er – zowel numeriek als experimenteel – aanwijzingen verkregen voor het bestaan van zelfs een hogere-orde structuur bestaande uit een driehoekige kernwervel geflankeerd door drie satelliet-wervels, doch deze complexe configuratie lijkt voornamelijk instabiel.

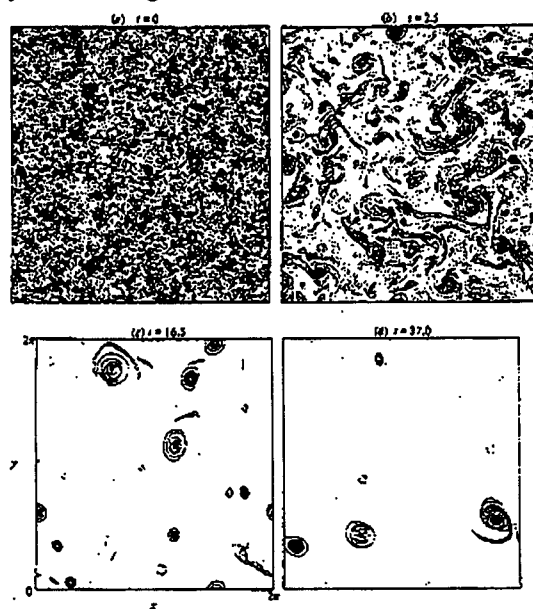


Fig. 2 De evolutie van de vorticeiteitsverdeling in tweedimensionale turbulentie, volgens een numerieke simulatie van McWilliams (1984). Vanuit een begin-toestand van random-verdeelde vorticeiteit (a) ontstaan geleidelijk geïsoleerde wervelstructuren (b,c,d)

Laboratoriumexperimenten

Naast numerieke studies van het optreden van deze georganiseerde stromingsstructuren is er de laatste jaren ook veel laboratoriumonderzoek verricht naar de dynamica van coherente wervels. In de 'vrije natuur' of in het laboratorium kan een stroming op verschillende manieren tweedimensionaal gemaakt worden, bijv. door de aanwezigheid van achtergrondrotatie (oceanen, atmosfeer), dichtheidsstratificatie (oceaan), magneetvelden, of door de geometrie zelf (zoals in een zeepvlies). Gezien deze variëteit aan tweedimensionaliserings-mechanismen zal het geen verwondering wekken dat er behalve vanuit de geofysische stromingsleer (oceanografie, meteorologie) ook een toenemende belangstelling voor de zelforganisatie-verschijnselen in tweedimensionale stromingen is waar te nemen vanuit disciplines als de plasmafysica (tokamaks, etc.) en de astrofysica (er zijn aanwijzingen dat zich ook coherente structuren voordoen in de accretieschijven van neutronensterren).

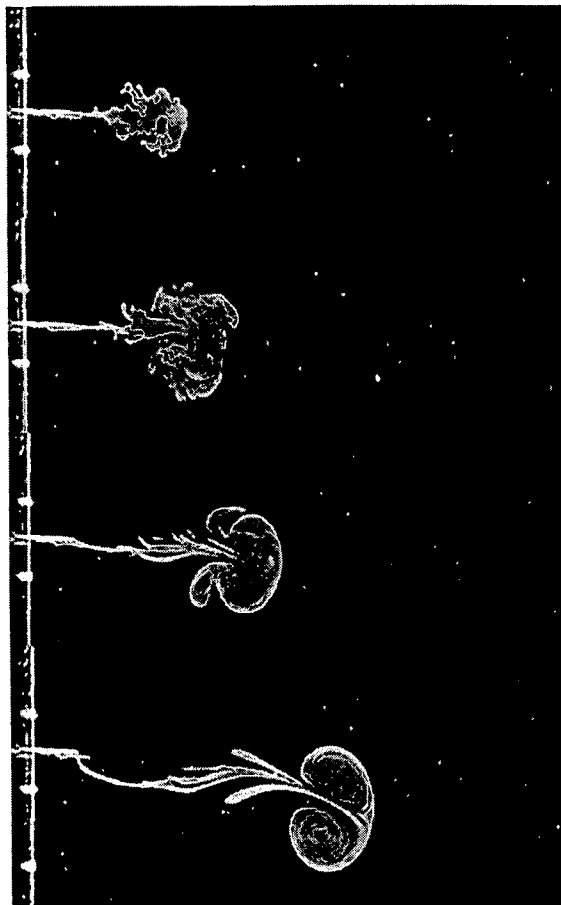


Fig. 3 Bovenaanzichtsfoto's gemaakt tijdens een laboratoriumexperiment dat illustreert hoe vanuit een turbulente 'wolk' in een gestratificeerde vloeistof uiteindelijk een regelmatige dipoolwervel ontstaat

In het laboratorium van de vakgroep Transportfysica van de TU Eindhoven worden experimenten verricht aan zelforganisatie van 2D-stromingen en in het bij-

zonder aan dipool- en tripoolwervels, teneinde meer van de dynamica van deze stabiele stromingsfenomenen te weten te komen. In een van de experimenten wordt een dipool gegenereerd door horizontale, turbulente injectie van een klein vloeistofvolume in een tank gevuld met een continu-gestratificeerde vloeistof. Aanvankelijk is de opgewekte beweging driedimensionaal turbulent (ongeordend), maar de verticale bewegingen in de geïnjecteerde 'wolk' worden al snel door de omgevingsstratificatie onderdrukt, zodat de turbulentie spoedig een tweedimensionaal karakter krijgt. Vervolgens neemt men het effect van de inverse energiecascade waar, in de toenemende wervelschalen, uiteindelijk resulterend in het ontstaan van een fraaie, geordende dipoolstructuur.

De hier afgebeelde foto's (figuur 3) geven in bovenaanzicht de verschillende opeenvolgende stadia van het experiment weer, waarin de zelforganisatie op treffende wijze geïllustreerd wordt. Door de banen van kleine tracerdeeltjes in de vloeistof fotografisch vast te leggen, kan de snelheidsverdeling in de dipool nauwkeurig opgemeten worden (via digitale beeldverwerking). Door numerieke bewerking van deze informatie worden dan vervolgens de stromingseigenschappen bepaald die essentieel zijn voor de verdere theoretische modelvorming van coherente wervels, zoals de ruimtelijke verdeling van de vorticeit.

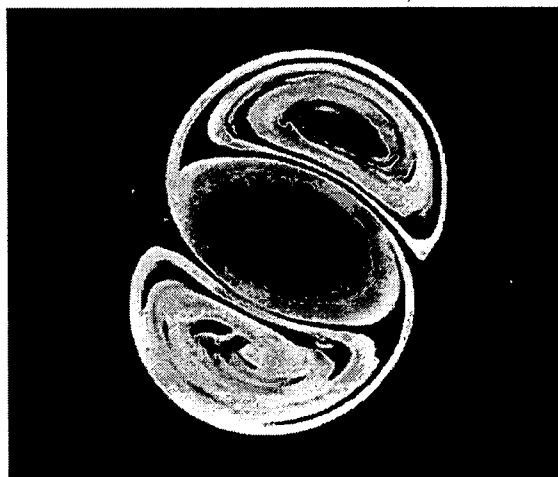


Fig. 4 Een tripoolwervel zoals waargenomen in een roterende vloeistof

Een paar jaar geleden werd (min of meer toevallig!) de tripool-wervel in ons laboratorium ontdekt: deze bijzondere coherente structuur blijkt onder bepaalde condities te ontstaan als het stabiele eindproduct van een instabiele monopolaire wervel in een roterende homogene vloeistof (zie figuur 4).

Elementaire deeltjes

Een belangrijke vraag die zich laat stellen bij de studie van geordende, coherente wervelstructuren is: hoe stabiel zijn ze? Deze kwestie heeft men onderzocht via numerieke perturbatie-analyses, maar ook door interactie-experimenten uit te voeren, zowel in

het laboratorium als via numerieke simulaties. Vooral de laboratoriumexperimenten met dipool-botsingen geven resultaten die (ook in visueel opzicht) spectaculair te noemen zijn, en die het robuuste karakter van deze structuren onderstrepen.

Een voorbeeld van zo'n botsingsexperiment is te zien in figuur 5: tijdens de botsing doet zich zogenaamde 'partner-ruil' voor tussen beide dipolen, en er ontstaan twee nieuwe dipoolwervels die elk bestaan uit twee verschillende helften (namelijk van beide oorspronkelijke dipolen één). Frappant is dat deze dipool-dipool interactie weer twee dipolen oplevert. Dipool-dipool interacties met een grotere off-set van de symmetrieassen kan ook resulteren in ander gedrag: of de dipolen draaien enigszins om elkaar heen alvorens hun weg te vervolgen ('scattering'), of twee wervelhelften smelten samen zodanig dat een tripoolwervel gevormd wordt. Ook de monopool-dipool interactie kan aanleiding geven tot partnerruil, waarbij een helft van de oorspronkelijke dipool wordt omgewisseld voor de monopool.

Al deze basis-werveltypen ziet men ook veelvuldig ontstaan bij instabiele begintoestanden: een instabiele monopolaire wervel (met geschikte vorticiteitsverdeling) kan een transformatie vertonen naar een tripoolwervel (figuur 4), maar kan ook uiteenvallen in twee dipolen.

Waarnemingen aan een instabiele tripool brachten aan het licht dat deze ook via dipool-splitsing opbreekt. Wegens hun interactie- en (in)stabiliteits-eigenschappen worden de coherente wervels (monopolen, dipolen, tripolen) steeds vaker betiteld als de 'elementaire deeltjes' van de tweedimensionale turbulentie.

Eén van de sleutels tot het beter begrijpen van het eigenlijke zelforganisatieproces van 2D-stromingen betreft het interactie- en (in)stabiliteitsgedrag van afzonderlijke wervels. Een belangrijke basisinteractie is die tussen twee monopolaire wervels, al dan niet van gelijke grootte, sterkte en polariteit. Bij voldoende kleine onderlinge afstand smelten beide wervels via een ingewikkeld proces samen tot een nieuwe wervel die aanvankelijk elliptisch is, doch later axisymmetrisch wordt. Bij dit merging-proces ontstaan twee karakteristieke spiraalarmen (zie figuur 6) die bestaan uit dunne vorticiteitsfilamenten.

Deze spiraalarmen ontstaan aan elk der oorspronkelijke wervels als gevolg van de 'strain' opgewekt door de naburige wervel. Dergelijke vervormingseffecten kunnen zich ook voordoen bij een enkele wervel geplaatst in een niet-uniforme achtergrondstroming, welke bijv. kan worden veroorzaakt door de aanwezigheid van meerdere wervels in het 'verre veld'.

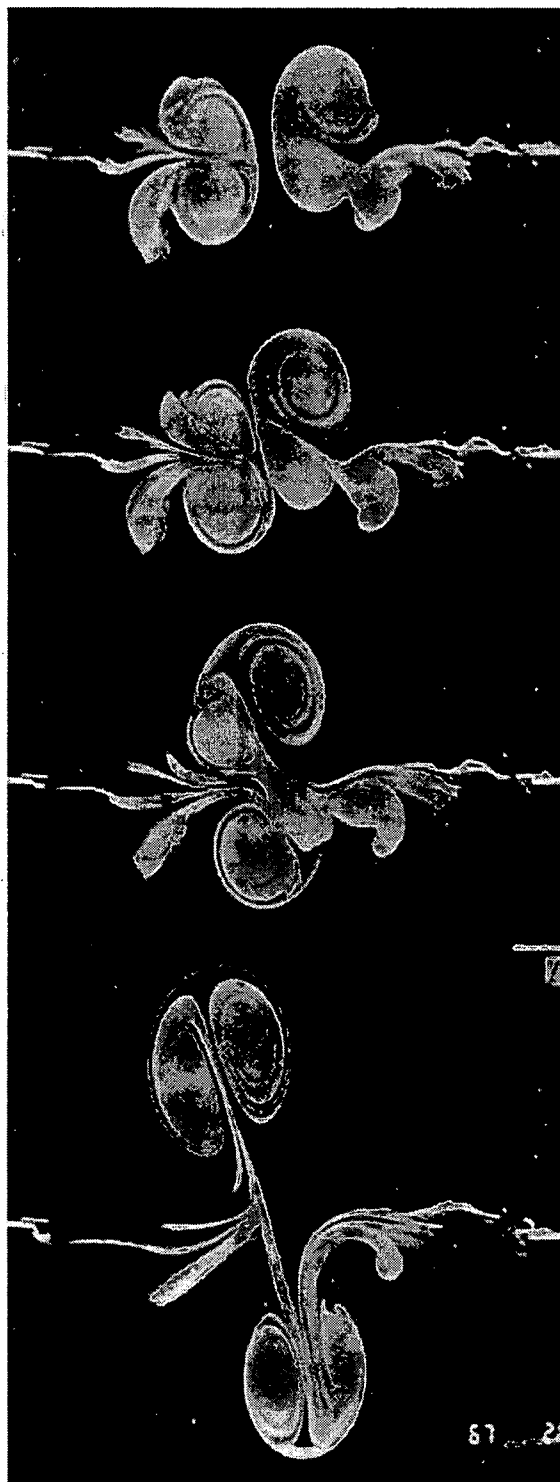


Fig. 5 Een frontale botsing tussen twee dipolen zoals waargenomen in een gestratificeerde vloeistof: na de zogenaamde 'partnerruil' ontstaan er twee nieuwe dipolen

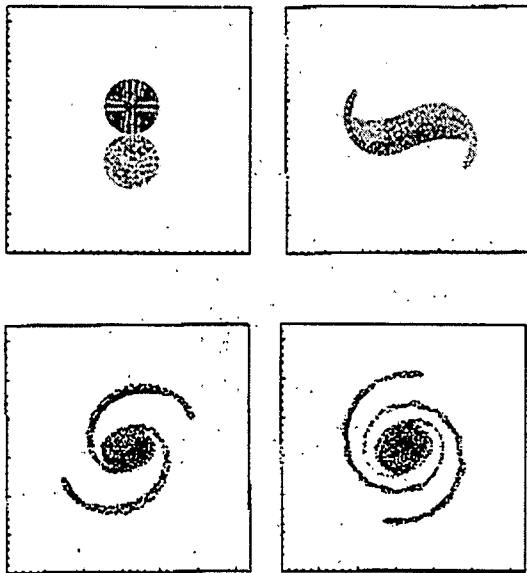


Fig. 6 Numerieke simulatie van de merging van twee identieke monopolaire wervels ('cloud-in-cell' simulatie)

Ozongat

Een ander belangrijk aspect van coherente wervels in 2D-stromingen betreft de (chaotische) transport van passieve tracers, met name bij onderlinge interacties en tijdens instabiliteit. Inzichten die hieromtrent via numerieke/analytische studies en laboratoriumexperimenten verworven worden, dragen in grote mate bij tot een beter begrip van grootschalige uitwisselingsprocessen in de oceanen en de planetaire atmosferen, waarin zich ook coherente structuren manifesteren (denk aan de Grote Rode Vlek van Jupiter, of aan de Grote Donkere Vlek en talloze andere wervels in de atmosfeer van Neptunus).

Ook de polaire wervels in de stratosfeer van de aardse dampkring zijn voorbeelden van dergelijke coherente wervelstructuren. De bolvorm van de planeet zorgt hier echter voor een extra complicatie, en werkt als een 'constraint' in de dynamica, waardoor het instabiliteitsgedrag van de wervel aanzienlijk wordt beïnvloed. Mede hierdoor is de 2D(!)-menging tussen de wervel en het gebied daarbuiten beperkt tot een relatief nauwe zonale band, waardoor er weinig uitwisseling van materie optreedt (zie figuur 7).

Het wordt aangenomen dat dit fenomeen in directe relatie staat tot het optreden van lokaal sterk verlaagde ozon-concentraties in de polaire stratosferische wervels. Natuurlijk is de problematiek van het ozongat uitermate ingewikkeld: naast transportprocessen spelen ook chemische omzettingsprocessen een essentiële rol in het geheel. Niettemin kunnen we veel

leren van relatief eenvoudige laboratoriumexperimenten!

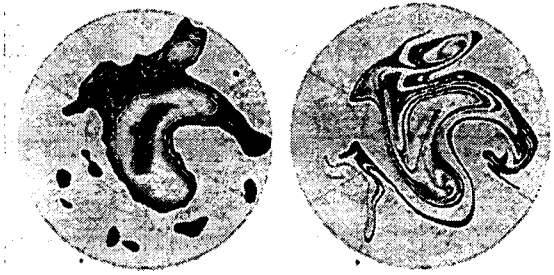


Fig. 7 Polaire wervel in de Arctische stratosfeer: (a) waargenomen vorticiiteitsverdeling op 27 januari 1992, (b) de via contourdynamica berekende vorticiiteitsverdeling op dezelfde dag, gebaseerd op de waargenomen verdeling op 15 januari 1992. Alhoewel er aan de rand menging met de omgeving optreedt (dunne filamenten), blijft de kern nagenoeg geïsoleerd (Waugh, 1993)

Literatuur

- Dritschel, D.G. en Legras B. (1993). Modelling oceanic and atmospheric vortices. *Physics Today*, 46 (3), 44-51.
- Hasegawa, A. (1985). Self-organization processes in continuous media. *Adv. Phys.* 34, 1-42.
- Heijst, G.J.F. van en Flór, J.B. (1989). Dipole formation and collisions in a stratified fluid, *Nature* 340, 212-215.
- Heijst, G.J.F. van en Kloosterziel, R.C. (1989). Tripolar vortices in a rotating fluid. *Nature* 338, 569-571.
- Heijst, G.J.F. van, Kloosterziel, R.C. en Williams, C.W.M. (1991). Laboratory experiments on the tripolar vortex in a rotating fluid. *J. Fluid Mech.* 225, 301-331.
- McWilliams, J.C. (1984). The emergence of isolated coherent vortices in turbulent flow. *J. Fluid Mech.* 146, 21-43.
- Waugh, D. (1993). Contour surgery simulations of a forced polar vortex. *J. Atmos. Sci.* 50, 714-730.

Bovenstaande tekst is een bewerking van een artikel dat onder de titel 'Zelforganisatie van tweedimensionale stromingen' verscheen in het *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* 59, 321-325 (1993). Meer informatie over het onderzoek aan coherente wervelstructuren en 2D-turbulentie kan verkregen worden door een bezoek aan de website van de groep Transportfysica van de TU Eindhoven: www.fluid.tue.nl.

Voorspelbaarheid van weer en klimaat

J.D. Opsteegh

KNMI



Voorspelbaarheid van het weer

Toen ik in 1971 bij het KNMI kwam, was de meteorologie zich razendsnel aan het ontwikkelen. De aanzet hiertoe werd in 1950 gegeven door Charney, von Neuman en collega's met de publicatie van de resultaten van de eerste numerieke weersverwachting, geproduceerd met behulp van de ENIAC, de door von Neuman ontwikkelde computer. Het rekenmodel waarmee zij een weersverwachting voor twee dagen vooruit produceerden, was een zogenaamd barotroop model, een eenvoudig model dat de atmosferische circulatie beschrijft in termen van behoud van vorticeit. Zij gebruikten voor hun berekeningen vele uren rekentijd op de ENIAC. Tegenwoordig kost zo'n berekening enkele seconden op een doodgewone PC. Het succes van deze onderneming deed de meteorologische wereld op zijn grondvesten schudden en was de aanzet tot een ontwikkeling die steeds meer in een stroomversnelling geraakte. Met iedere nieuwe generatie computers werden ook de rekenmodellen complexer en beschreven op steeds realistischer wijze de grootschalige aspecten van de atmosferische circulatie. Stabiele numerieke schema's werden ontwikkeld en realistische parameterisaties van sub-gridschaal processen, ontwikkeld op basis van meetcampagnes, kwamen beschikbaar.

In 1971 was het optimisme dat deze ontwikkeling op den duur nauwkeurige verwachtingen tot misschien wel een maand of een seizoen vooruit mogelijk zou maken nog steeds heel groot, ondanks het feit dat Lorenz al in de zestiger jaren in een aantal artikelen, zowel theoretisch als empirisch, had aangetoond dat de atmosferische voorspelbaarheid fundamenteel beperkt is. De reden hiervan is dat de atmosfeer zeer gevoelig reageert op kleine veranderingen. Als we een kleine fout maken in de bepaling van de toestand van de atmosferische circulatie aan het begin van de modelberekeningen, dan zal die fout gedurende de berekeningen groeien en uiteindelijk alle nuttige modelinformatie over toekomstige veranderingen in de

atmosfeer vernietigen. Het maakt hierbij niet uit hoe klein die initiële fout is. De bepaling van de begintoeestand is gebaseerd op metingen, die gelijktijdig over de hele wereld worden gedaan. Metingen, hoe nauwkeurig ook verricht, bevatten altijd kleine fouten. Deze fouten komen terecht in de begintoeestand en leiden zo tot een maximaal haalbare voorspeltermijn. Lorenz schatte deze voorspelhorizon op ongeveer twee weken. Het optimisme van de zeventiger jaren leidde in 1975 tot de oprichting van het ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts), een instituut waarin een aantal Europese landen samenwerken om weersverwachtingen te produceren voor ongeveer twee weken vooruit. Het ECMWF werd gevestigd in Engeland en is momenteel een toonbeeld van wat met eendrachtige samenwerking op Europees niveau kan worden bereikt (zie figuur 1).

Hoewel de oorspronkelijke doelstelling van het Centrum, om nauwkeurige weersverwachtingen uit te geven tot tien dagen vooruit, nog steeds niet is bereikt, heeft de ontwikkeling van een reusachtig rekenmodel voor de atmosferische circulatie binnen het Centrum geweldig inspirerend gewerkt op de hele meteorologische gemeenschap. Van over de hele wereld komen nu al vele jaren toonaangevende wetenschappers naar het Centrum om er te werken en zo hun bijdrage te leveren aan het verder ontrafelen van de geheimen van de atmosferische circulatie. Ook Nederlandse wetenschappers leveren hieraan hun bijdrage. De huidige generatie mondiale computermodellen beschrijft de atmosfeer met 26 concentrische bolschillen. Op ieder van die schillen ligt een rooster. De punten van het rooster liggen op regelmatige afstanden van elkaar en maken een horizontaal oplossend vermogen mogelijk van enkele tientallen kilometers. Hoewel het Centrum in wetenschappelijk opzicht een groot succes mag worden genoemd en men er over het beste rekenmodel ter wereld beschikt, brak aan het eind van de jaren tachtig toch het besef door van

het belang van Lorenz werk aan de atmosferische voorspelbaarheid. Op het Centrum heeft dit geresulteerd in de operationalisering van zogenaamde Monte Carlo verwachtingen. Voor steeds dezelfde periode worden met het rekenmodel ongeveer vijftig verwachtingen gemaakt, waarbij telkens in de beginconditie een hele kleine verandering wordt aangebracht. Deze verandering representeert de eindige nauwkeurigheid waarmee kan worden gemeten, dus waarmee de atmosferische circulatie op een bepaald moment kan worden vastgelegd. De mate waarin deze verwachtingen zich van elkaar verwijderen is een goede maat voor de nauwkeurigheid waarmee veranderingen in de atmosferische circulatie kunnen worden voorspeld (zie figuur 2).

Als alle verwachtingen dezelfde veranderingen geven, hebben we een redelijke mate van zekerheid dat deze veranderingen zich ook zullen voordoen. Na enige tijd zullen de verschillende verwachtingen zich van elkaar verwijderen. Dan kunnen alleen kansuitspraken worden gedaan, die naarmate de verwachtingstermijn langer wordt, steeds minder informatie bevatten, tot het klimatologische kansniveau wordt bereikt (dit zijn de kansen die kunnen worden afgeleid uit wat in het verleden is gebeurd en zijn in het algemeen gebaseerd op informatie over een periode van dertig jaar). Hierna is het zinloos om de verwachting verder voort te zetten. De toenmalige onderzoeksdirecteur van het KNMI, Prof. Tennekes, heeft een belangrijke rol gespeeld om het voorspelbaarheidsonderzoek in het onderzoeksprogramma van het Centrum opgenomen te krijgen. Ook heeft hij op het KNMI een aparte afdeling opgericht die zich exclusief met voorspelbaarheid van weer en klimaat moest gaan bezig houden. Deze afdeling werkt momenteel nauw samen met het ECMWF in het voorspelbaarheidsonderzoek. Dit onderzoek zal hopelijk in de naaste toekomst leiden tot het uitgeven door het KNMI van kansverwachtingen voor de diverse weerselementen, zoals temperatuur, neerslag, zonneschijn etc.

Voorspelbaarheid van het klimaat

In de zeventiger jaren begonnen meteorologen en atmosferisch chemici zich ongerust te maken over de mogelijke invloed die de gemeten toename van atmosferische broeikasgassen zou kunnen hebben op het klimaatsysteem. Met eenvoudige zogenaamde stralings-convectieve modellen werd berekend dat een verdubbeling van het CO₂-gehalte gemakkelijk tot een mondiaal gemiddelde temperatuurstijging van twee tot vier graden zou kunnen leiden, die op hoge geografische breedte nog veel hoger zou kunnen zijn. De mogelijkheid dat menselijke activiteit een klimaatverandering tot gevolg kan hebben, die zich op een relatief korte termijn van enkele tientallen jaren kan manifesteren, heeft het onderzoek aan de vele aspecten van het klimaatsysteem sterk gestimuleerd. Ook de zeer sterke El-Niño die zich in de jaren 1982/83 voordeed en wereldwijd voor tijdelijke maar

dramatische klimaatschommelingen verantwoordelijk was, heeft aan die toegenomen belangstelling sterk bijgedragen.

Klimaatvoorspellingen komen tot stand met behulp van klimaatmodellen. Dit zijn computermodellen die sterk lijken op de modellen die ook worden gebruikt voor de weersverwachting. Een klimaatvoorspelling bestrijkt in het algemeen een periode van 10 tot 100 jaar. Hoe is het mogelijk met deze modellen een klimaatverwachting te maken voor een periode van minimaal tien jaar, als weersverwachtingen voor een periode van twee weken niet eens mogelijk zijn. Het antwoord is betrekkelijk simpel. Een klimaatvoorspelling is een voorspelling voor de waarschijnlijkheidsverdeling van klimaatvariabelen. Uit deze verdeling kunnen de gemiddelden en de varianties van de klimaatvariabelen worden bepaald. We willen dus een uitspraak kunnen doen over bijvoorbeeld de gemiddelde wintertemperatuur in ons klimaat, of over de frequentie van stormdepressies etc. Als de klimaatmodellen nauwkeurig genoeg zijn, kan die waarschijnlijkheidsverdeling, middels een zeer lange klimaatsimulatie met het model worden gereproduceerd. Dat betekent niet dat we alle hoge- en lage-drukgebieden, zoals die zich in de loop van de tijd in werkelijkheid voordoen op de juiste tijd en plaats zullen voorspellen, maar wel dat het klimaatmodel dezelfde statistische eigenschappen produceert als in werkelijkheid – dat wil zeggen: gemiddeld hetzelfde aantal hoge- en lage-drukgebieden met dezelfde intensiteit, die gemiddeld dezelfde baan over de aarde volgen. Als we de atmosfeer opvatten als een dynamisch systeem met zogenaamde chaotische eigenschappen, kunnen we zeggen dat de aantrekker gereproduceerd kan worden, maar niet een concrete baan op die aantrekker.

In principe hoeft de voorspelbaarheid van het klimaatsysteem dus niet beperkt te zijn, zoals dat het geval is bij de voorspelbaarheid van het weer. Echter, bij klimaatvoorspellingen lopen we wellicht tegen andere beperkingen aan. Klimaatmodellen zijn vereenvoudigde voorstellingen van het echte klimaatsysteem. Ze berusten weliswaar op de bekende natuurkundige wetmatigheden, maar er moeten toch allerlei vereenvoudigingen en onzekere aannamen worden gemaakt. De vraag is hoe gevoelig de resultaten van klimaatmodellen afhangen van (hopelijk steeds kleinere) modelfouten. De ontwikkeling van een perfect klimaatmodel zonder enige beperking ligt buiten de menselijke maat en daarmee wordt deze vraag dus relevant. De relevantie ervan wordt nog duidelijker als we ons realiseren dat het klimaatsysteem een open systeem is. Er kan niets worden buitengesloten. Noodzakelijkerwijs zijn de klimaatmodellen gesloten systemen. Momenteel bestaan ze uit een atmosfeer en een oceancomponent. Alle andere componenten van het klimaatsysteem worden nog verwaarloosd of op tamelijk arbitraire wijze voorgeschreven. Zo worden experimenten met klimaatmodellen gedaan, waarin aannamen omtrent de toename

van CO₂ worden doorgerekend. Deze aannamen zijn echter willekeurig en doorgaans gebaseerd op extrapolatie van gemeten groei in het verleden. Ze houden dus niet echt rekening met het feit dat ook de CO₂-hoeveelheid in de atmosfeer een klimaatvariabele is en op onverwachte wijze kan afhangen van re-

acties in bijvoorbeeld de biosfeer. Ook de voor het klimaatprobleem relevante dynamica van de wereldeconomie en de sociologie blijft in wezen buiten beschouwing. Dat is ook begrijpelijk, want als de historie een ding heeft duidelijk gemaakt, is dat de onvoorspelbaarheid van het menselijk gedrag.

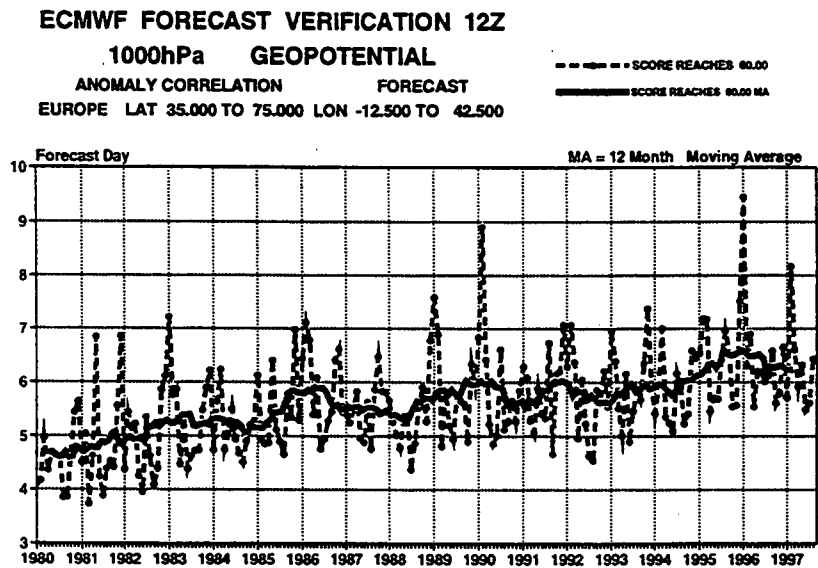


Fig.1 Prestaties van het ECMWF model vanaf 1980. De prestatie wordt gemeten in termen van een bruikbare termijn. De gestippelde lijn geeft de bruikbare termijn van de verwachtingen gemiddeld over een periode van een maand. De getrokken lijn is het lopende gemiddelde over een periode van 12 maanden. Wat opvalt is dat de prestaties van het model in de loop van de tijd langzaam zijn toegenomen, van een bruikbare termijn van ongeveer 4,5 dagen in 1980 tot 6,5 dagen in 1997. Een tweede opvallend aspect is dat de prestaties per maand enorm kunnen verschillen. Zo was de bruikbare termijn in januari 1996 gemiddeld 9,5 dagen, en in april van hetzelfde jaar maar 5,5 dagen. Met de ensemble verwachtingsmethode kan de voorspelbare periode in principe worden bepaald

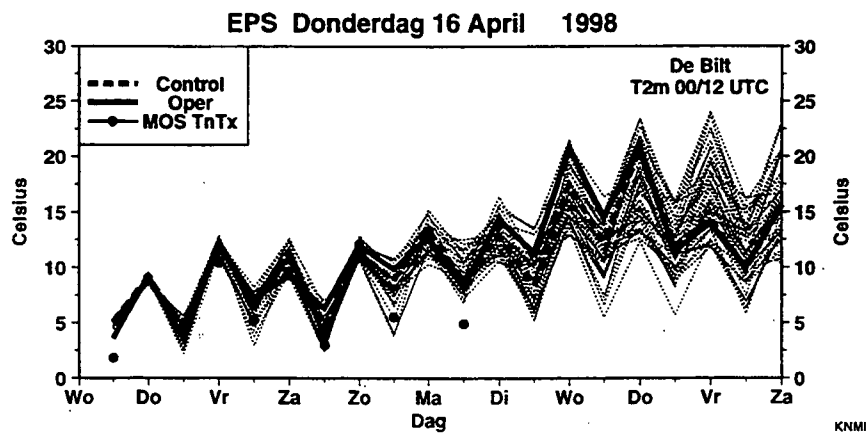


Fig. 2 Ensemble verwachting voor de temperatuur in de Bilt, voor een periode van 10 dagen vooruit. Voor dezelfde periode is vijftig maal een verwachting gemaakt, waarbij steeds in de begincondities van het rekenmodel een hele kleine verandering is aangebracht. Deze veranderingen representeren de meeton nauwkeurigheid. De mate waarin de verwachtingen zich van elkaar verwijderen is een maat voor de voorspelbaarheid van de atmosfeer op een bepaald moment. In plaats van een temperatuursverwachting ontstaat zo een verwachting voor de kansverdeling van de temperatuur. Wanneer de breedte van deze verdeling even groot is als de klimatologische kansverdeling bevat de verwachting niet langer nuttige informatie.

De zaagtand in de curves geeft de dagelijkse gang in de temperatuur weer. De dikke getrokken lijn is de temperatuursverwachting die is gemaakt met hetzelfde model, maar met een hoger oplossend vermogen. De punten in de grafiek zijn het resultaat van een statische bewerking van de modelresultaten. Zij zijn voor de discussie hier niet van belang

Tot nu toe is nog niet veel onderzoek gedaan naar de voorspelbaarheid van klimaatveranderingen. Wel zijn vele klimaatsimulaties gedaan, waarbij een of meerdere CO₂-scenario's zijn doorgerekend. In het recent verschenen tweede assessment rapport van het IPCC (International Panel on Climate Change), een onder de auspiciën van de VN opererend wetenschappelijke panel dat mede is opgericht om politieke besluitvorming te onderbouwen, wordt een overzicht gegeven van simulaties die met een tiental verschillende modellen zijn gedaan. De wijze waarop de resultaten van gelijksoortige experimenten met verschillende modellen overeenkomen of divergeren, geeft enig houvast bij de inschatting van de voorspelbare en onvoorspelbare componenten van het klimaatstelsel. De wijze waarop in alle modellen de mondiaal gemiddelde temperatuur stijgt bij een vast gekozen scenario van CO₂-toename in de tijd is voor alle modellen ongeveer hetzelfde en komt nog steeds heel goed overeen met de resultaten van de allereerste experimenten die met stralings-convectieve modellen zijn gedaan ongeveer 25 jaar geleden. Het lijkt er op dat de mondiaal gemiddelde temperatuur voornamelijk wordt bepaald door de mondiaal gemiddelde stralingsbalans en dat de chaotische dynamica van de atmosfeer daar niet heel veel invloed op heeft. Over de regionale effecten van CO₂-toename zijn de modellen het volledig oneens. Dit geldt voor temperatuurverandering, maar meer nog voor de wellicht veel relevantere verandering in de neerslagverdeling op aarde. Het blijkt dat regionale klimaten vooral worden bepaald door de atmosferische circulatie, dus door de wijze waarop de koude en warme luchtstromingen zich over de aarde bewegen. Deze luchtstromingen vinden plaats in voorkeurspatronen, zogenaamde weerregimes. Recent onderzoek heeft aannemelijk gemaakt dat regionale klimaatveranderingen zich waarschijnlijk vooral zullen manifesteren als veranderingen in de frequentieverdeling van deze weerregimes. Deze veranderingen kunnen zeer subtiel afhangen van de veranderingen in het klimaatstelsel, zoals de toename van broeikasgassen. De simulatie van een correcte frequentieverdeling van weerregimes hangt echter ook gevoelig af van kleine modelfouten. Klimaatmodellen lijken sterk op elkaar, maar zijn toch in de details van elkaar verschillend. Het is dan ook niet zo verbazend dat de door die modellen gesimuleerde regionale klimaatveranderingen zo sterk van elkaar afwijken. Dit zou een eerste indicatie kunnen zijn van een zeer geringe regionale voorspelbaarheid van het klimaatstelsel. Niettemin zijn de regionale veranderingen toch het meest interessant, omdat ze waarschijnlijk een orde van grootte sterker zijn dan de mondiale veranderingen. Een andere complicerende factor bij de bepaling van klimaatveranderingen is de natuurlijke variabiliteit van het klimaatstelsel of de klimaatruis. Het klimaat varieert ook zonder dat de mens in het systeem veranderingen veroorzaakt. De meest bekende en waarschijnlijk enigszins voorspelbare klimaat-fluctuatie is

het hierboven al genoemde El-Niño verschijnsel. El-Niño treedt onregelmatig, maar gemiddeld ongeveer een keer in de vier jaar op. Het verschijnsel dankt zijn bestaan aan een instabiele atmosfeer/oceaan wisselwerking in het tropische deel van de Stille Oceaan. In de oceaan beperkt het zich tot de tropen, maar in de atmosfeer zijn de gevolgen van El-Niño over de hele wereld meetbaar en de ermee gepaard gaande weersverschijnselen in de tropen en Noord-Amerika zijn doorgaans voor perioden van meer dan een jaar tamelijk extreem. El Niño heeft zich ook in 1997 voorgedaan en dit was wellicht de sterkste ooit gemeten. Iedereen kent de gevolgen die dit voor het weer in grote delen van de wereld heeft gehad. Voor perioden van een half jaar vooruit is de ontwikkeling van de meest recente El-Niño nauwkeurig voorspeld door het ECMWF, met behulp van een gekoppeld atmosfeer/oceaan klimaatmodel. Dit geeft aanleiding tot enig optimisme, hoewel El-Niño's die zich in het recente verleden hebben voorgedaan, zich minder gemakkelijk lieten voorspellen.

Natuurlijke variabiliteit van het klimaat vinden we niet alleen op tijdschalen van enkele jaren, maar op alle tijdschalen, van één jaar tot miljoenen jaren. Om klimaatveranderingen die het gevolg zijn van de CO₂-toename te kunnen onderscheiden van de natuurlijke klimaatruis is het van belang dat we inzicht krijgen in de natuurlijke variaties die zich op tijdschalen van tien tot honderd jaar kunnen voordoen. Immers, verwacht wordt dat het effect van de toename van broeikasgassen op het klimaatstelsel zich op deze tijdschaal duidelijk zal manifesteren. De urgentie hiervan wordt door de WMO (Wereld Meteorologische Organisatie) erkend. Het onderzoeksprogramma CLIVAR werd opgestart met als doel de bepaling van de natuurlijke klimaatvariabiliteit op tijdschalen tot honderd jaar. NWO heeft recent besloten om de Nederlandse deelname aan CLIVAR financieel te steunen. Recent onderzoek, onder andere op het KNMI, heeft aangetoond dat een significant deel van de natuurlijke variabiliteit van het klimaat van West-Europa is geassocieerd met persistente variaties in het zogenaamde NAO (Noord Atlantische Oscillatie) weerregime. Deze persistente anomalieën in het NAO circulatiepatroon veroorzaken anomalieën in de temperatuur van de noordelijke Atlantische Oceaan. De anomalieën in de oceaantemperatuur kunnen zich meer dan tien jaar handhaven en hebben de neiging om het anomale NAO patroon dat ze heeft veroorzaakt enigszins te versterken. Als de anomalieën in de oceaantemperatuur eenmaal zijn aangeslagen door de atmosferische circulatie zou dit voor de komende tien jaar enige voorspellende waarde kunnen hebben voor het gemiddelde weer in West-Europa. Kwantificering hiervan voor het element neerslag toont dit ook aan, maar het voorspelbare deel van de neerslagvariaties is klein ten opzichte van de variaties die voortkomen uit de chaotische eigenschappen van de atmosferische circulatie.

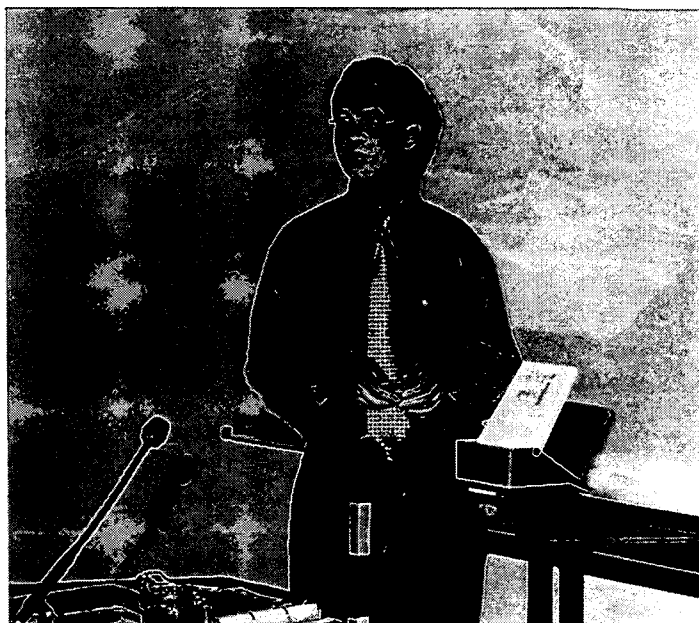
In de klimatologie is men begonnen voorspellingen van klimaatveranderingen te doen, nog voor er enig inzicht was in de voorspelbaarheidseigenschappen van het klimaatsysteem. In dit opzicht is er een sterke parallel met de geschiedenis van de numerieke weersverwachtingen. Meer en meer wordt men zich echter

bewust van het belang van experimenteel en modelmatig onderzoek dat is gericht op het vergroten van inzicht in de voorspelbaarheidseigenschappen. De komende tien jaar zal het voorspelbaarheidsonderzoek interessante resultaten te zien geven.

En toch beweegt zij ... Over gasreservoirs en bodembewegingen

H.W. Frikken

Nederlandse Aardolie Maatschappij BV



Inleiding

E pur se muove (en toch beweegt zij). Het verhaal gaat dat Galilei dit gemompeld zou hebben nadat hij in 1633 gedwongen werd om te verklaren dat de aarde onbeweeglijk zou zijn. De historiciteit hiervan is twijfelachtig. Wat niet twijfelachtig is, is dat de aardbodem in noordoost Nederland net als op de gehele aarde al sinds honderden miljoenen jaren in beweging is en nog steeds voortdurend beweegt. Die bewegingen komen voort uit het drijven en botsen van continenten en deze resulteren in herhaalde vorming van gebergten en sedimentatiebekkens, die opgevuld worden met de erosieproducten van de gebergten. Veranderende klimatologische omstandigheden en bovenal niet zachtzinnige tektonische activiteit heeft geresulteerd in enorme aardgasreserves in gesteenten in de diepe ondergrond en economische welvaart in Nederland en West Europa.

Naar alle waarschijnlijkheid zijn de grotere gas- en olievoorkomens in de meeste sedimentaire bekkens ter wereld reeds ontdekt en in ontwikkeling. Dit is ook het geval voor het grote NW Europese Bekken. Nieuwe, hoewel kleinere voorkomens van gas en olie worden heden ten dage voornamelijk nog aangetroffen in de nabijheid van bestaande velden. Het beleid van de Nederlandse Staat en de Nederlandse Aardolie Maatschappij BV is erop gericht om deze relatief kleine gasreservoirs snel en adequaat te ontwikkelen en te produceren om de reserves van het reusachtige Groningen gasveld zo veel mogelijk te sparen.

Na de vondst van het gigantische Groningen veld (1959), zijn tot nu toe ca. 160 kleinere velden ontdekt op het land en op het continentale plat, eveneens voornamelijk in Slochteren Zandsteen afzettingen uit het Rotliegend Tijdperk (figuur 1). Daarnaast zijn er ca. 25 reeds langere tijd producerende velden in zuidoost Drenthe en Twente, bestaande uit kalksteenafzettingen van Zechstein ouderdom en rivierafzettingen uit het Karboon. De ontwikkeling van de klei-

nere reservoirs draagt een aanzienlijk economisch risico als gevolg van de aanwezigheid van relatief kleine gasvolumes, toenemende ontwikkelingskosten, een relatief lage gasprijs, nog niet aangelegde pijpleidingen maar bovenal tegenvallend productiegedrag van deze gasvelden.

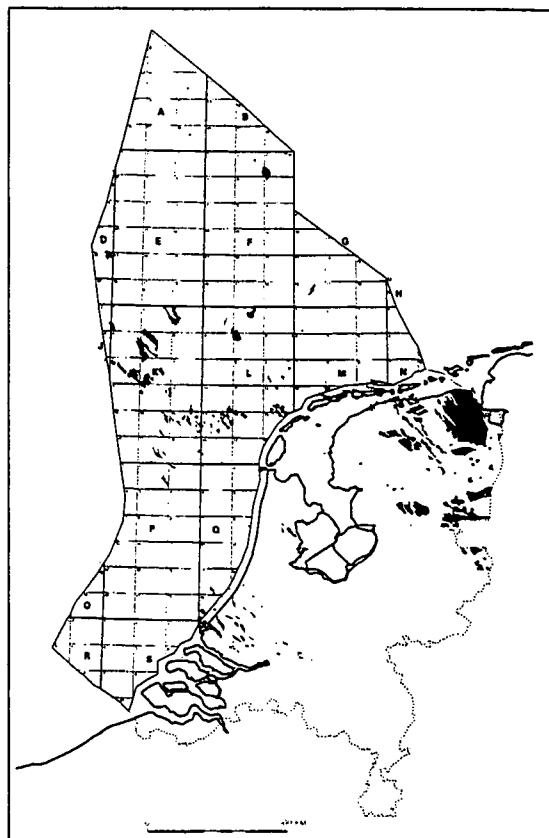


Fig. 1 Overzicht van de door NAM geëxploiteerde gasvelden. De kleinere velden vertonen een algemene NW-ZO trend, in overeenstemming met de dominante breukzones

Het gebied dat wij tegenwoordig Nederland noemen heeft tijdens zijn omzwervingen over de aarde tijdens honderden miljoenen jaren omstandigheden gekend variërend van de diepste zeeën tot woestijngebieden zoals het hedendaagse Saoedi-Arabië, kalksteenriffen zoals de Bahamas tot uitgestrekte regenwouden en kustmoerassen zoals het Amazonegebied met kilometers brede riviersystemen die zand hebben afgezet. Dit alles heeft geleid tot een opeenstapeling van diep begraven gesteenten. Door de miljoenen jaren heen is het Nederlandse gebied, ondanks veelvuldige opheffing, voornamelijk onderhevig geweest aan natuurlijke bodemdaling. Dit in tegenstelling tot ons omringende gebieden als noordwest Duitsland, de Belgische Ardennen en Ierland waar we heden ten dage door gebergtewerking omhooggestuwde gesteenten aan het oppervlak aantreffen, die zich bij ons op enkele kilometers diepte bevinden. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de ontstaansgeschiedenis van verschillende types gasreservoirs, hun vervorming door enorme krachten die zich uitstrekt over vele miljoenen jaren, en de achtergronden van het veelal slechte productiegedrag van een aantal velden.

Enkele uitzonderingen daargelaten, is de ondergrond van Nederland in de olie-industrie voornamelijk beschreven als een gebied dat hoofdzakelijk onderhevig is geweest aan extensie tektoniek. De auteur heeft een uitgebreide analyse gemaakt van de karakteristieken van verwringing tektoniek. Dat wil zeggen: horizontale verschuivingen langs breuken, als gevolg van aanzienlijke horizontale spanningsverschillen, ontstaan door het herhaaldelijk botsen van platen. De breuken zijn voortdurend actief geweest, zelfs reeds gedurende de afzetting van de verschillende sedimenten zoals die van het Rotliegend, het Zechstein en het Karboon. Zelfs in de diepe ondergrond hebben breukverschuivingen plaatsgevonden, zodat de ondergrond van Nederland een waar

berglandschap herbergt bestaande uit blokken poreus gesteente waarin gas zit opgeslagen (figuur 2 en 3).

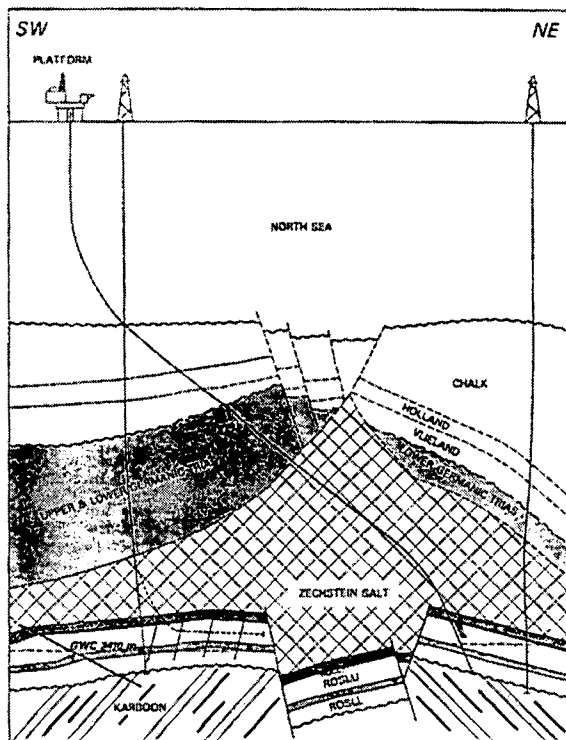


Fig. 2 Schetsmatige dwarsdoorsnede van de opgebroken en geplooiden Nederlandse ondergrond. De Zechstein, Rotliegend en scheefstaande Karboon reservoirs zijn afgesloten door een dik pakket Zechstein zout. Steenkoollagen (zwart) in het Karboon hebben grote hoeveelheden gas gegenereerd. Links-onder ter illustratie een horizontale boring in het Rotliegend om verschillende breukcompartimenten te verbinden

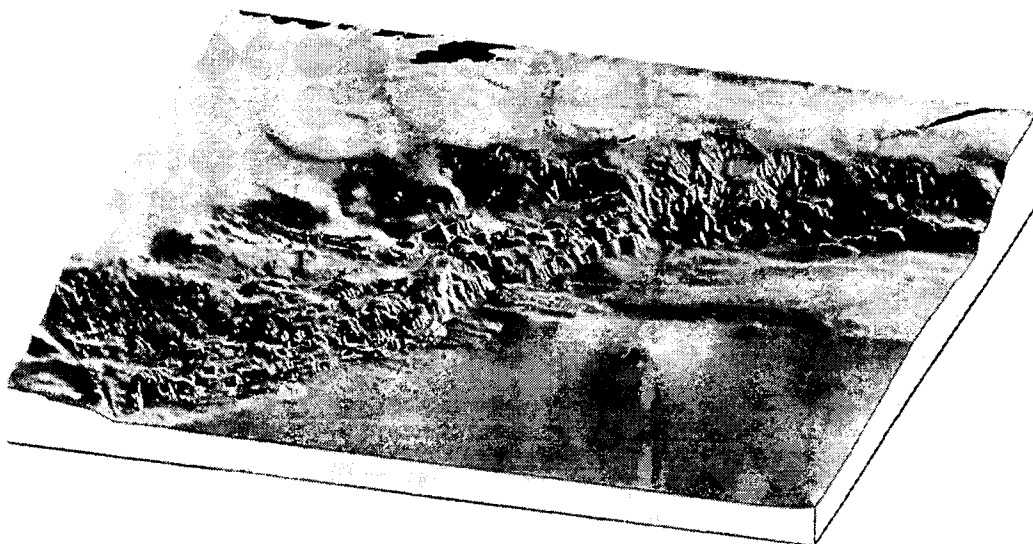


Fig. 3 Seismische impressie van het ROSLU breuksysteem in figuur 2 op ca. 2,5 km diepte. De bovenliggende lagen zijn transparant gemaakt

Rotliegend reservoirs

Tijdens het Rotliegend Tijdperk, ca. 270 miljoen jaar geleden, bevond het gebied dat we tegenwoordig Nederland noemen zich rond de evenaar. Er heerste een klimaat vergelijkbaar met dat in het huidige Saoedi-Arabië. Een aanzienlijke gebergteketen, het zogenaamde Varistische Massief, opgeworpen door botsing van platen, strekte zich in die tijd uit van Schotland, via Londen, Brabant en midden Duitsland tot in Polen. De verweringsproducten van dit gebergte zoals grind en zand werden naar het noorden afgevoerd

door verwilderde woestijnrivieren, terwijl oost-west dominerende passaatwinden het afgezette zand verwerkten tot woestijnduinen (figuur 4). Deze pakketten met een dikte tot 300 m zijn in de miljoenen jaren daaropvolgend begraven tot hun huidige diepte van rond de 3000 m. Het zand verkitte tot zandsteen en in de poriën werd gas opgeslagen, ontstaan onder grote druk en temperatuur uit dieper gelegen steenkoollagen uit het Karboon Tijdperk (figuur 2). Het daarboven afgezette dikke pakket steenzout verhindert het ontsnappen van het aardgas naar het oppervlak.

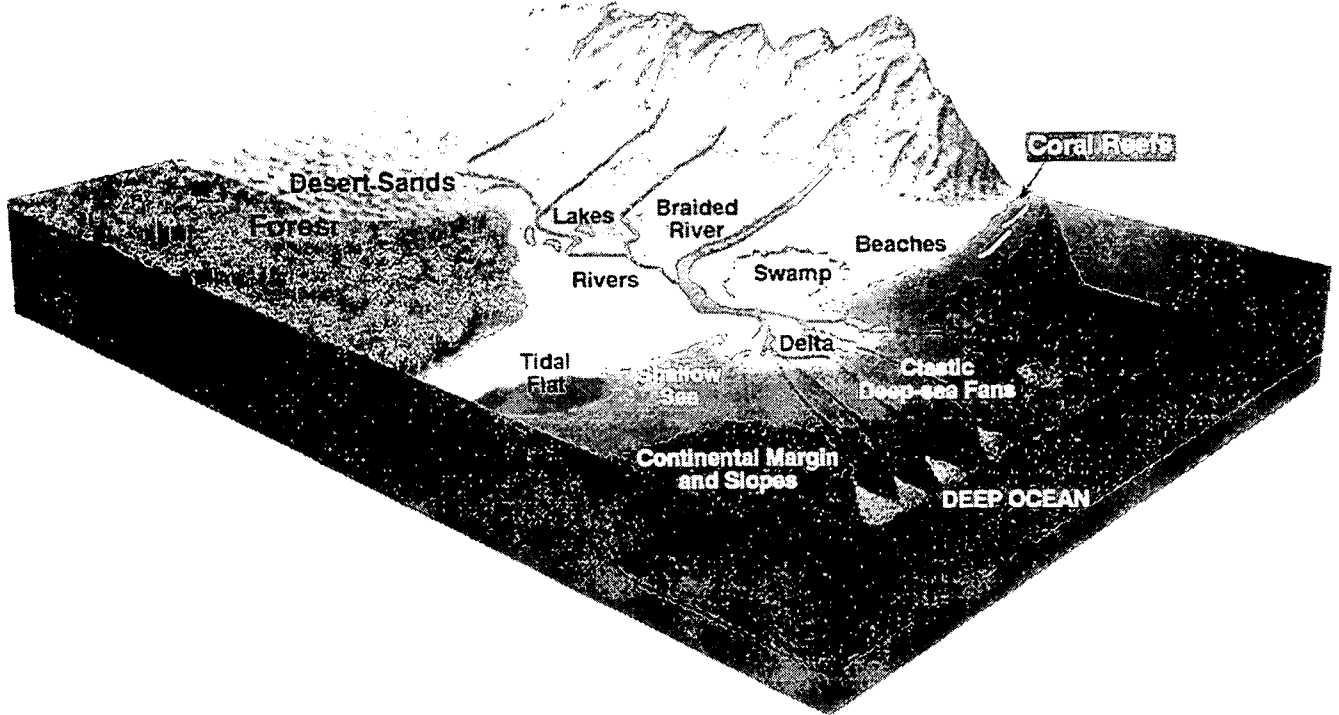


Fig. 4 Artistieke impressie en collage van de verschillende afzettingmilieus die Nederland hebben beheerst

Een aantal van de kleinere Rotliegend reservoirs vertoont teleurstellend productiegedrag. Een tweetal omstandigheden is hoofdzakelijk verantwoordelijk voor het afwijkende gedrag van deze kleinere velden.

- Het gebied van het reusachtige Groningen gasveld was tijdens de afzetting van het zand een relatief topografisch hooggelegen gebied en daardoor was het zand meer ontvankelijk voor transport door wind. Een aantal andere grote reservoirs zijn eveneens voornamelijk opgebouwd uit hoogdoorlaatbare, goed producerende duinzandafzettingen.
- De kleinere reservoirs bestaan voor een groot deel uit minder goed producerende rivierafzettingen, afgewisseld met voor gas ondoorlaatbare kleilagen, afgezet in woestijnmeren en slechts een klein percentage duinzanden. Dit soort sedimenten zijn afgezet in lager gelegen gebieden, langs breukzones die actief waren tijdens de afzetting (figuur 5).

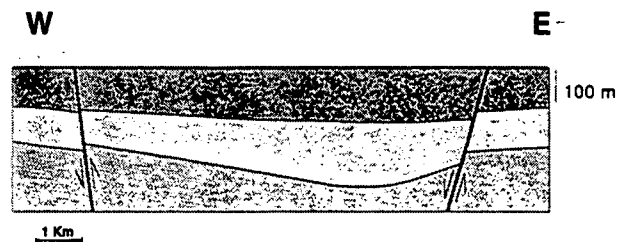


Fig. 5 Dwarsdoorsnede van de Slochteren Zandsteen in noordoost Nederland. Dikteverschillen duiden op werking van de breuken tijdens de afzetting

- In de kleinere gasvelden is de aanwezigheid van afsluitende, sub-seismische horizontale verschuiving breuken dominerend, waardoor compartimenten zijn ontstaan (figuur 2). Deze worden gezien als een van de hoofdoorzaken van het teleurstellende productie-

gedrag. De aanwezigheid van dit soort kleine afsluitende breuken werd in het begin van de jaren 90 herkend aan de hand van afwijkingen op seismische attribootkaarten. Deze nieuwe techniek om door mid-

del van sub-seismische breukjes geïsoleerde reservoircompartimenten te identificeren, is vervolgens succesvol toegepast om afwijkend productiegedrag van gasvelden te verklaren (figuur 6).

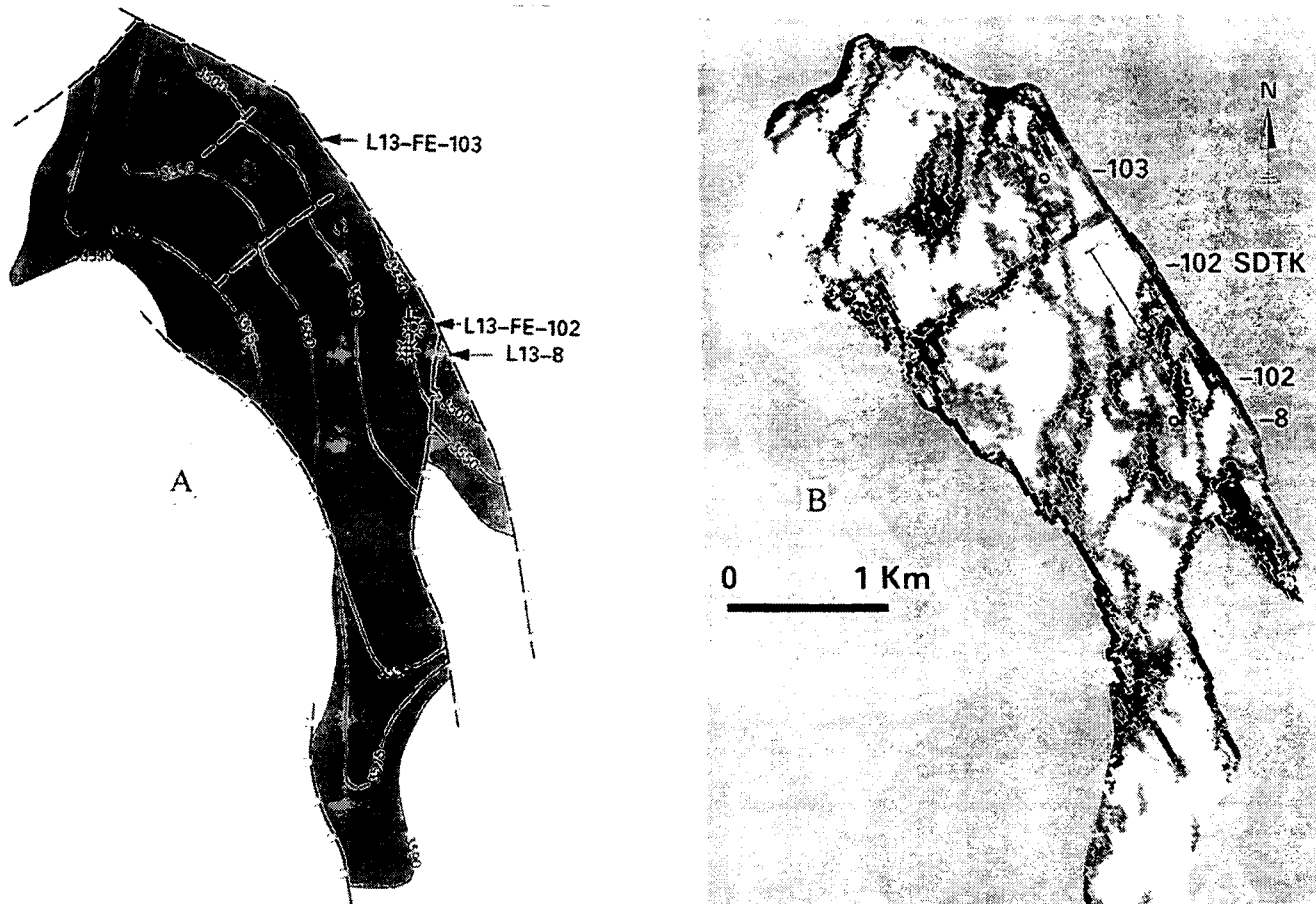


Fig. 6 A: Oorspronkelijke structurele dieptekaart van het offshore L13-FE Rotliegend reservoir, ogenschijnlijk slechts verstoord door enkele discontinue breukjes. B: Seismische attribootkaart van hetzelfde reservoir waarop volop lineaties voorkomen die sub-seismische, afsluitende breukjes representeren. Put L13-FE-102 was duidelijk geboord in een geïsoleerd blok en is later succesvol sub-horizontaal geboord om de productiviteit en connectiviteit te verhogen

Zechstein reservoirs

In het tijdperk volgend op het Rotliegend, ca. 10 miljoen jaar later, waren de omstandigheden drastisch gewijzigd. Hoogstwaarschijnlijk wederom door botsing van platen ontstonden door noord-zuid gerichte compressie uitgestrekte oost-west gerichte plooien of overschuivingen in het gebied dat we nu zuidoost Drenthe noemen. Als gevolg van de gereduceerde waterdiepte ontwikkelde zich een kalksteen platform, vergelijkbaar met het huidige Bahama Platform (figuur 4). Dit kalksteen platform strekte zich uit in oost-west richting van Schotland tot Polen. Ook deze gesteentes werden in de miljoenen jaren daaropvolgend diep begraven en met gas gevuld. Een aantal Zechstein reservoirs in zuidoost Drenthe zijn reeds in het begin van de jaren 50 rond Coevorden ontdekt en het geproduceerde gas werd aanvankelijk gebruikt voor lokale huishoudens.

De economische ontwikkeling van deze in het algemeen weinig poreuze en bijzonder slecht producerende kalksteen reservoirs is lange tijd volledig afhankelijk geweest van het bij toeval aanboren van openstaande scheuren of breukjes (fractures) die goede productiviteit leveren. Om de aanwezigheid, oriëntatie en onderlinge afstand van deze met gas gevulde open fractures te kunnen voorspellen is de regionale structurele vervormingsgeschiedenis van noordoost Nederland in detail bestudeerd. De open fractures zijn het gevolg van horizontale spanningen in de ondergrond voortvloeiend uit botsingen van platen, zoals de botsing van Afrika met Europa. Als gevolg van dit soort botsingen zijn ten minste ca. 300 miljoen jaar geleden twee grootschalige NW-ZO gerichte, nagenoeg evenwijdige breuksystemen ontstaan in de ondergrond van noordoost Nederland, met name het Holsloot - West Groningen breuksysteem en het Coevorden - Hantum breuksysteem (figuur 7).

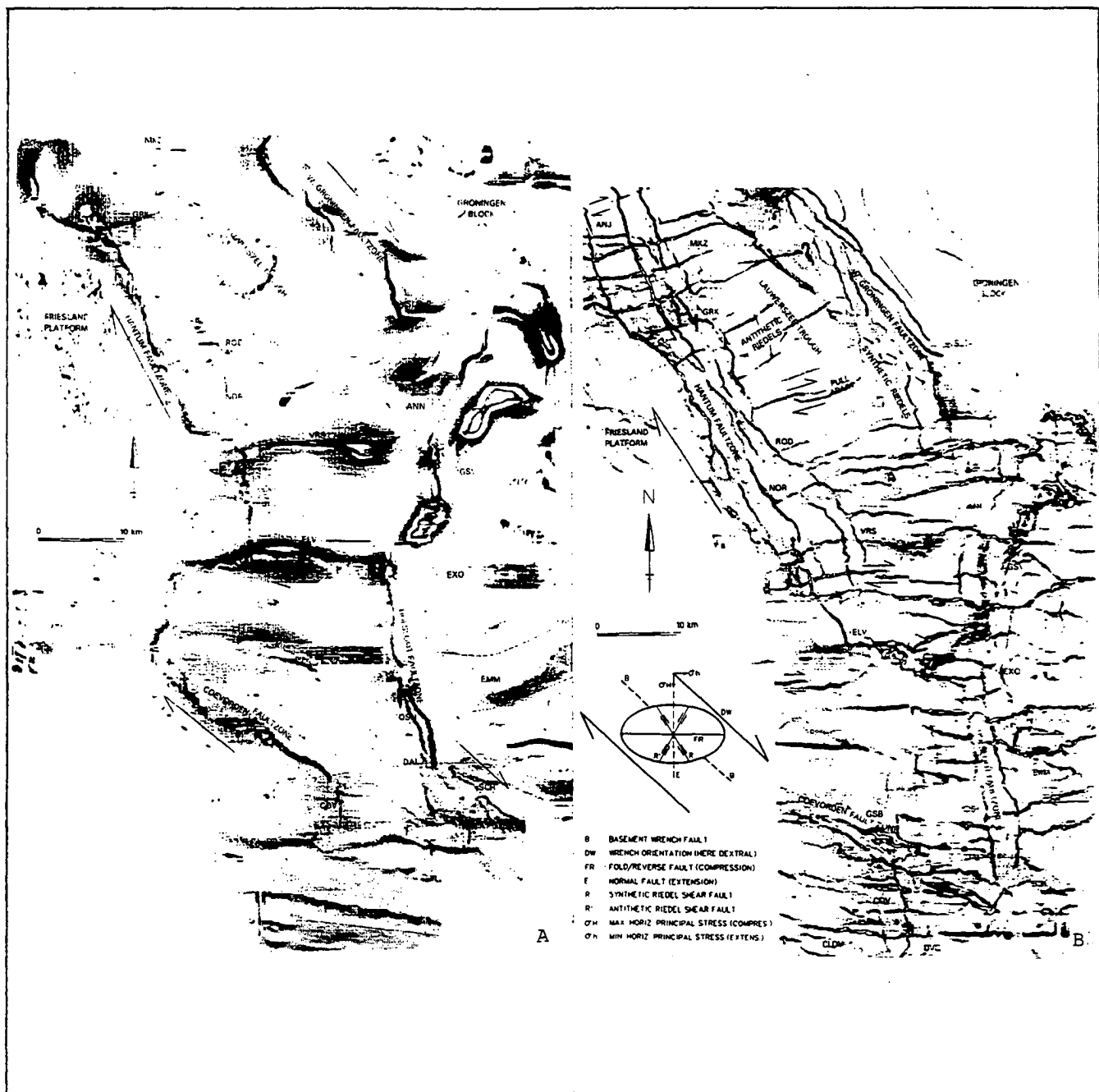


Fig. 7 A: Seismische attribootkaart (basis Tertiair) van noordoost Nederland ter illustratie van twee prominente NW-ZO gerichte, nagenoeg parallel verlopende verwrings breuken. Dit soort breuken hebben op grotere diepte de afzettingen reeds tijdens het Rotliegend en het Karboon beïnvloed. De oost-west gerichte lineaties in het meest zuidelijke deel van de kaart stellen plooien en overschuiving breuken voor waarop het Zechstein kalksteen platform zich heeft ontwikkeld. B: Seismische attribootkaart (top Rotliegend, ca. 3 km dieper dan figuur A) met een veelvoud aan breuken (vergeleken met figuur A) als gevolg van meerdere structurele vervormingen

De oriëntatie van ongeveer 6000 fractures is gemeten aan boorkernen. Hiervan bestaat ongeveer 20% uit open fractures (figuur 8) met een hoofdzakelijk noord-zuid oriëntatie. Deze oriëntatie is in overeenstemming met, en nagenoeg evenwijdig aan de he-

dendaagse, aanzienlijke maximale horizontale spanning in de ondergrond van noordwest Europa, zoals onder meer ook valt af te leiden aan de opmerkelijk consistente oost-west georiënteerde elliptische vorm van de boorgaten.

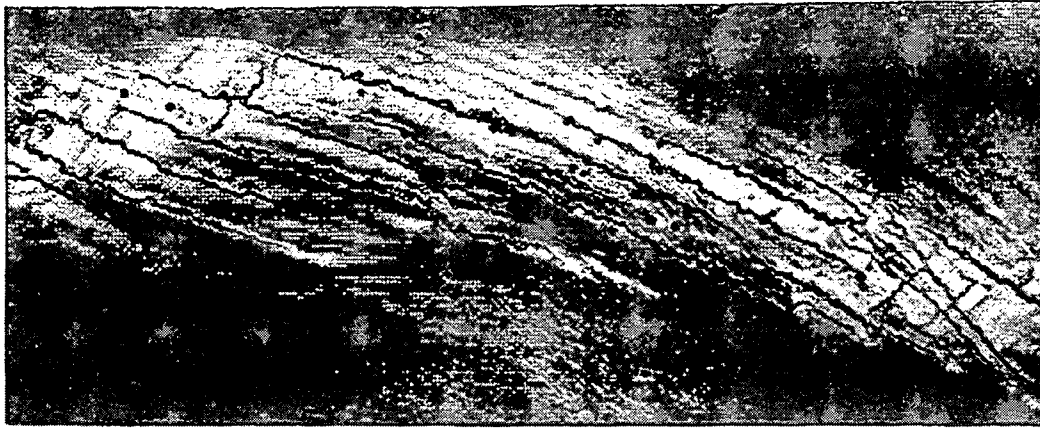


Fig. 8 Seismische attribootkaart waarop (indien de seismiek van voldoende goede kwaliteit is) een systeem van open fractures en breukjes valt waar te nemen (zwarte lineaties), onderlinge afstand ca. 250 m

Een geheel nieuw model is ontwikkeld door de auteur voor de voorspelling van onderlinge afstanden van open fracture systemen in de Zechstein reservoirs. Dit model is gebaseerd op de kenmerken van vervorming tektoniek in de ondergrond en wordt ondersteund door een aantal wereldwijde analoge fracture- en breukconfiguraties aangetroffen in ontsluitingen. Een verhouding van 20:1 blijkt te bestaan tussen de afstanden van de grote randbreuken en de daar haaks opstaande secundaire open fractures en breuken (figuur 9). Dit empirische gesteente-mechanische mo-

del wordt inmiddels in de media de 'Wet van Frikken' genoemd. Het model wordt ondersteund door de resultaten van tien recentelijk geboorde, oost-west georiënteerde horizontale boorputten, haaks op de noord-zuid richting van de open fractures. De boorputten hebben zelfs openstaande, met gas gevulde breukjes aangetroffen met een opening tot 35 cm, gekenmerkt door aanzienlijke boorspoelingsverliezen, en vertonen verbeteringen in productiviteit tot een factor 300.

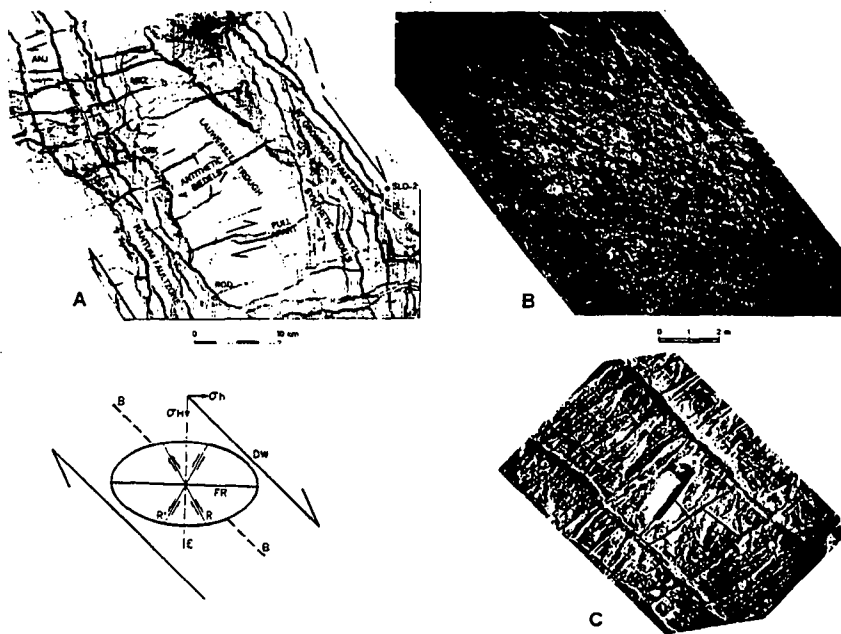


Fig. 9 Voorbeelden van groot- tot kleinschalige parallelle vervorming breuken met vrijwel loodrecht daarop staande secundaire open breuksystemen met een afstandsverhouding van ca. 20:1. A: De Lauwerszee Trog op Rotliegend diepte in noordoost Nederland (figuur 7A). B: Ontsluiting van de Ross Sandstone, Karboon, Ierland. C: Ontsluiting van de Paradox Kalksteen, Karboon, Utah

Karboon reservoirs

Ver voor het Zechstein en Rotliegend Tijdperk heersten er in het Nederlandse gebied omstandigheden die te vergelijken zijn met die in het huidige Amazonegebied. Ruim 300 miljoen jaar geleden werd het Ne-

derlandse gebied gedomineerd door tropische moerassen (figuur 4) waarin zich dikke lagen plantenmateriaal vormden, die uiteindelijk op grote diepte, onder hoge druk en temperatuur steenkoollagen vormden en de bron werden voor de zeer grote hoeveelheden

den aardgas. Het gebied werd doorsneden door grote riviersystemen die enorme hoeveelheden zand hebben afgezet, aangevoerd uit een gebergteketen die gesitueerd was in het gebied van de huidige Baltische staten. Uit metingen aan boorkernen is gebleken dat de riviersystemen in Drenthe in die tijd een voornamelijk noordwestelijk stromingspatroon hebben gevolgd, nagenoeg evenwijdig aan de hoofdbreuken die zichtbaar zijn op seismische kaarten (figuur 7). Momenteel hebben rivieren zoals de Rijn en de Ruhr een dergelijke stroomrichting welke wordt teweeggebracht door de aanwezigheid van grote breuksystemen die in zuidoost Nederland tot aan het aardoppervlak reiken.

Deze met gas gevulde rivierafzettingen vormen de diepste tot nu toe bekende reservoirs in Nederland, producerend vanaf het midden van de jaren 50 in Twente, maar ze vormen ook een van de meest gecompliceerde types reservoirs. Er bestaan grote verschillen in productiviteit van de velden. Er zijn reservoirs waar 90% van het gas winbaar is in tegenstelling tot velden waar tot nu toe slechts 10% van het

gas kan worden gewonnen. De betere reservoirs bestaan uit hoog productieve, tot 35 m dikke, opeengestapelde zandpakketten, in het algemeen zijwaarts zeer uitgebreid, en afgezet door brede verwilderde rivieren (figuur 10). Deze worden afgewisseld door minder productieve, zijwaarts aanzienlijk minder uitgebreide en slechts 2-10 m dikke zandlichamen, afgezet door meanderende rivieren (figuur 11). Dit laatste type discontinue zanden, omsloten door kleipakketten, vormt een zogenaamd labyrint-type reservoir. Kleine, afsluitende breukjes komen zelfs voor in de kwalitatief betere, dikkere en bredere zandlichamen (zoals in figuur 10), hetgeen leidt tot problemen met de toestroming van het gas. Dit soort breukjes heeft een spronghoogte tot slechts 15 m. Deze breukjes hebben veelal een beduidende horizontale verschuiving ondergaan en vormen derhalve effectieve barrières voor gasdoorstroming. De aanwezigheid van dit soort breukjes kan, net als bij Rotliegend reservoirs, worden herkend door middel van subtiele lineaties op seismische attribootkaarten (figuur 6B).

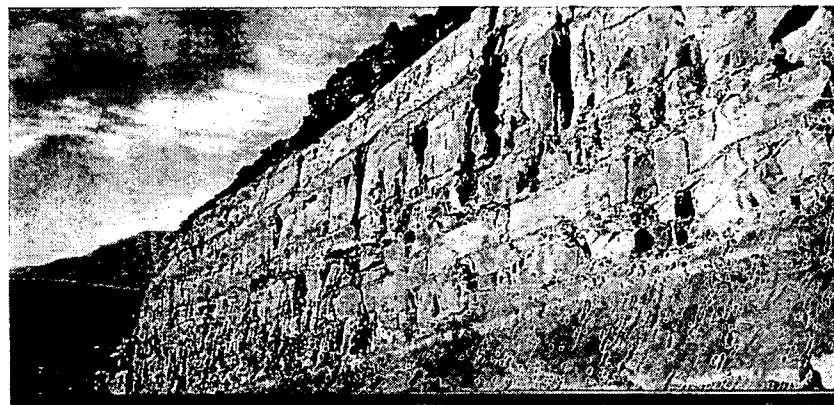


Fig. 10 Oppervlakte ontsluiting (noord Spanje) van zijwaarts tot meerdere kilometers brede en tot 35 m dikke opeengestapelde zandlichamen ontstaan in verwilderde rivieren die een goed reservoirgesteente vormen indien niet verstoord door breuken

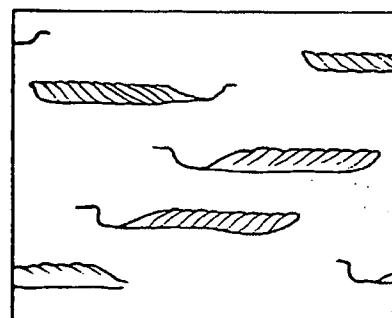
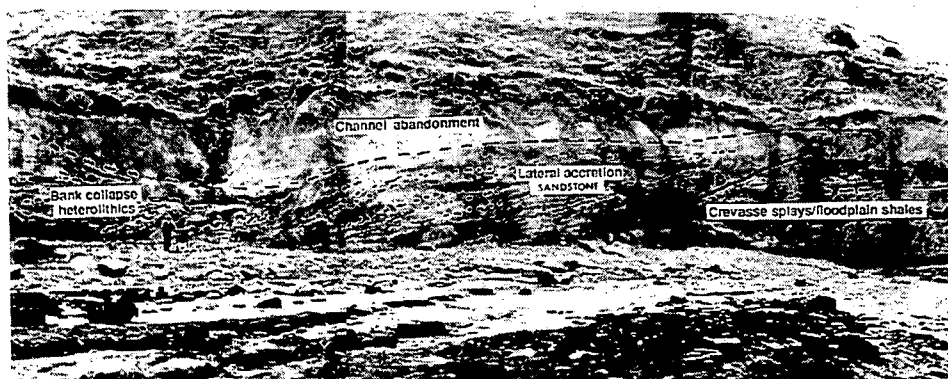


Fig. 11 Foto van een geïsoleerd zandlichaam (Yorkshire, Engeland) afgezet door een meanderend riviersysteem. Hoogte ca. 5 m, breedte ca. 40 m. Dit soort afzettingen vormen reservoirs met een doorgaans slechte connectiviteit. Inzet: Schematische voorstelling van de ruimtelijke verdeling van de zandlichamen, omsloten door kleipakketten

Drie-dimensionaal computer modellering

Geavanceerde drie-dimensionale computermodellen worden meer en meer toegepast (onder andere het Shell gepatenteerde modellering pakket GEOCAP) voor het analyseren van problematisch producerende velden. Vooral statistische gegevens over de dikte-breedte verhouding van de verschillende types gesteente, verkregen uit ontsluitingen van gesteenten (door plooiing van de aardkorst naar het oppervlak geperst), zijn van groot belang voor het verfijnen van de computermodellen. Zulke statistische data moeten met de grootste voorzichtigheid worden toegepast.

De keuze van een vergelijkbaar type gesteente in ontsluitingen als analogon voor het modelleren is belangrijk (figuur 10). De laterale verbreding van de gesteentelagen in reservoirs is namelijk veelal groter dan de omvang van de ontsluitingen, waardoor een volkomen verkeerd beeld kan worden geschetst van de interne opbouw van de reservoirs in de modellen. Het is daarom essentieel om vooraf een goed beeld te hebben van het type gesteente zoals wordt aangetroffen in de ondergrond (figuur 12). Figuur 13 toont een dergelijk reservoir in haar huidige vervormde staat in de ondergrond.

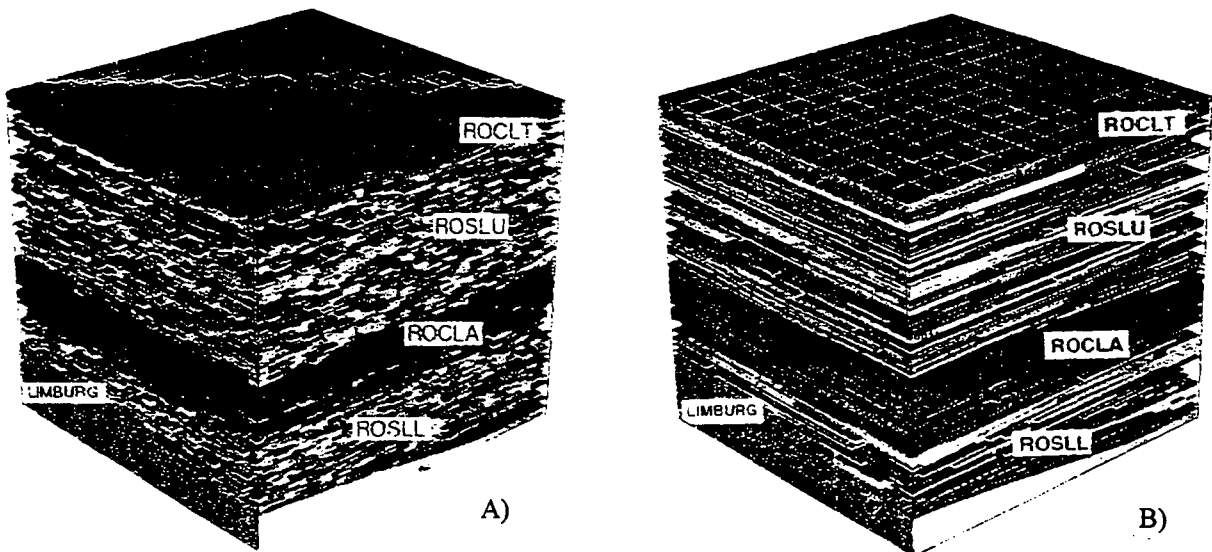


Fig. 12 A: Structureel onvervormd 3D computermodel van een reservoir opgebouwd uit geïsoleerde duinzanden (met een slechte connectiviteit). B: 3D computermodel van lateraal continue zanden met een doorgaans goede connectiviteit

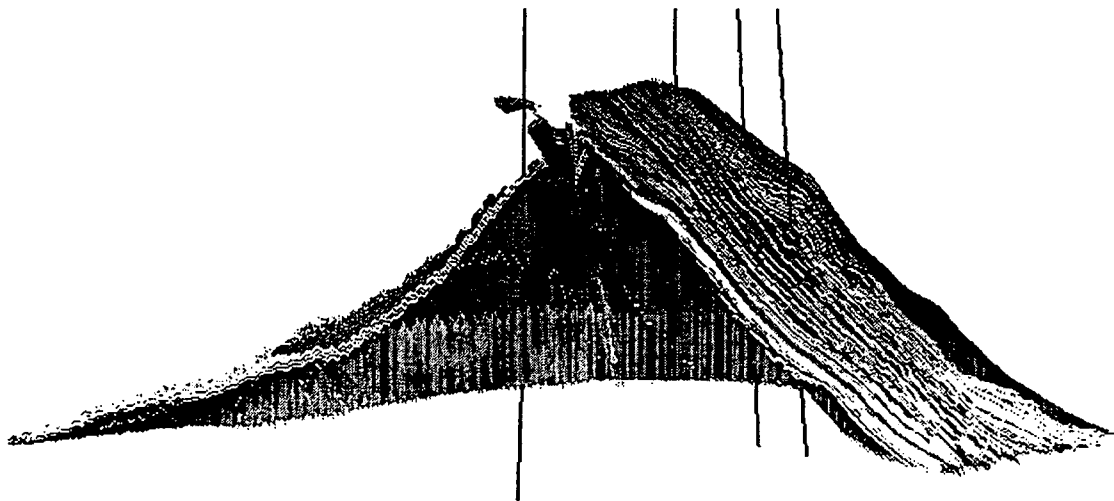


Fig. 13 3D computermodel van een geplooid gasreservoir in de ondergrond met daarin vier boorputten. Het omringende gesteente is transparant gemaakt

Het integreren van reservoir-geologische, seismische, petrofysische en productie gegevens in de constructie van de 3D modellen is een van de hedendaagse technologische uitdagingen in de olie- en gasindustrie. De sterk toegenomen capaciteit van computers en ver-

fijnde algoritmes maken het mogelijk om seismische reflectiedata te inverteren naar akoestische impedantie en uiteindelijk in reservoirkwaliteit. De seismische data dragen bij tot het verfijnen van de conventionele reservoirmodellen. Deze techniek maakt het onder

meer mogelijk, indien de seismische gegevens van goede kwaliteit zijn, om geïsoleerde rivierzanden en hun ruimtelijke verdeling (zoals in figuur 11) op 3

km diepte zichtbaar te maken (figuur 14), een fenomeen dat zelden valt waar te nemen in ontsluitingen.

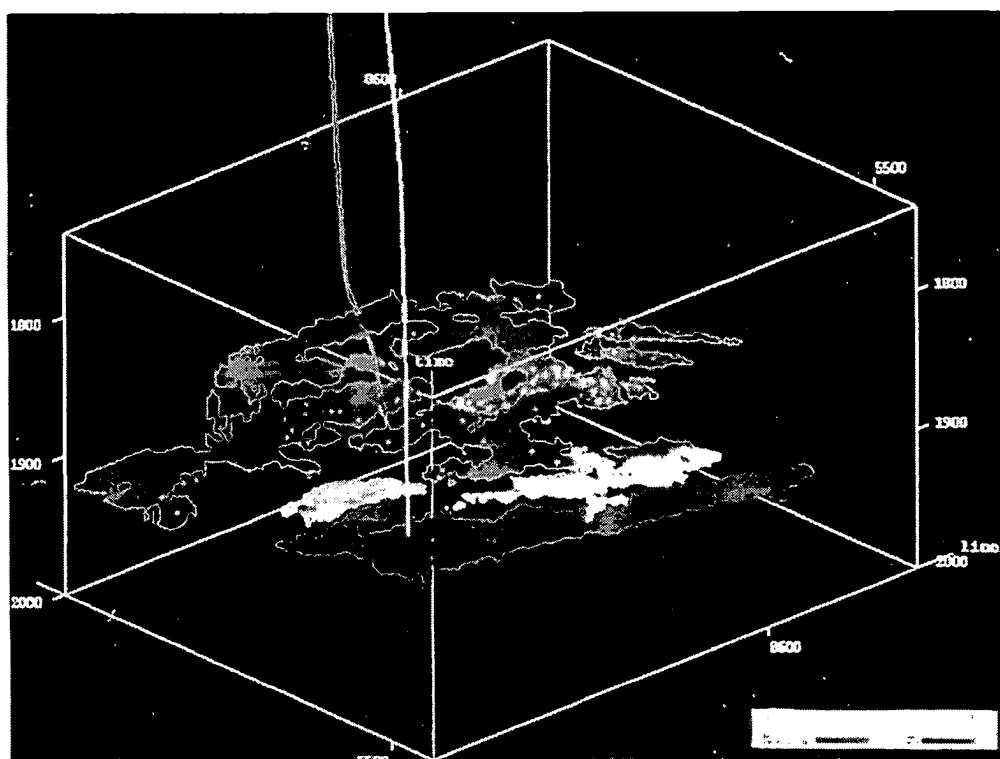


Fig. 14 3D computermodel van discontinue rivierzandafzettingen, gebaseerd op geïnverteerde seismische data, hetgeen een goed beeld oplevert van de grootte en de ruimtelijke verdeling van de zandlichamen in de ondergrond

Dit soort verfijnde seismische inversiedata leveren tevens een bijdrage aan het herkennen van sub-seismische ondoorlaatbare breukjes in de reservoirs. Deze methode van seismisch modelleren opent wegen om een reeks van slecht producerende velden nauwkeuriger te karakteriseren en methoden toe te passen zoals (sub-)horizontaal boren om de exploitatie van dit soort velden te optimaliseren. Het biedt zelfs mogelijkheden tot het optimaal plaatsen van boringen in velden die nog niet eens zijn aangeboord, waarbij seismische inversiegegevens gebieden kunnen aantonen met betere reservoirkwaliteit.

Dr. Harm W. Frikken
Nederlandse Aardolie Maatschappij BV, Business
Unit Gas Land
Technisch expertise departement
Adres: postbus 1, 7760 AA Schoonebeek

Deze bijdrage is een vereenvoudigde samenvatting van het proefschrift 'Reservoir-geologische aspecten van productiviteit en connectiviteit van gasvelden in Nederland' verdedigd op 13-09-99 aan de TU Delft. Voor details, inclusief ca. 100 literatuurverwijzingen wordt verwezen naar het proefschrift met gelijknamige titel in de Engelse taal (ISBN 90-9013403-4).

De magnetische zon

R.J. Rutten

Sterrekundig Instituut Utrecht (SIU),
Universiteit Utrecht



Samenvatting

De zon is een doodgewone dwergster, alleen maar bijzonder omdat we haar van zo nabij zien en scherp in beeld kunnen brengen. De beste nu haalbare scherpste, om het even in welk deel van het elektromagnetische spectrum, blijkt vooralsnog onvoldoende om de buitengewone rijkdom aan structuren en dynamische verschijnselen die de zon ons voorschotelt te doorgronden. Voor een groot deel zijn ze het gevolg van het bijzonder complex geconfigureerde magneetveld van de zon: niet dipoolachtig, maar een spaghettikluwen van veldbuisjes. Dat is het mooist te zien in coronale röntgenbeelden die vergaard worden door de TRACE ruimtemissie: voer voor magnetohydrodynamici en plasmafysici. Het dynamische karakter van de coronale structuur wordt gedictieerd door de gasbewegingen in en onder de lagen die we optisch waarnemen. Om die voldoende scherp in beeld te krijgen worden nieuwe telescopen en detectiemethoden ontwikkeld waarin de *Dutch Open Telescope* op La Palma een belangrijke rol speelt.

Literatuur

Een groot deel van de presentatie is te vinden in de volgende twee artikelen.

Schrijver, K. (1999), De magnetische zon. *Natuur & Techniek*, 67 (5), 10-21.

Rutten, R. (1999), Dutch Open Telescope – Spiegel op de tocht. *Natuur & Techniek*, 67 (5), 70-79.

Solar websites

<http://spaceart.com/solar/eng/sun.htm>
popular introduction, solar WWW links

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>
astronomy picture of the day, many solar ones in archive

<http://www.lmsal.com/YPOP/Spotlight/Tour/index.html>

popular introduction, animations

<http://solar-center.stanford.edu/>

Stanford solar outreach

<http://umbra.nascom.nasa.gov/images/latest.html>
daily solar images

<http://www.sunspotcycle.com/>
sunspots and solar cycle, plus links

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/synoptic/>
daily solar images for SOHO planning

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/>
SOHO image gallery

<http://vestige.lmsal.com/TRACE/>
TRACE homepage

<http://sohowww.estec.esa.nl/>
SOHO homepage

<http://umbra.gsfc.nasa.gov/>
NASA solar data center

<http://www.nso.noao.edu/diglib/>
NOAO-NSO solar data library

<http://sohowww.estec.esa.nl/spacesolarastro.html>
ESA collection of solar websites

<http://www.sel.noaa.gov/index.html>
NOAA space weather

<http://www.sel.noaa.gov/primer/primer.html>
space weather primer including bursting oil pipes

<http://www.lmsal.com/solarsites.html>

Karel Schrijver's collection of solar websites

<http://www.amara.com/science/science.html>
Amara Graps' astrophysics link collection

Multimedia met Coach 5

C. de Beurs & P.P.M. Molenaar

Amstel Instituut, Universiteit van Amsterdam



Multimedia

Leren heeft van alles te maken met het verzamelen en verwerken van informatie. Voor het raadplegen van informatie maken we gebruik van verschillende media: boek, video, geluid, ... De vorm waarin de informatie wordt aangeboden is van grote invloed op de effectiviteit van het leren. Kwantitatieve veranderingen bekijken we bij voorkeur in de vorm van grafieken, een experimentele opstelling bij een proef wordt het beste verhelderd door een plaatje, dynamische aspecten van processen kunnen goed gedemonstreerd worden met animaties, modelsimulaties helpen inzicht te krijgen in causale relaties, enz.

Het is niet verrassend dat ICT steeds vaker als hulpmiddel wordt ingezet bij onderzoekend leren. De computer is immers gemaakt voor informatieverwerking en ondersteunt een breed scala aan representatiemogelijkheden. Je kunt ermee meten, rekenen, internetten en op allerlei manieren informatie bestuderen.

Bij natuurkunde biedt de computer nu al diverse mogelijkheden. We gebruiken software voor het opzoeken (internet), verzamelen (meten), bewerken en verwerken van informatie. Theorievorming wordt ondersteund via video-animaties, computersimulaties en hypothesetoetsing met rekenkundige modellen. Bij het rapporteren van en communiceren over onderzoeksresultaten gebruiken we de tekstverwerker en internet. Onderzoek naar het leereffect van dit soort hulpmiddelen wijst uit dat vooral zwakkere leerlingen gebaat zijn bij een gedifferentieerd aanbod van ICT-gereedschappen.

Het ICT-gebruik verandert ook de rol van de docent. Computerondersteund onderzoeken moet geleerd worden. Leerlingen kunnen dat meestal niet vanzelf. Dat geldt niet alleen voor de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden, maar ook voor de inzet en het gebruik van ICT-hulpmiddelen.

Binnen een ICT-leeromgeving heeft de docent een belangrijke taak in het bedenken, structureren en

klaarzetten van zinvolle leerlingactiviteiten. Om dat mogelijk te maken moet de software over auteursmogelijkheden beschikken.

Coach 5 biedt deze mogelijkheden. In dit pakket kun je onderzoekopdrachten op maat klaarzetten, inclusief experimentele setup, uitleg, instructies, grafieken, plaatjes, animaties en filmpjes. Bovendien kunnen geavanceerdere opties worden 'afgeschermd' voor beginnende leerlingen.

ICT-gereedschappen in Coach 5

De natuurkunde houdt zich primair bezig met zoeken naar verklaringen voor fysische verschijnselen. Aan de ene kant is er de waarneembare werkelijkheid en aan de andere kant de theorie, die we in overeenstemming proberen te brengen met de waarnemingen. Zowel bij het waarnemen als bij de theorievorming kunnen we op verschillende manieren gebruik maken van de computer.

Waarnemen

Voor computerondersteund verzamelen en weergeven van gegevens over fysische verschijnselen bestaan verschillende mogelijkheden.

Inmiddels klassiek is het gebruik van de computer voor on-line meten. Met de juiste software kan de PC echter ook dienstdoen als virtueel laboratorium, waarbij onderzoek wordt gedaan aan afbeeldingen van de reële werkelijkheid. Dit kan zowel kwalitatief als kwantitatief. Voordeel van dit soort toepassingen is dat bijhorende practicumactiviteiten zonder apparatuur kunnen uitgevoerd kunnen worden en dus ook thuis kunnen plaatsvinden.

Virtueel Laboratorium – Fysische processen kunnen met een fototoestel of met een videocamera worden vastgelegd. Hiermee wordt de fysische werkelijkheid vastgelegd en kan dus als het ware het klaslokaal binnengehaald worden. Deze mogelijkheid is met na-

me interessant voor de bestudering van verschijnselen die in de klas onmogelijk zijn uit te voeren.

Het is zelfs mogelijk aanwijzingen van meters op verschillende tijdstippen af te beelden voor kwantitatieve verwerking. Een voorbeeld is de afbeelding van een voltmeter bij het naar elkaar toeschuiven van condensatorplaten. Dergelijke filmpjes zijn ook interactief te maken door het mogelijk te maken de platen zelf naar elkaar toe te bewegen (een soort doorspelen!). Coach 5 bevat standaardknoppen voor het afspelen en beeldje voor beeldje bekijken van videofilmpjes.

Met een toepassing als 'video-meten' kunnen plaats-tijd diagrammen gemaakt worden van opgenomen bewegingen. De tijdbasis ligt vast door de opeenvolging van videobeelden, en afstanden zijn bijvoorbeeld te ijken aan de hand van een meegefotografeerde meetlat. De plaats-tijd grafieken zijn in Coach 5 vervolgens eenvoudig te differentiëren naar snelheid-tijd en versnelling-tijd grafieken.

Video-meten is een krachtig gereedschap voor realistisch onderzoek aan allerlei soorten bewegingen.

Reële metingen – Het gebruik van de computer voor het automatisch uitvoeren van getriggerde metingen wordt inmiddels vaak toegepast. Voordeel van het computergebruik bij dit soort toepassingen is de directe presentatie van meetresultaten en de snelle 'herhaalbaarheid' onder verschillende experimentele omstandigheden.

Naast on-line meten raakt het dataloggen steeds meer in zwang. Bij deze toepassing wordt een batterijgevoede interface gebruikt om los van de computer – ook buiten het klaslokaal – metingen te kunnen doen, die later op de computer verwerkt worden.

Theorievorming

Voor ondersteuning van theorievorming zijn er verschillende mogelijkheden.

In een programma als Coach 5 kunnen meetresultaten bewerkt en geanalyseerd worden. Te denken valt bijvoorbeeld aan het bestuderen van het gedrag van uit meetresultaten afgeleide grootheden (bijv. vermogen uit spanning en stroom), het analyseren van periodieke signalen en het nagaan van theoretische verbanden via functiefitten.

Ook los van meetresultaten kunnen animatiefilmpjes en computersimulaties ondersteuning bieden bij het doorgronden van de theorie. Computersimulaties van fysische processen helpen leerlingen op een interactieve wijze inzicht te krijgen in de causale verbanden. *Interactive Physics* is een voorbeeld van een mooi simulatieprogramma voor de mechanica. Voorbeelden voor elektriciteitsleer zijn *ElektriX* in Coach Junior en *Crocodile Clips*.

Modelomgeving in Coach 5 is zeer geschikt om leerlingen te laten 'spelen' met fysische denkbeelden. Het zelf opstellen van numerieke modellen van de schoolnatuurkunde is lastig, maar manipuleren met een bestaand model stimuleert het denken in termen

van oorzaak-en-gevolg-relaties en biedt krachtige mogelijkheden voor hypothesetoetsing door vergelijking van meetgrafieken met de uitkomsten van modelberekeningen.

Wat kan het opleveren?

Uit onderzoek met een aantal groepen die in een Multimedia benadering gewerkt hebben kwamen de volgende resultaten en aanbevelingen.

Herhaling helpt – De leerlingen moeten hun eigen leerweg zien te vinden. Dat bereik je door ze een rijk aanbod aan werkvormen aan te bieden. Een optimum is dat 70 % van de leerlingen tot begripsvorming komt als een concept vijf keer wordt herhaald, waarbij niet steeds op dezelfde manier gewerkt wordt maar er steeds wisselende activiteiten zijn. Wel is er een correlatie noodzakelijk tussen de verschillende werkvormen. De verschillende experimenten moeten wat met elkaar te maken hebben, anders komen er weer transferproblemen – dat wil zeggen: een leerling krijgt problemen met datgene wat geleerd is elders toe te passen.

Laagscorende leerlingen – Vooral voor de laagscorerende leerling bleek een Multimedia benadering zeer effectief. Door het grote gebruiksgemak van Coach 5 onder Windows hebben de leerlingen eigenlijk nauwelijks instructies nodig. De te gebruiken onderdelen van het programma achterhalen de leerlingen proef-ondervindelijk.

Leren door grafieken – Leerlingen zijn visueel zeer sterk en de vele grafische activiteiten geven een goede mogelijkheid tot begripsvorming.

Experimentele vaardigheid – Door het grote gebruiksgemak van het programma is er meer aandacht voor het fysisch experimenteren.

Organisatie – Het organiseren van een circuit aan activiteiten kost veel tijd. De studiehuis-activiteiten zijn voor de docenten zeer arbeidsintensief. Snelle hulp aan studenten is moeilijk te geven. Ook de administratie van de activiteiten moet niet te gecompliceerd zijn.

Een voorbeeld van Multimedia gebruik: trillingen en golven

We werken een voorbeeld uit voor het subdomein trillingen en golven. In dit voorbeeld gebruiken we trillingen van de Tacoma brug en de Erasmusbrug als context voor een praktische opdracht over trillingen en resonantie.

Bij het ontwerp van de opdracht in Coach 5 wordt uitgegaan van een gemiddelde studiebelasting van 6 tot 8 uur.

Introductie – Als introductie op de probleemstelling dienen de verhalen over de Erasmusbrug (1996) en over de Tacoma Narrow Bridge, een brug die zoals bekend in november 1940 volledig kapot trilde.

In Coach 5 worden links gemaakt naar een website met informatie over de genoemde bruggen en de resonantieverschijnselen. Daarnaast zetten we video-

filmpjes van de bewegende bruggen in de informatievensters.

Informatie over de bruggen en bijbehorende filmpjes zijn met een zoekmachine eenvoudig op Internet te vinden en na downloaden direct in de docentversie van Coach 5 op te halen.

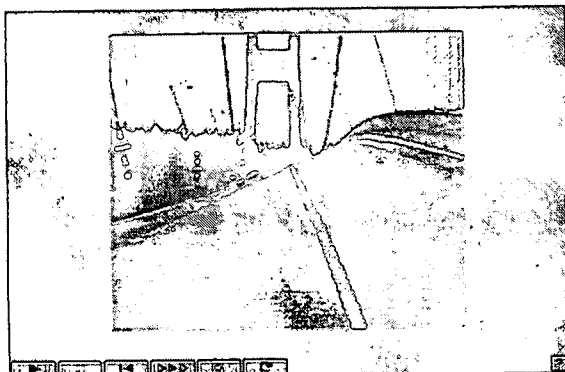


Fig. 1 Tacoma Bridge

Het Virtuele Lab – Beeldinformatie kan ook bestaan uit video-opnamen van laboratoriumopstellingen en computersimulaties.

Bij filmpjes van laboratoriumexperimenten met modelbruggen kan bijvoorbeeld gekeken worden naar het effect van constante windsnelheden of van pulse-rende windsnelheden.

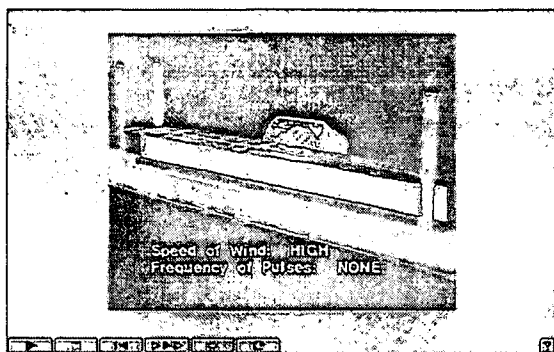


Fig. 2 Laboratoriumopstelling

Het is zelfs mogelijk kwantitatieve metingen aan dergelijke opnamen uit te voeren door gebruik te maken van de module video-meten in Coach 5, bijvoorbeeld door een grafiek te maken van een punt op het wegdek van de brug.

Een computeranimatie in Coach 5 van luchtstromingen geeft kwalitatief inzicht in de invloed van deze luchtstromingen op de beweging van het wegdek.

Reële experimenten – In de experimentele fase doen leerlingen onderzoek aan trillende systemen. Voor onderzoek aan resonantieverschijnselen wordt gebruik gemaakt van een spoel die als elektromagneet een periodieke kracht uitoefent op een trillende magneet.

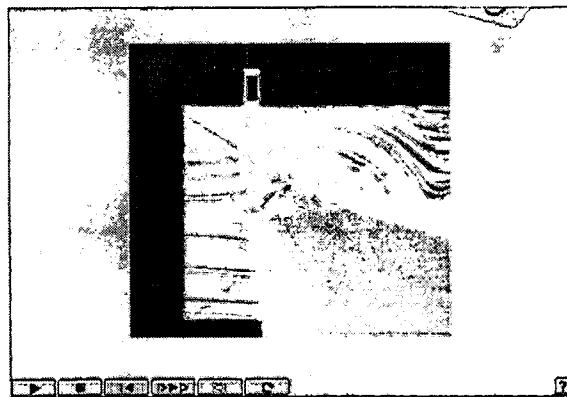


Fig. 3 Computersimulatie van luchtwervelingen langs het wegdek

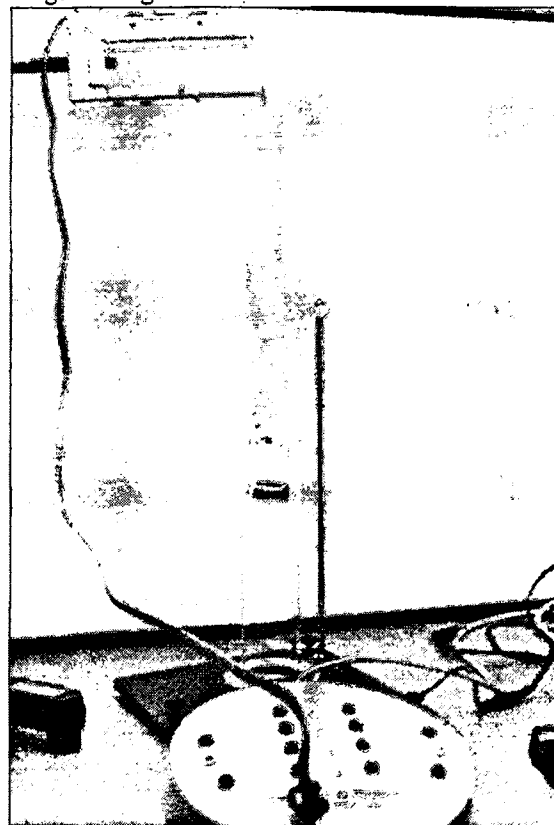


Fig. 4 Opstelling trillende magneet

• Trillingstijd

Een op een schaalte geplaatste magneet hangt onder een veer. Dit massa/veersysteem wordt bevestigd aan een krachtsensor. De krachtsensor is aangesloten op CoachLab II. We meten een trillingstijd van 0,73 s.

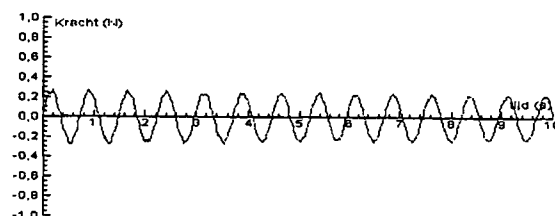


Fig. 5 De trilling

- Fourieranalyse

De trillingstijd kan ook uit de Fourieranalyse in Coach 5 worden afgeleid.

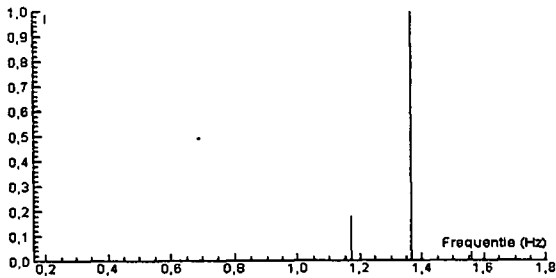


Fig. 6 Fourieranalyse

De eigenfrequentie van het systeem bedraagt 1,37 Hz.

- Gedwongen trilling

De massa onder de veer beweegt in een perspex cilinder. Om de cilinder schuiven we een spoel.

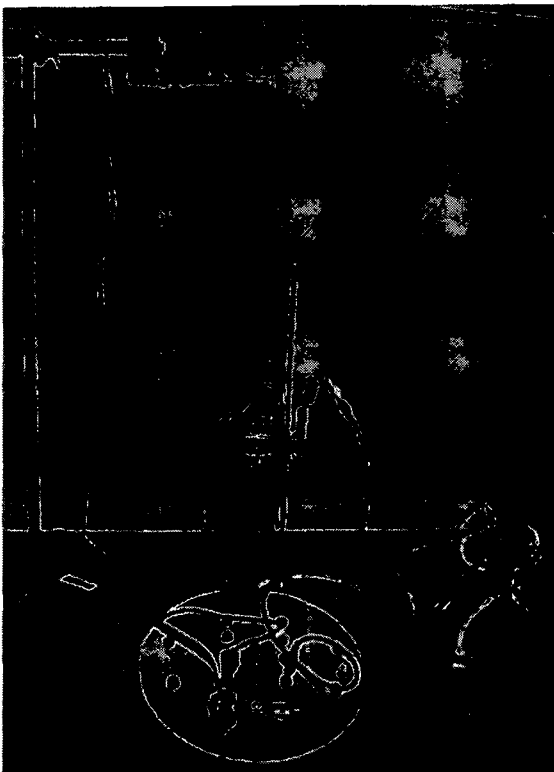


Fig. 7 Opstelling trillende magneet met spoel

Door de spoel op het juiste moment te bekrachtigen kunnen we het massa/veersysteem in resonantie brengen. Door commando's te kiezen uit een lijst kan in Coach 5 eenvoudig het volgende stuurprogramma worden geschreven, waarmee het systeem in resonantie te brengen is.

```
Herhaal
ZetAan(1)
Wacht(0,365)
```

```
ZetUit(1)
Wacht(0,365)
Totdat Looptijd > 40
Stop
```

Uit het programma valt af te leiden dat er een blokspanning wordt geproduceerd met een periode van 0,73 s. Na 40 seconden stopt het programma.

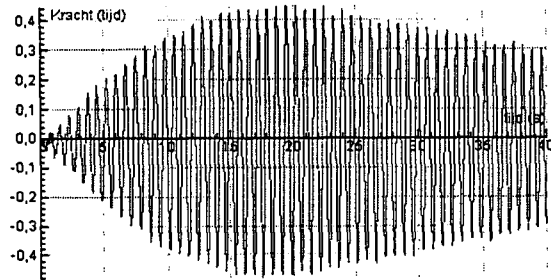


Fig. 8 Het systeem in resonantie

Modelling – Onderstaand model beschrijft voor dit experiment de gedwongen trilling met een periode van 0,73 s. Het model is gegeven. Leerlingen bestuderen het model en vullen zelf de startwaarden in, ontleend aan het voorgaande experiment. Via simulaties wordt het modelgedrag bestudeerd. Een verschil met het experiment is wel dat de externe kracht (F_u) nu niet blokvormig, maar sinusvormig is.

<pre>t := t + dt Fx = -k*x Fu = -r*cos(2*pi*t/periode) Fres = Fx + Fu a = Fres/m u := u + a*dt x := x + u*dt</pre>	<pre>dt = 0.02 t = 0 periode = 0.73 's r = 0.01 'N x = 0.00 'm k = 11.9 'N/m m = 0.159 'kg</pre>
--	--

Fig. 9 Het model en de startwaarden

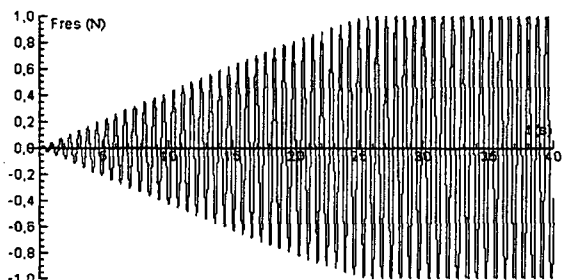


Fig. 10 Het resultaat van een simulatie met de ingevulde startwaarden

Toepassing – De verworven inzichten worden toegepast op een fotoserie van de Tacomabrug. Leerlingen wordt gevraagd bij elk van de foto's een verklaring te geven. Voor de Erasmusbrug is er een opdracht om een aanbeveling te schrijven voor het voorkomen van resonantie. Bij deze opdrachten zijn relevante websites in Coach 5 voorgeselecteerd.

Als afsluiting van dit thema kunnen ook andere resonantieverschijnselen in de software worden klaarge-

zet (videofilms) om te worden bestudeerd, bijvoorbeeld het stukzingen van een glas of de opname van een aardbeving.

Conclusie

Het grote aantal verschillende activiteiten dat mogelijk is om een nieuw fysisch concept duidelijk te maken levert een goede kans op begripsvorming bij een grote groep leerlingen. Het opent de mogelijkheid dat iedere leerling zijn eigen leerweg kan vinden. De minder goede leerling krijgt een groot aanbod van verschillende werkvormen die het concept introduceren. De goede leerling verveelt zich niet, want er is een diversiteit aan uitdagende activiteiten.

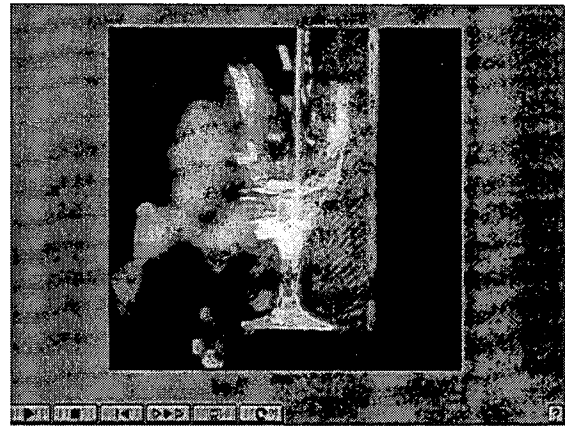
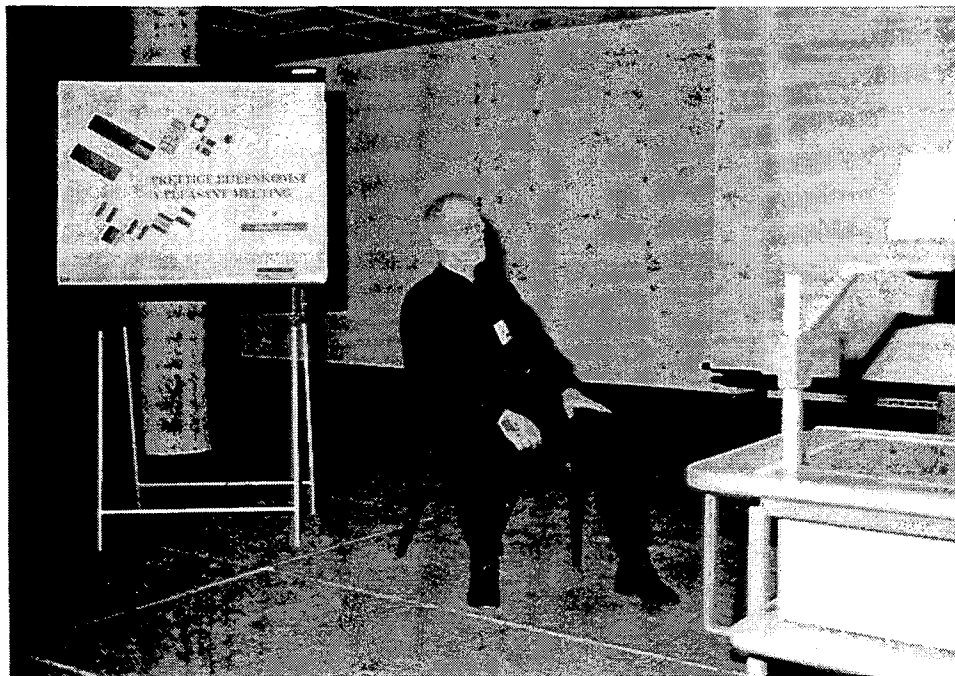


Fig. 11 Het stukzingen van een glas door Ella Fitzgerald.



Fysische geografie – een natuurlijke brug over de kloof tussen profielvakken

W. Bouten

Universiteit van Amsterdam

Op zaterdagochtend gaf Willem Bouten een multimedia presentatie over het lesmateriaal dat de opleiding Fysische Geografie van de Universiteit van Amsterdam ontwikkelt om in te spelen op de veranderingen in het onderwijs bij de invoering van de tweede fase. Matthijs Schuring, student Fysische Geografie, maakte het volgende verslag van de presentatie.

Waarom lesmateriaal?

Aanleiding voor ontwikkeling van het lesmateriaal was een enquête, gehouden onder docenten van de 'natuur'-profielvakken van 45 scholen. Uit deze enquête kwam naar voren dat er veel behoefte is aan praktisch materiaal voor experimentele opdrachten en profielwerkstukken omdat uitgeverijen daar weinig aandacht aan besteden. Volgens de docenten moet het materiaal van EXO's wel direct aansluiten bij de leerstof en hebben zij zelf eigenlijk geen tijd om materiaal te ontwikkelen. Verder werd opgemerkt dat Fysische Geografie (vaak verward met aardrijkskunde) helemaal geen profielvak is. Waarom doet Fysische Geografie dan zoveel moeite voor het voortgezet onderwijs? Het antwoord is te vinden in één van de doelstellingen van het project.

Contactvlak bètavakken

De opleiding Aardwetenschappen – Fysische Geografie is een opleiding waarbij alle bètavakken worden gecombineerd en worden toegepast op het aardoppervlak. Natuur-, schei-, en wiskunde, biologie en informatica, alle 'natuur'-profielvakken komen naast ANW en aardrijkskunde terug in deze studie. Toch heeft de opleiding door het woord 'Geografie' een gamma-klank. Net als andere studies probeert de UvA scholieren een zo goed mogelijk beeld te geven van deze vervolgopleiding. Bovendien is Fysische Geografie bij uitstek geschikt om mee te helpen aan integratie van profielvakken en willen we bijdragen



aan de ontwikkeling van nieuwe werkvormen. Bouten: 'Het mes snijdt aan twee kanten'.

Het project

In het lopende project zijn negen modules ontwikkeld, die allen in het teken staan van de 'Drinkwatervoorziening in Nederland'. Elke module bestaat uit een poster, een experiment of computersimulatie, een handleiding en een docentenhandleiding. Daarnaast is er ook een web-pagina aangemaakt met links naar aanvullende informatie. Op deze manier kan een leerling zeer veel informatie over het onderwerp te pakken krijgen.

Bij de ontwikkeling van het lesmateriaal streven we ernaar dat de experimenten op de school zelf uitvoerbaar zijn. Ook nodigen de modules uit tot de formulering van nieuwe vragen of hypotheses die in een eigen onderzoek of voor een profielwerkstuk nader onderzocht kunnen worden.

Na 'Drinkwatervoorziening in Nederland' zullen binnenkort ook thema's uitgewerkt worden zoals 'Ondergronds ruimtegebruik', 'De wereld onder onze voeten', 'De bodem als reactor' of 'Maakbaarheid van de natuur'.

De modules

Om te laten zien wat de modules inhouden, werd er een experiment uit de module 'Spanning in het water' voorgedaan. Deze module gaat over de analogie tussen stroming van elektriciteit en van water. Door water door buisjes, gevuld met verschillende soorten zand, te laten stromen is met behulp van de wet van Darcy de weerstand van het zand te bepalen. De wet van Darcy is in feite gelijk aan de wet van Ohm, maar dan toegespitst op stroming van water. Stroming van water is veel gemakkelijker te visualiseren dan stroming van elektriciteit. Met een gootje werd ook nog de Rijn gesimuleerd en werd het begrip potentiaal even behandeld. Daarna werd getoond hoe geselecteerd

teerde websites aan actuele inkadering van de lesstof kunnen bijdragen.

Ook andere modules hebben indirect een link met natuurkunde. Bijvoorbeeld de modules 'Plantaardig waterverbruik' en 'Hoe schoon is je achtertuin', gericht op respectievelijk biologie en scheikunde, gaan beiden over transport van water. De module 'Ijswater lekker?' heeft raakvlakken met natuurkunde waar het gaat om de dichtheid, het volume, de warmtecapaciteit en smeltwarmte.

Activiteiten voor docenten, TOA's en leerlingen

De laatste dia van de presentatie was volgens dhr. Bouten misschien wel de belangrijkste. Hiermee nodigde hij belangstellenden uit om mee te doen aan het project door het materiaal uit te (laten) proberen in de les of tijdens een projectweek. Ook bestaat de mogelijkheid ondersteuning te krijgen bij de introductie van het materiaal op school. Verder kunnen docenten meedoen aan een Mastercourse, TOA's – die vaak vergeten worden – kunnen op TOA-cursus, en leerlingen kunnen naar profielwerkstukdagen.

Het materiaal is nog volop in ontwikkeling. De eerste ontwerpfase is afgerond. De testfase en kritisch bijschaven zal in de eerste helft van 2000 en misschien ook nog wel later plaatsvinden. Hiervoor zoeken we contact met scholen waar we in de les, op een projectdag of in een projectweek het materiaal kunnen toepassen. Ook zoeken we docenten (liefst met enige ervaring met de ontwikkeling van lesmateriaal) die ons op free-lance basis kunnen ondersteunen door het ontwikkeld materiaal van kritisch commentaar te voorzien.

U kunt zich aanmelden of nadere informatie opvragen bij:

dr.ir. Willem Bouten

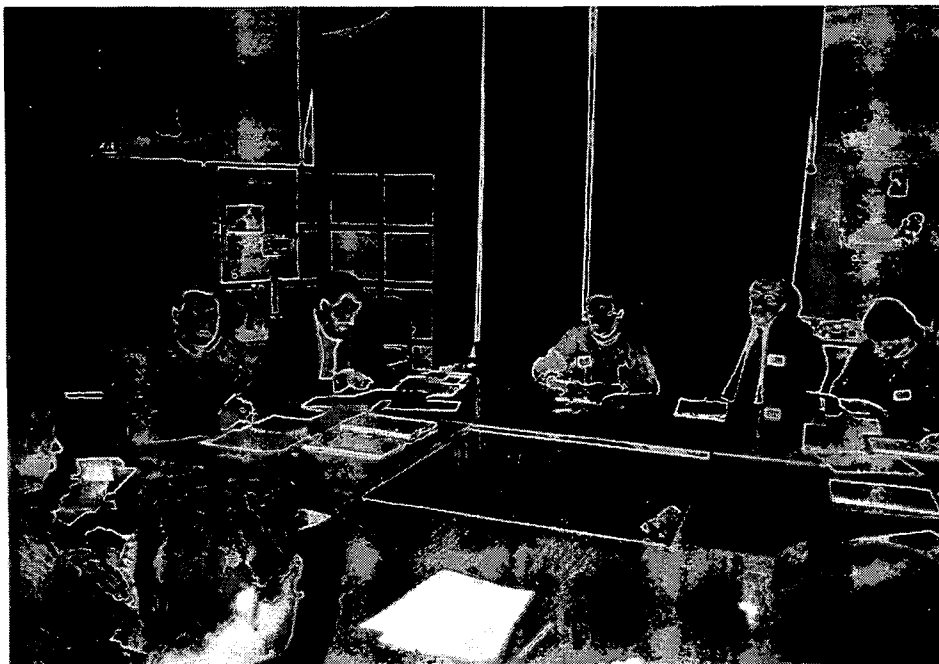
Aardwetenschappen – Fysische Geografie, Universiteit van Amsterdam

Adres: Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ Amsterdam

Tel.: 020-5257412 (5257451)

Email: W.Bouten@frw.UvA.nl

 UvA **DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM.**



Klimaten op de golven van de geologische geschiedenis

N. Vandenberghe

KU Leuven

Inleiding

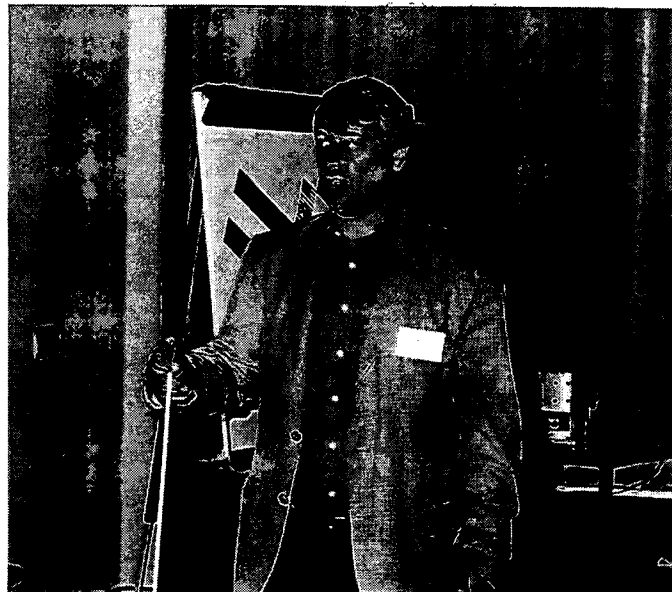
Met de term 'klimaat' wordt een gemiddelde toestand bedoeld van een verzameling parameters, zoals temperatuur, windsnelheid, luchtdruk en neerslag, over een periode van minstens enkele tientallen jaren. Het begrip 'weer' brengt dezelfde verzameling parameters in rekening, maar over een korte periode.

Paleoklimatologie is de studie van de klimaten en hun veranderingen in het geologische verleden. De probleemstelling in deze wetenschap is van drieërlei aard. In de eerste plaats is er de beschrijving van de klimaten in het verleden door het ontcijferen van codes die in de geologische lagen opgesloten liggen. Vervolgens proberen paleoklimatologen in de geologische geschiedenis oorzaken van klimaatsveranderingen te ontdekken. Aan de hand van modelstudies ten slotte zal men ook pogen een inzicht te verwerven in de reactie van het klimaatsysteem op veranderingen in een van de beïnvloedende factoren.

In deze bijdrage wordt de klimaatgeschiedenis op aarde door de geologische tijd geschetst en worden de mechanismen beschreven die verantwoordelijk zijn voor de klimaatswijzigingen in het verleden.

De langetermijnevolutie van de atmosfeer in 4,5 miljard jaar geschiedenis van de aarde

De vroegste samenstelling van de atmosfeer en de start van de hydrologische cyclus – Bij de organisatie van de aarde in een schillenstructuur, waardoor de lichtere en de zwaardere componenten zich van elkaar konden scheiden, vond er ook een massale ontgassing van de aarde plaats. Er wordt logischerwijze aangenomen dat de gassen die hierbij vrijkwamen en door de aantrekkingskracht van de aarde als een sluier rond haar bleven hangen, een samenstelling moeten hebben gehad die analoog was aan de huidige vulkaanuitwasemingen: een mengsel van grotendeels water, koolstofdioxide, stikstof en nog wat methaan. Dat is ook in overeenstemming met de grote aanwezigheid van zuurstof en koolstof in het heelal.



De oudst bewaarde gesteenten op aarde, die zowat vier miljard jaar geleden gevormd werden, getuigen reeds van watertransport. Een gedeelte ervan bestond oorspronkelijk uit sedimentaire gesteenten die voor hun vormingsproces water nodig hadden. De waterdamp uit de zich ontgassende aarde was dus afgekoeld tot beneden het condensatiepunt, vormde zo de oceanen en zette een hydrologische cyclus in werking.

Het verschijnen van zuurstof in de atmosfeer – In de vroegste gesteenten zijn er sterke aanwijzingen voor de afwezigheid van betekenisvolle hoeveelheden zuurstof in de atmosfeer. Zo is er de aanwezigheid van pyriet- en uraniet-rolkeien in de paleoplacer-goudafzettingen van Zuid-Afrika. Deze mineralen zouden in een zuurstofrijke atmosfeer oxyderen en daardoor ontbinden. Er zijn ook de gebandijzerformaties die zich uitsluitend vormden tussen drie en twee miljard jaar geleden en waarvoor een massaal transport van ijzer naar de sedimentatiebekkens nodig was. Een dergelijk transport van ijzer kan enkel in gereduceerde vorm gebeuren.

Sedert twee miljard jaar komen er systematisch rode gesteentelagen voor, wat in oudere afzettingen niet het geval is. De rode kleur is toe te schrijven aan fijn verdeeld hematiet, de meest geoxydeerde verbinding van ijzer, en wijst zo op het bestaan van een zuurstofrijke atmosfeer sinds twee miljard jaar.

De vervanging van koolstofdioxide door zuurstof in de atmosfeer kan begrepen worden enerzijds door de consumptie van koolstofdioxide voor de eerste verwerking van alle nieuwgevormde silicaatgesteenten, anderzijds ook door de systematische begraving van de organische stof die in primitieve vorm reeds vroeg in de aardgeschiedenis op het toneel verscheen. Uit de eenvoudige fotosynthesereactie tussen koolstofdioxide en water om organische stof te maken kan verder afgeleid worden dat dit fotosynthesep proces, gekoppeld aan de begraving van een deel van de gepro-

duceerde organische stof, ook verantwoordelijk is voor de aanrijking van zuurstof in de atmosfeer. Het behoeft geen betoog dat deze zuurstofaanrijking ook de voorwaarde was voor de ontwikkeling van steeds meer gecompliceerde levensvormen, zoals ons

eerst door het verschijnen van kalkstenen, een gesteente dat in hoofdzaak door organismen opgebouwd wordt, en vervolgens door de fossielen geleerd wordt.

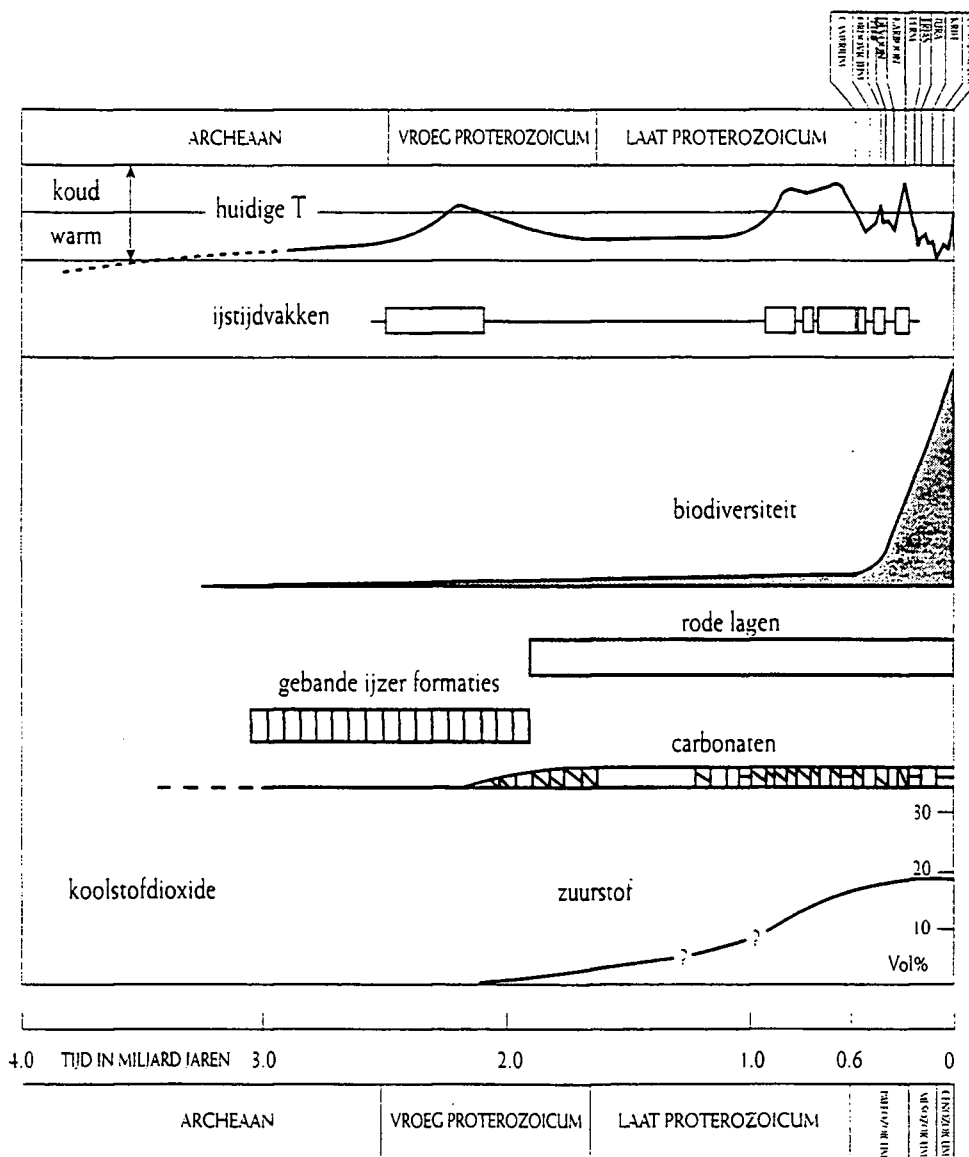


Fig. 1 Enkele grote stappen in de klimaat-evolutie van de aarde: de evolutie van het aandeel van koolstofdioxide en zuurstof in de samenstelling van de atmosfeer, de evolutie van de biodiversiteit, de aanwezigheid van gebande ijzerertsformaties, carbonaten en rode lagen, de temperatuur-evolutie, de bekende ijstijdvakken (met uiteraard een toenemende precisie en meer details in het jongere deel van de aardgeschiedenis)

De gemiddelde temperatuur op aarde – De gemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak wordt bepaald door de afstand tot de warmtebron die de zon is. Het volstaat onze aardse temperaturen te vergelijken met die op onze buurplaneten Venus en Mars, waar het oppervlak respectievelijk ongeveer 480 °C warm en –50 °C koud is. De atmosferen daar bestaan in hoofdzaak uit koolstofdioxide. De temperatuur op aarde bepaalt uiteraard de fase-toestand van water. Het merkwaardige aan de waarde van de aardse tem-

peratuur is dat ze de aanwezigheid van de drie fase-toestanden van water mogelijk maakt, een voorwaarde om de hydrologische cyclus te laten functioneren en om ijstijden te kunnen genereren.

De vastgestelde gemiddelde temperatuur op aarde ligt echter veel hoger dan wat men kan berekenen uit de wet van Stefan-Boltzman. Die geeft voor zwarte lichamen, zoals de aarde er vanuit het heelal bekeken bij benadering een is, het verband aan tussen de ontvangen energie en de uitgestraalde temperatuur. De

ontvangen energie kan door satellieten buiten de atmosferische verstoringen vrij nauwkeurig gemeten worden. De op deze manier berekende oppervlakte-temperatuur bedraagt $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ lager dan de in werkelijkheid op aarde gemeten gemiddelde temperatuur. Deze 'winst' is toe te schrijven aan het broeikas-effect van de huidige atmosfeergassen, zoals water, koolstofdioxide, methaan, ozon ... Deze gasmoleculen absorberen de door de aarde uitgestraalde infraroodenergie en zenden op hun beurt die door hen eerst vastgehouden energie terug uit, deels dus terug naar de aarde. Dat effect wordt beschreven als het broeikas-effect.

Er zij hier terloops opgemerkt dat een broeikas de warmte binnenhoudt: het glas is een fysieke belemmering voor het wegstromen van de warme lucht. Dat gebeurt dus niet door het opnieuw uitstralen van infrarode warme straling. De term 'broeikas-effect' is met andere woorden ongelukkig gekozen.

De langetermijnevolutie van de temperatuur op aarde – De zon is een warmtebron die in de loop van haar bestaan geen constante warmtehoeveelheid uitstraalt. Er is nagenoeg een evenwicht tussen de verminderende brandstofvoorraad en de toenemende fusiesnelheid, maar dat is toch niet volmaakt, met als gevolg dat de temperatuur langzaam toeneemt. De huidige oppervlaktetemperatuur van 5780 K bedroeg zo'n vijf miljard jaar geleden slechts 5500 K . De zon was toen roder en produceerde slechts zowat 70% van de huidige straling. Ze heeft een totale hoeveelheid brandstof om nog eens zowat vijf miljard jaar te functioneren. Wellicht reeds over ongeveer twee miljard jaar zal de temperatuur voldoende hoog zijn opgelopen waardoor de aarde geen winters meer zal kennen en de verdamping van de oceanen op gang komt. Daarna zal onze aarde naar een soort Venus-toestand evolueren.

Het verrassende is echter dat, ondanks het feit dat de zon aanvankelijk veel minder straalde en alle water daardoor in ijs vastgelegd geweest zou moeten zijn, we reeds hebben aangetoond dat er vanaf het begin van de aardse geschiedenis water aanwezig was om sedimentaire gesteenten te vormen. Ook de fotosynthese – en daarmee het leven op aarde – begon al kort na het ontstaan van de aarde. Als aanvankelijk alle water in ijs vastgelegd was, zou de albedo (reflectie van de zonnestraling) daardoor nog sterk toenemen. Daardoor zou ze de koeling nog versterkt en wellicht onomkeerbaar gemaakt hebben. Alles wijst er dus op dat de temperaturen op aarde vanaf het begin vrijwel constant geweest zijn en niet veel afwijken van de huidige temperatuurspreiding op aarde.

De paradox – een aanzienlijk kleinere energietoevoer van de zon en toch geen aanzienlijk lagere temperaturen – wordt wellicht opgeheven door een verhoogd broeikas-effect vanwege de verhoogde koolstofdioxidesamenstelling bij het begin van de aardgeschiedenis.

De afwisseling van ijstijdvakken en broeikastijden in de aardgeschiedenis

De observatie van ijstijdvakken – Eind vorige eeuw werd de idee van vroegere ijstijden gelanceerd door Agassiz. Die had hoog in de Alpen, buiten het bereik van huidige gletsjers, morene afzettingen geïdentificeerd. Men herkende vervolgens meerdere grote ijstijden in de jongste twee miljoen jaar van de aardgeschiedenis. Dat gebeurde aan de hand van specifieke afzettingen, zoals morenes, varven en löss. Ook buiten deze jonge ijstijden werden sporen aangetroffen van ijswerking. Wat deed besluiten tot het bestaan van langere periodes van ijstijden, die we ijstijdvakken noemen? Opnieuw afzettingen, zoals tillieten (verharde morenes) en wrijfkraassen op keien in deze tillieten of op rotsvlakken ('dropstones in varven'), maar ook de paleogeografische reconstructie van de ijsscap met behulp van plaatreconstructies in bijvoorbeeld de Carboontijd. Tussen deze ijstijdvakken in is het mogelijk en zelfs waarschijnlijk dat er permanent een zekere hoeveelheid ijs op aarde bleef, maar dan in veel beperktere mate dan in een ijstijdvak.

De Carboonwouden in een ijstijdvak? – Dat ook de Carboon-Permtijd een ijstijdvak was kan op het eerste gezicht verrassend lijken, aangezien de steenkoolwouden uit deze periode toegeschreven worden aan de aanwezigheid van tropische wouden. Men mag hierbij niet uit het oog verliezen dat de ijstijden zich vooral laten voelen boven ongeveer de 45ste breedtegraad. Een temperatuurdaling met enkele graden in het evenaarsgebied zal daarom het tropische regenwoud nog niet sterk beïnvloeden. Daarna, in het Perm en de begin-Triastijd, schuift ons gebied verder naar het noorden en komt het in het gebied van de kreeftskierkring te liggen. De sporen van dat droge en warme klimaat kunnen ook afgeleid worden uit de sedimenttypes die in verwilderde riviersystemen en alluviale fans zijn afgezet, uit het veelvuldig voorkomen van duinafzettingen, uit de afwezigheid van organisch materiaal, zoals trouwens blijkt uit de grote hoeveelheid bewaarde rode sedimentlagen, en uit de aanwezigheid van zoutafzettingen. Deze laatste vormen nu de noodzakelijke afsluitende laag boven de gashoudende gesteenten in Noord-Nederland en -Duitsland.

Broeikastijden tussen de ijstijdvakken – Tussen de ijstijdvakken van de Carboontijd en die van de Quartaire tijd waarin wij nu leven, zijn er heel wat overtuigende waarnemingen in de gesteenten te maken die aangeven dat het klimaat er zeer warm was. We bespreken hierna bondig de argumentaties voor de Krijttijd en het vroeg-Eoceen.

De Krijttijd – In de midden-Krijttijd, zowat 100 miljoen jaar geleden, zijn er geen aanwijzingen voor de aanwezigheid van permanent ijs. De aanwezigheid van warm water aan de polen is duidelijk door het

ontbreken van een koudwaterinvertebratenfauna en de hoeveelheid warmeklimaatflora op de breedtegraden 70°S en 70°N. Deze paleontologische gegevens zijn gebaseerd op de huidige aanwezigheid van verwante soorten en op morfologische eigenschappen van fauna en flora. Voor die tijd ontbreken alleen gegevens van onder het huidige ijs op Antarctica.

De gegevens maken het mogelijk te besluiten dat de temperatuur aan de polen rond de nul graden moet zijn geweest, tegenover -15° C nu. Nog warmere polaire temperaturen worden geraamd op basis van de stabiele zuurstofisotopenverhoudingen in de schelpen van benthonische foraminiferen uit de Krijttijd die diepwatertemperaturen van 17° C opleveren, tegenover 1-2 °C nu. Ook de evenaarstemperaturen van de Krijttijd lagen wellicht iets hoger dan vandaag, omdat de planktonische foraminiferen temperaturen aanwijzen van 25-27 °C. Op basis van huidige relaties betekent dat een oppervlaktewatertemperatuur van nog eens 3-5 °C hoger. Dit uitzonderlijk warme Krijtklimaat wordt ook bewezen door de zeer belangrijke productie van organismen, die is gedocumenteerd door extreme hoeveelheden kalkafzettingen en de grote verspreiding van koralen en warme mariene invertebraten. Deze Krijttijd wordt dan ook terecht omschreven als een broeikas-tijd.

De vroeg-Eoceentijd – In de afzettingen van ongeveer 50 miljoen jaar geleden die men nu aantreft in het noordwesten van de V.S., worden planten gevonden als magnolia's en verwanten van de citrusfamilie, van avocado's, pistache- en mangobomen, tropische Annonabomen en planten die tegenwoordig in subtropisch Mexico gevonden worden. Ook van planten zonder nog verwante soorten is het mogelijk informatie over het klimaat te verkrijgen aan de hand van de vorm van de bladeren. Op basis van deze paleobotanische criteria is het mogelijk te concluderen dat Noord-Amerika in het vroeg-Eoceen een klimaat had dat vergelijkbaar was met het huidige Centraal-Amerika: een tropisch regenwoud met brede slingerende rivieren.

Ook de dierenwereld is exact wat van een tropisch regenwoud verwacht kan worden: krokodillen en schildpadden, kikkers en salamanders, veel herbivoren, apen... Voor het vroeg-Eoceen van het noordwesten van de V.S. toont het cenogram, een diagram waarin de spreiding van de lichaamsgewichten van een associatie van dieren wordt uitgezet, gelijkenis met de fauna uit het regenwoud.

Gelijkaardige resultaten zijn er voor de flora uit de Londen of leper Groep Klei. Er werden zowat 350 species geïdentificeerd waarvan de naaste verwanten nu in Maleisië en Singapore voorkomen. De temperatuur bij ons schommelde toen rond de 25° C, terwijl ze nu 10° C bedraagt. Zowel het noordwesten van de V.S. als ons gebied lagen in het Eoceen nauwelijks iets zuidelijker. De paleoklimatologische gegevens van beide gebieden wijzen dus op een sterk gewijzigd klimaat sinds die tijd.

Men kan dan ook besluiten dat er tussen de ijstijdvakken van het einde van het Paleozoïcum en het Plio-Pleistoceen-Holoceen een zeer warme tijd was gedurende het Krijt op het einde van het Mesozoïcum, en dat het ook in het vroege Tertiair nog tropisch warm bleef voor de afkoeling begon. Gelijkaardige situaties vindt men tussen het ijstijdvak van het laat-Precambrium en dat van het laat-Paleozoïcum. Men kan daarom in het algemeen stellen dat de klimaatgeschiedenis van de aarde een opeenvolging laat zien van broeikas-tijden en ijskast-tijden of ijstijdvakken.

Veranderde alleen het klimaat in de broeikas- en ijskast-tijden? – Het is opvallend dat samen met deze grootschalige klimaatschommeling ook een aantal andere geologische verschijnselen nagenoeg synchroon variëren. Vanzelfsprekend bevatten die ook de sleutel voor de verklaring van de grootschalige klimaatafwisselingen zelf.

De zeespiegel – De vroegere zeespiegel kan afgeleid worden uit de relatieve geometrische positie van de sedimentaire afzettingen ten opzichte van elkaar, op voorwaarde dat men erin slaagt de lokale tektonische effecten van de globale veranderingen te onderscheiden, wat niet steeds eenvoudig is. De globale zeespiegelcurve werd opgebouwd door een geometrische analyse van stratigrafisch op elkaar volgende sedimentaire bundels, waargenomen op seismische doorsneden van sedimentaire bekkens. Bij een stijgende zeespiegel schuiven de bundels landwaarts en bij een daling schuiven de sedimentwigen zeewaarts. De curve werd geïkt aan een zeespiegelcurve voor de laatste honderd miljoen jaar. Die werd berekend op basis van het volume dat in de oceanen werd ingenomen door de midden-oceanische ruggen. Dit verschilt al naargelang het spreidingsritme van de oceaanaanvloer, waarvan de geschiedenis bekend is uit de magnetische polariteitsbanden in die oceaanaanvloer. Men stelt vast dat er in de broeikas-tijden een hoge en in de ijskast-tijden een lage eustatische zeespiegel is. Het maximale verschil tussen beide wordt op 200 meter geraamd.

Het vulkanisme – Door het bepalen van de relatieve hoeveelheid vulkanische gesteenten ten opzichte van de totale hoeveelheid gesteenten in de opeenvolgende stratigrafische intervallen kan een maat gevonden worden voor de intensiteit van het vulkanisme door de tijd heen. De vulkanische activiteit is duidelijk veel sterker in de perioden van de broeikas-tijd dan in de ijstijdvakken.

De vorming van carbonaatgesteente – Er zijn in de geologische geschiedenis drie aspecten van de kalkgesteenten die globaal genomen mee variëren met de broeikas- en ijskastafwisseling. Er is vooreerst de totale hoeveelheid kalksteen. Die neemt duidelijk toe als de zeespiegel hoog staat in de broeikas-tijden.

Hierbij moet men bedenken dat kalkstenen in hoofdzaak ontstaan door de afscheiding van kalk door organismen. Daarnaast is er de hoeveelheid dolomie, een carbonaatverbinding van calcium en magnesium die eveneens in hogere mate aanwezig is in de perioden met hoge zeespiegel. Ten slotte is er de mineralogie van de oölieten die meer aragonietisch is of uit calciet bestaat met een hoge bijmenging van magnesium tijdens de perioden met een lage zeespiegel, en meer uit calciet met een lage bijmenging van magnesium tijdens de broeikastijden.

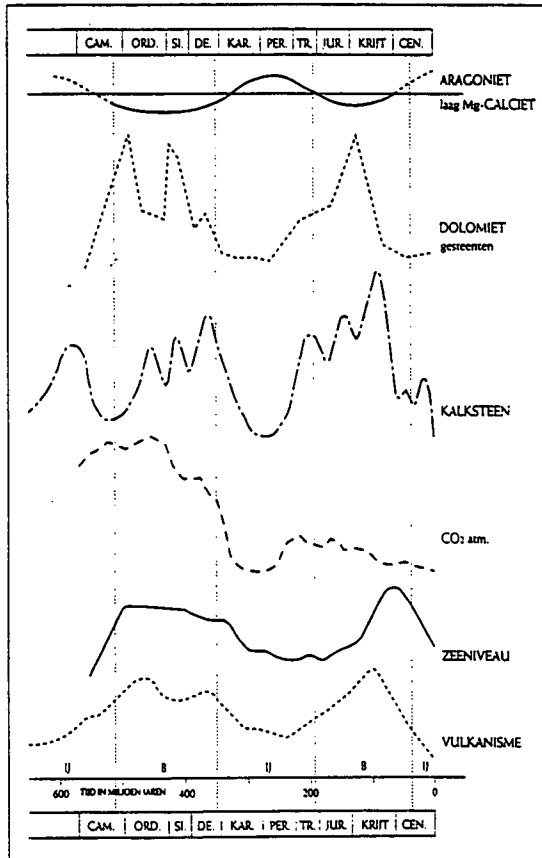


Fig. 2 De afwisseling van ijskast- en broeikastijden in het Phanerozoïcum met de samen evoluerende hoeveelheden vulkanisme, carbonaatgesteenten en -mineralen, atmosferische koolstofdioxide en een samen evoluerend zeeniveau

De samenstelling van de atmosfeer – De atmosferische hoeveelheid van een gascomponent, zoals koolstofdioxide in het Phanerozoïcum, kan gereconstrueerd worden aan de hand van een balansberekening van de reacties die het gas produceren en verbruiken, en een vergelijking daarvan met de huidige situatie, waarbij de hoeveelheid koolstofdioxide in de atmosfeer gekend is. De gebruikte reacties in een dergelijke modelberekening zijn vooreerst de consumptie door vertering, waarbij de landmassa, de plantenbedekking, de temperatuur, de topografie ... een rol spelen, vervolgens de consumptie door de begraving van organisch materiaal, waarvoor het orga-

nische koolstofgehalte van de sedimenten in een bepaald stratigrafisch interval een maat is of waarvoor de koolstofisotopen in karbonaatschelpjes een maat zijn (omdat ^{12}C door de fotosynthese preferentieel in biologische organische stof wordt ingebouwd), en ten slotte de productie door metamorfisme en vulkanisme, waarvoor rechtstreeks het relatieve aandeel van deze gesteentetypes gebruikt kan worden of ook het ritme van de oceaanspreiding. Die is proportioneel met de hoeveelheid subductie, die dan weer proportioneel is met vulkanisme en metamorfisme.

Een verrassend resultaat is dat de koolstofdioxidegehalten in het vorige ijstijdvak, en wellicht ook in het late Precambrium, vergelijkbaar waren met de lage waarden in de atmosfeer tijdens het huidige ijstijdvak, maar dat er tijdens de broeikastijden een veel sterkere aanwezigheid van koolstofdioxide moet zijn geweest. Bovendien is er globaal ook in het Phanerozoïcum nog steeds een geleidelijke vermindering te zien van het koolstofdioxidegehalte in de atmosfeer.

Een verklaring voor de afwisseling van broeikas- en ijskasttijden: platentektoniek en vulkanische activiteit? – Een blik op de paleoplaatreconstructies door de tijd heen toont op opvallende wijze dat de laat-Precambrijsche en de Carboon-Perm-ijstijd samen vallen met een toestand waarin er bij benadering slechts één grote landmassa bestaat: een zogenaamde pangea-situatie. Ook in ons huidige ijstijdvak, dat in vergelijking met de totale duur van het vorige pas in een beginstadium is, liggen Azië, Australië, Europa en Afrika dicht aaneengesloten. De periode met de broeikastijden daarentegen is een situatie van meerdere verspreide, kleinere platen die door een veel actievare oceaanspreiding verschoven worden. Daarom zou men kunnen aannemen dat, aangezien met meer plaatactiviteit meer vulkanisme en metamorfisme geassocieerd zijn – metamorfisme levert reacties die de koolstofdioxide, vastgelegd tijdens de vertering van gesteenten in mineralen, weer vrijgeven – er bijgevolg ook grotere koolstofdioxidegehalten in de atmosfeer worden gebracht. Dat zou op zijn beurt tot een verhoogd broeikaseffect geleid hebben. De vermindering van het totale gehalte aan koolstofdioxide maakt een nieuwe sprong met het verschijnen van de landplanten in het Ordovicium en Siluur, en versnelt nog met de enorme plantengroei in de Carboontijd. Men wijt trouwens het ontstaan van het ijstijdvak van de Carboon-Permtijd soms alleen aan deze grote consumptie van koolstofdioxide: landplanten produceren cellulose-achtige substanties die moeilijk afbreekbaar zijn en zo meer begraven worden met de sedimenten, waardoor ze nieuwe massa's koolstofdioxide aan de oppervlaktecyclus onttrekken.

Ook de andere geologische fenomenen die samen gingen met de grote klimaatwissels, worden door een plaattektonisch model goed verklaard. De zeespiegel is in de broeikastijden hoog omdat er dan door de sterke plaatspreidingsactiviteit een groot volume van

warme gesteenten aanwezig is aan de midden-oceanische spreidingsruggen. Dat maakt echter dat de beschikbare ruimte voor het water in het oceanbekken kleiner is en doet daardoor het niveau in het bekken – de zeespiegel – stijgen. Deze verhoogde spreidingsactiviteit van de oceanvloer wordt ook aangegevoeld door de variatie in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -isotopenverhouding in de schelpjes van mariene fossielen. Het magmatisme aan de spreidingsruggen brengt immers relatief meer ^{86}Sr aan dan de supergene processen en de diagenese.

De veranderende partiële druk van koolstofdioxide in de atmosfeer is verantwoordelijk voor het verschil in carbonaatmineralogie van de oëlieten. Experimenteel kan men aantonen dat lagere koolstofdioxidegehalten in de atmosfeer de vorming van laag-magnesiumcalciet bevoordelen en hogere gehalten de vorming van aragoniet en hoog-magnesiumcalciet.

Het vaker voorkomen van dolomiet in de broeikas-tijden kan worden verklaard doordat er belangrijke hoeveelheden magnesium vrijkomen vanwege het hydrothermalisme in de bazalten van de M.O.R. gedurende de intensere plaatspreiding, en eventueel door de verminderde calciumgehalten wegens meer evaporietvorming in die warmere broeikas-tijden.

Het totale volume aan kalkstenen zal ook belangrijker zijn in de broeikas-tijden omdat er door de verhoogde temperatuur een grotere organische productiviteit zal zijn in de vele ondiepe zeeën die ontstonden door de algemeen verhoogde zeespiegelstand.

Het voorgestelde model leidt tot de enigszins verrassende conclusie dat de grootschalige klimaatfluctuaties van warme broeikas-tijden naar koude ijstijden, met tussenstappen van tientallen miljoenen jaren, geconditioneerd lijken te worden door de interne dynamiek van de aarde. Die wordt op haar beurt bepaald door de warmtehuishouding in de aarde, een relict van haar vormingsgeschiedenis. De interne warmte drijft een complex systeem van mantelconvecties aan die de rigide buitenschil van de aarde, de lithosfeer, in tegenover elkaar bewegende tektonische platen opdelen. Er bestaat een soort megaperiodiciteit van pangea-toestand naar meervoudige plaat-toestand. Beide toestanden brengen echter een heel verschillende vulkanische activiteit met zich mee, die op haar beurt verantwoordelijk is voor een verschillende aanvoer van koolstofdioxide. Volgens dit model wordt het klimaat aan het aardoppervlak bepaald door de interne dynamiek van de aarde.

Wellicht speelden ook andere elementen een rol, zoals het ontstaan van de landplanten of de vorming van grote gebergtekets. Die gaan precies samen met de vorming van supercontinenten net voor de ijstijdvakken, omdat daardoor grote hoeveelheden nieuwe silicaatgesteenten werden blootgesteld aan verwerking. Die onttrekt heel wat koolstofdioxide aan de atmosfeer, waardoor het broeikas-effect vermindert, wat helpt om de aarde globaal te doen afkoelen.

De periodiciteit van ijstijden en tussenijstijden in een ijstijdvak

Behalve deze grootschalige veranderingen – afwisselend broeikas- en ijstijden – zijn er binnen deze grote perioden merkwaardige cyclische variaties in het klimaat. De ijstijden en tussenijstijden zijn wellicht goed bekend.

De periodiciteit van het laat-Pleistoceen gemeten in ijskernen – Eén van de meest spectaculaire resultaten van het ijsonderzoek op Antarctica, Groenland en in andere vergletsjerde gebieden is ongetwijfeld dat men er in ijskernen, waarvan men de ouderdomsgeschiedenis kon reconstrueren aan de hand van de geïsoleerde opbouw van het ijs, in slaagde behalve de temperaturen ook de fossiele koolstofdioxide- en methaangehalten van de atmosfeer te reconstrueren.

De temperatuur is af te leiden uit de zuurstofisotopenverhoudingen. Men moet daarbij bedenken dat er in de loop van een afwisseling van glacialen (ijstijden) en interglacialen (tussenijstijden) een stockering van lichte zuurstof zal plaatsvinden in de ijskappen tijdens hun opbouw in de glacialen, en dat er ten gevolge daarvan een verzwarende van de zuurstofisotopen zal optreden in de carbonaatschelpjes van organismen die in de oceanen leven. Deze situatie is omgekeerd in de warmere interglacialen.

De gassamenstelling van de atmosfeer is af te leiden uit de lucht die tussen sneeuwvlokken werd gevangen. Met het herkristalliseren tot ijs bleven ze bewaard als kleine luchtbelletjes in het ijs van de ijskappen en de gletsjers. Bij een dergelijke analyse van fossiele lucht volgen merkwaardig genoeg zowel methaan als koolstofdioxide *samen* zeer nauwgezet het temperatuurverloop. Merkwaardig genoeg, omdat methaan wellicht hoofdzakelijk van continentale origine is, maar koolstofdioxide in de lucht vooral met het oceanwater wordt uitgewisseld. Moerasgas bestaat uit methaan, en er liggen ook enorme hoeveelheden methaan als vaste gaswaterverbindingen (clathraten) onder de permafrosten, hoewel deze clathraten ook onder de oceanen in de sedimenten voorkomen.

Hoewel het analytisch in de ijskernen niet mogelijk is uit te maken of de temperatuur dan wel de gassen het eerst veranderden, moet men logischerwijze aannemen dat de gassamenstellingen de temperatuur volgden. Het zou uiterst bizar zijn dat de gassen van zowel continentale als mariene origine netjes synchroon evolueerden als ze niet het gevolg maar de oorzaak waren van de klimaatveranderingen. Na de uitbarsting van de Pinatubovulkaan heeft men in 1991-1992 analoog vastgesteld dat de toename in de stijgende trend van het koolstofdioxidegehalte sterk afnam samen met de iets dalende temperatuur, het bekende gevolg van de stofdeeltjes en de aerosolen die door de vulkaan de lucht worden ingeslingerd. Dit is dus ook een atmosferische koolstofdioxide-hoeveelheid die het gevolg lijkt te zijn van de temperatuur-

verandering.

In de laatste ijstijd treden er ongeveer vijftien fluctuaties op, met intervallen van 1500 tot 4000 jaar. Merkwaardig is ook dat er zich eveneens zeer plotse-linge klimaatveranderingen voordeden, waardoor een koude periode naar een warmere evolueert, met zelfs temperatuurstijgingen van zowat 5° C of meer in de lucht boven de ijskap, en dat binnen een tijdsbestek van nauwelijks vijftig tot honderd jaar. De koude periodes tonen ook snel na het intreden van de koude een verhoogd lössachtig stofgehalte in de ijskernen. Wellicht tast de koude het plantendek aan en krijgt de wind zo vrij spel om in deze koude woestijnen bodempartikels op te waaien.

Deze reconstructie is tot nog toe goed bekend uit de laatste twee ijstijden en uit het huidige en het vorige interglaciaal (Eem-tijd). Gedurende dat laatste was de temperatuur op het noordelijk halfrond twee tot drie graden warmer en lag ook de zeespiegel iets hoger dan in het interglaciaal waarin wij nu leven. Het klimaatverloop op beide halfronden lijkt daarbij synchroon te verlopen. Dat is niet vanzelfsprekend aangezien de warmteproductie door de zonnestralen niet dezelfde is wegens de andere land-oceanverdeling in het noordelijk en zuidelijk halfrond.

De vroegere periodiciteit van het Plio-Pleistoceen –

Aan de hand van de zuurstofisotopen in de kalkschelpjes uit de oceaansedimenten kan men ook de temperatuurevolutie en de ijsopbouw en afsmeltingsgeschiedenis verder terug in het huidige ijstijdvak volgen. Ook de studie van de fossiele planten en dieren en de structuren in de sedimenten bevestigen de systematische afwisseling van koude en warme tijden. In ons gebied start de afkoeling ongeveer 2,5 miljoen jaar geleden. Uit die gegevens blijkt dat het hoofdrilme van de afwisseling uit perioden van 100.000 jaar bestaat, met daarbovenop gesuperponeerd nog periodes met een uitgesproken hogere frequentie van een warm-koudafwisseling. Het verloop van een glaciale cyclus is duidelijk asymmetrisch met een geleidelijke ijsopbouw naar een glaciaal maximum en daarna een snelle afbouw van ijs. De periodiciteit van 100.000 jaar verloopt bijna exemplarisch sinds ongeveer 600.000 jaar.

Waren er ook ijstijden in de vroegere ijstijdvakken?

– Dat er ook in het Carboon-Perm-ijstijdvak gelijkaardige periodiciteiten voorkwamen, blijkt op een zeer directe wijze uit de van oudsher bekende ritmische sedimentopbouw, waarbij in iedere cyclus een koollaag voorkomt. Dit zijn de zogenaamde cyclothemmen van de steenkoolterreinen.

De uitgesproken periodiciteit, de aanwezigheid van die periodiciteiten op verschillende tijdschalen, de relatie van de sedimentopeenvolging in een cyclus met wat theoretisch tijdens een relatieve zeespiegelcyclus verwacht kan worden, hun zeer grote correleerbaarheid en hun aantal in het stratigrafische interval van het Carboon maken het mogelijk te besluiten

dat de dominante cyclotheemperiodiciteit beantwoordt aan de cyclus van 100.000 jaar.

Klimaatperiodiciteiten tijdens broeikasperioden

Het voorbeeld van de Krijttijd – De afzettingen uit de Krijttijd worden gekenmerkt door een opvallend grote aanwezigheid van krijt, een biogene afzetting. Dat heeft te maken met de hoge zeespiegel die de landmassa met haar detritische sedimenten aan de rand sterk reduceert, een zeer warm klimaat dat een grote productiviteit geeft en een sterk afgeplat reliëf. Deze afzettingen worden echter evenzeer gekenmerkt door de aanwezigheid van regelmatig gespatieerde banken vuursteenknollen en van minder opvallende, ook regelmatig gespatieerde maar iets meer aaneengekitte banken (*hardgrounds*). Dit zijn submariene verhardingen van de zeebodem door een tijdelijke, sterke vertraging van de sedimentatiesnelheid. Reeds in zeer vele opeenvolgingen van sedimentaire lagen heeft men via spectraalanalysen (van het type Fourier- of Walsh-analyse) in de sedimentopbouw regelmatige periodiciteiten kunnen afleiden. Die kunnen met goed gedefinieerde biostratigrafische horizonten geïdentificeerd worden aan de tijdschaal. Het resultaat voor deze bandenstructuur in het Krijt is een periodiciteit van circa 20.000 jaar.

De Rupeliaan Boomse Klei in het afkoelende Tertiaire klimaat – De verkoelende trend tussen het vroeg-Eoceen en het huidige Plio-Pleistocene ijstijdvak wordt goed aangetoond door de zwaarder wordende zuurstofisotopensamenstelling van de kalkschalige microfossielen, vooral van de benthonische foraminifera die de bodemtemperatuur van de oceaan registreren. Deze evolutie in de oceanen wordt bevestigd door een gelijkaardige trend in de paleotemperaturen voor de grote continenten van het noordelijk halfrond. Die worden afgeleid uit de flora.

Beide soorten gegevens tonen een dramatische afkoeling bij het begin van het Oligoceen, het begin ook van de Rupeliaantijd. Onderzoek van de sedimenten rond Antarctica heeft eveneens bevestigd dat met de aanvang van de Rupeliaantijd op Antarctica ijskappen zijn begonnen te groeien en te krimpen.

De groei en krimp van ijskappen heeft uiteraard invloed op de zeespiegel. Voor iedere 400.000 km³ ijs staat ongeveer één meter globale (of eustatische) zeespiegelverandering. (Terzijde: momenteel is er zo'n 25 à 30 miljoen km³ ijs op aarde. Tijdens de laatste ijstijd van maximum 18.000 jaar geleden wordt dat geschat op 80 miljoen km³, op basis van de verbreiding van de morenes en de vereiste ijsdikte om ijskapspreiding te krijgen.)

De invloed van de veranderende zeespiegel in het Rupeliaan is opvallend mooi zichtbaar in de korrelgrootte-banden en de banden organische stof van de Boomse Klei die ontsloten is in de uitgravingen van de grote steenbakkerijen langs de Rupel. Sedimentologische, mineralogische en geochemische gegevens bevestigen deze interpretatie. Spectraalanalyse

toont dat de banden gevormd zijn door een dominante periode van zowat 100.000 en een ondergeschikte van nagenoeg 40.000 jaar. De analyse van de andere parameters, zoals de sedimentaanvoer en de zuurstof- en koolstofisotopenvariatie in de schelpen, toont daarnaast nog een duidelijke periode van 400.000 jaar. Daarnaast zijn er sedimentologische criteria, en ook weer isotopenargumenten, om twee grootschalige eustatische sequenties te onderscheiden van ongeveer twee miljoen jaar. Geochemische, mineralogische en isotopencriteria tonen nog supplementaire cycli van een half tot één miljoen jaar. Al deze cycli kan men beschouwen als het antwoord in de sedimentsamenstelling van klimaatgedreven zeespiegelveranderingen van verschillende periodiciteit.

Periodiciteitsonderzoek in andere sedimentaire afzettingen: de sedimentaire bundels van verschillende orde – De globale veranderingen in de zeespiegel door de geologische geschiedenis kunnen afgeleid worden uit de wisselende geometrie van goed aflijnbare sedimentbundels die in de geofysische beelden van sedimentaire bekkens geobserveerd worden. De bundels vormen de basis van de sequentiestratigrafie en ze hebben periodiciteiten die variëren tussen ongeveer een half miljoen en drie miljoen jaar. Ze worden veroorzaakt door zeespiegelschommelingen waarvan zeker een groot deel eustatisch van aard is. In de opinie van de ontwerpers van de methode wijst de snelheid waarmee ze ontstaan en eindigen op glacio-eustatische, uitwisselingen tussen oceaanwater en opgeslagen ijsvolumes. Andere onderzoekers menen dat ook wisselende tektonische spanningen verantwoordelijk kunnen zijn voor de veranderingen in de zeespiegel. De grote regelmaat daarin maakt dit mechanisme echter minder aantrekkelijk als verklaring voor de opeenvolgende zeespiegelvariatiën.

De enveloppe van deze sequenties laat een variërende zeespiegel zien met een lagere frequentie. Deze laagfrequente variaties zijn wellicht te wijten aan variaties in het spreidingsritme van de oceanen en de daarbij geproduceerde volumes gesteenten aan de midden-oceanische ruggen (tektono-eustatische). Het is niet ondenkbaar dat de afstand tussen de enveloppe en de hoogfrequenter curve een maat is voor de hoeveelheid ijs die opgeslagen lag in kappen en gletsjers op aarde. De enveloppe van de laagfrequente variaties toont een nieuwe grootschalige primaire fluctuatie. Die komt overeen met de zeespiegelvariatie die de afwisseling van broeikas- en ijskastijden vergezelde.

Het is dus merkwaardig dat er ook buiten de ijstijdvakken op een systematische manier een periodische opbouw bestaat van sedimentseries. Die heeft wellicht te maken met een variërende eustatische zeespiegel ten gevolge van ijs-wateruitwisselingen.

De oorzaken van de klimaatveranderingen binnen de ijskast- en broeikas-tijden: de invloed van de Milankovitch-orbitaalparameters – De astronoom Milutin

Milankovitch toonde in de eerste helft van deze eeuw aan dat de periodiciteiten in de vorm van de baan van de aarde rond de zon (100.000 jaar), van de obliquiteit van de aardrotatieas (40.000 jaar) en van de precessie van de rotatieas (23.000 jaar) een invloed hebben op de ontvangen warmte op aarde. De excentriciteit van de aardbaan rond de zon regelt immers de afstand tot de warmtebron, en obliquiteit en precessie beïnvloeden de amplitude van de seizoensondercheiden. Samen met de land-watervedeling zorgen ze voor een klimaateffect op aarde. Aangezien deze astronomische variaties voorspelbaar zijn, zullen ook de resulterende klimaatcycli dat zijn. Dergelijke klimaatvariatiën van de orbitaalparameters worden nu algemeen de Milankovitch-cycli genoemd. Deze theorie werd eigenlijk voor het eerst geformuleerd door de Schot James Croll in de vorige eeuw.

Hoewel men aanvankelijk meende dat de variatie in de hoeveelheid inkomende zonne-energie te klein was om klimaatfluctuaties te veroorzaken, hebben vooral de observaties in kernen van oceanische sedimenten onomstotelijk bewezen dat een teken van de Milankovitch-periodiciteit in de afzettingen terug te vinden is. Dat ligt in de aard van de sedimenten, en vooral in de variërende isotopensamenstelling van zuurstof die de variërende ijsopbouw documenteert. Het is ondertussen duidelijk geworden dat de polslag van de ijstijden, zoals men die uit observaties op het land kan reconstrueren, ook vrij nauwkeurig een cyclus van 100.000 jaar volgt. Hoewel de excentriciteitscyclus van 100.000 jaar zeker niet de belangrijkste directe klimaatbeïnvloeder geweest kan zijn, wordt deze periodiciteit toch duidelijk als de puls van de ijstijden geregistreerd. De beste uitleg hiervoor is dat er een versterking is van de afkoeling door het verschijnen van ijsmassa's die op hun beurt voor een toenemend albedo en dus een toenemend warmteverlies zorgen. Omgekeerd kan men daarom ook stellen dat de dominantie van de excentriciteitscycli die hierboven in de Rupeliaan Boomse Klei werd aangetoond, veroorzaakt werd door de zeespiegelfluctuaties ten gevolge van de belangrijke ijsuitbreidingen op Antarctica toentertijd.

De warmte, die via de zon op aarde toekomt, wordt over de aardbol herverdeeld via de circulatie van de lucht in de atmosfeer en van het water in de oceanen. Dat is ongetwijfeld de reden waarom de klimaatgeschiedenis tijdens het Pleistocene ijstijdvak op beide halfronden van de aarde synchroon verloopt, terwijl de orbitaalparameterinvloed verschillend is. Het is de invloed op het noordelijk halfrond die de veranderingen over de hele aarde bepaalt. Zo is het ook begrijpelijk dat klimaatmodellen aantonen dat grootschalige fenomenen, zoals de vorming van het Tibetaans Plateau in het vroeg-Tertiair, ook een klimaatinvloed hebben gehad die tot in Europa reikte, en dat vanwege de invloed op de luchtcirculatiepatronen.

Behalve de bekende luchtstromingen kan men ook de oppervlakkige en diepe oceaanstroomingen als grote energietransportbanden zien. Als de Golfstroom in de noordelijke Atlantische Oceaan van het zuiden naar het noorden beweegt en daar afkoelt, transporteert zij warmte die in het noorden afgegeven wordt aan de atmosfeer. De westenwinden zorgen voor het verdere transport van die extra warmte over Noord-Europa. De afkoelende en verdampende wateren worden tegelijk zouter en zinken daardoor weg naar de diepte. In de noordelijke Atlantische Oceaan gebeurt dat tussen IJsland en Groenland met een debiet dat zowat twintigmaal groter is dan alle rivierdebieten op aarde samen.

Toen er aan het eind van de laatste ijstijd, tijdens de Jongere Dryastijd, in dat Noord-Atlantische gebied te veel smeltwater in zee stroomde, werd de oceaanttransportband voor korte tijd stilgelegd en vestigde er zich daardoor weer een kouder klimaat boven Noord-Europa. Er zijn aanwijzingen in de sedimenten en in de geochemie van de benthonische oceanische organismen dat de ijstijden wel eens zouden kunnen overeenkomen met twee wijzen van functioneren van de oceaan, waarbij een essentieel onderscheid de noordelijke uitbreiding zou kunnen zijn van de zinkingsplaats van de Noord-Atlantische diepwaterstroom. Het spreekt vanzelf dat ook tektonische plaatherschikkingen in de loop van de aardgeschiedenis voor belangrijke wijzigingen in de diepe oceanische circulatiepatronen gezorgd hebben.

Als de Milankovitch-periodiciteiten de waargenomen afwisseling tussen ijstijden en tussenijstijden verklaren en anderzijds methaan en koolstofdioxide samen, zoals reeds werd besproken, covariëren met de detailtemperatuurverschillen die tijdens de laatste 160.000 jaar in ijskernen werden gemeten, moeten de verhoogde gehalten aan koolstofdioxide en methaan een gevolg zijn van een veranderend klimaat, eerder dan een oorzaak. Dit werd hierboven ook al gesuggereerd op basis van de verschillende herkomst van deze gasen. Dit is in tegenstelling met de rol van koolstofdioxide als oorzaak van de afwisseling van broeikas- en ijskastijden in het hierboven besproken model.

Milankovitch-periodiciteiten worden momenteel ook systematisch teruggevonden in sedimentafzettingen die niet aan ijstijdvakken gebonden zijn. De zo bekende sedimentaire cycli lijken na een tijdsijking van de spectraalanalyse, via bio- of geochronologische technieken, vaak obliquiteit- en precessiecycli te zijn. Zo zijn de vuursteenbanken en de *hardgrounds* in de krijtsedimentatie precessiecycli. Hoe de orbitaalparameters uiteindelijk de sedimentatie beïnvloeden, is vaak een punt van discussie. Het kan gaan om een rechtstreekse klimaatcontrole, bijvoorbeeld via het type sediment of de golfparameters van de zee, maar het kan ook een verandering zijn in sedimentatiesnelheid of variaties in de productiviteit van organismen...

Met de Milankovitch-invloed heeft men ook de mogelijkheid om via de voorspelbare evolutie van de orbitaalparameters het klimaat te voorspellen. Volgens deze berekeningen moet onze huidige tussenijstijd afgelost worden door een volgende ijstijd.

Waarom zijn er niet altijd ijstijden?

Drempels om een ijskastijd in te zetten – Als de Milankovitch-orbitaalcycli het klimaat op aarde kunnen controleren, rijst onmiddellijk de vraag waarom er niet altijd een afwisseling is van ijstijden en tussenijstijden, maar integendeel van broeikastijden en ijstijdvakken. Vooreerst moet opgemerkt worden dat de orbitaalparameters indirect werken en door sedimentologische processen als het ware naar de geologische lagen vertaald worden. Bovendien wordt de warmte aan het aardoppervlak nog eens herverdeeld via de lucht- en de oceaanstroomingen. Doordat er dus heel wat elementen optreden om de veranderingen in de orbitaalparameters in een effectieve klimaatvariatie om te zetten, kunnen er drempels ontstaan die het effect erg beïnvloeden. Die zullen bepalen of er al dan niet een grootschalige ijsuitbreiding zal plaatsvinden.

Dat de Milankovitch-cycli ook buiten de ijstijdvakken een rol spelen, wordt overtuigend aangetoond door de spectraalanalyse van sedimentaire cycli uit broeikastijden die obliquiteit- en precessiecycli tot uiting brengen. Daarom moet inderdaad aangenomen worden dat er een drempel overschreden moet worden om met een blijvende ijskapopbouw te starten.

Die extra afkoeling kan worden geleverd door de dalende koolstofdioxidegehalten ten gevolge van een verminderde vulkanische activiteit, zoals hierboven besproken werd, met daarbovenop bijvoorbeeld de aanwezigheid van landmassa's in plaats van oceaantwater op de polen. Het kan ook door gewijzigde diepe oceaanstroomingen ten gevolge van de plaattektonische evolutie of nog, zoals een oude hypothese het reeds formuleerde, door de extra consumptie van koolstofdioxide door een massa nieuwe gesteenten die een bergvorming aan verwerking onderwerpt. IJstijdvakken worden immers steeds voorafgegaan door perioden met belangrijke bergvorming, die dan op haar beurt weer leidt tot de vorming van supercontinenten.

De drempels voor de afkoeling sinds het Midden-Tertiair – Het verloop van de zuurstofisotopencurve van de kalkschalige microfossielen toont een regelmatige afkoeling sinds de warme vroeg-Eoceentijd. Maar er zijn ook bijzonder markante sprongen in die afkoeling: bij de aanvang van het Oligoceen, tijdens het midden-Mioceen en in het Plioceen.

De aanvang van de Oligoceentijd valt samen met een herschikking van de oceanische stromen rond Antarctica. Die is bijna zeker het gevolg van de plaattektonische scheiding tussen Antarctica en Australië, die op dat ogenblik ook begint tussen Antarctica en Zuid-Amerika. In het laat-Eoceen werd nog veel vocht ge-

leverd uit de omliggende, nog relatief warme randzeeën voor de aanmaak van kleinere ijskappen op het Zuidpoolcontinent. Vanaf het vroeg-Oligoceen echter kunnen de eerste diepe koudwaterstromen grotendeels rond Antarctica blijven vloeien door de scheiding met Australië. Tegen het laat-Oligoceen bestond er een continue circum-Antarctische koudwaterstroom. Dat leidde tot de koude isolatie van Antarctica. De opbouw van de zich uitbreidende en terugtrekkende ijskappen volgens het ritme van de Milankovitch-periodiciteit vindt men terug in het bandenspectrum van de Boomse Klei. Dat uit zich door verschillende sedimentsamenstellingen die op hun beurt veroorzaakt zijn door wisselende zeespiegels en geochemische en mineralogische variaties. Die hebben dan weer te maken met de grotere of kleinere invloed van rivierwaterbijmenging aan de rand van de Noordzee in die tijd.

De tweede grote afkoeling bij het begin van het Tortoniaan, tegen het einde van de Miocene tijd, komt wellicht overeen met een spectaculaire zeespiegel-daling die sequentiestratigrafen rond die tijd hebben kunnen afleiden. Er zijn meerdere nauwe oceanische doorgangen die toen een rol gespeeld kunnen hebben bij het zich wijzigen van het oceanische circulatiepatroon: de Straat van Gibraltar, de Noorse Zee en de Straat van Denemarken, de doorgang van de Caraïben naar de Stille Oceaan en de doorgang tussen Zuid-Amerika en Antarctica (Drake Passage), die nu volledig open kwam.

De derde belangrijke afkoeling zet dan in tijdens het Pliocene, met in onze gebieden de sporen van de eerste grote koude in sedimenten die ongeveer 2,4 miljoen jaar oud zijn.

De klimaatvariabiliteit in het huidige interglaciaal: het Holoceen

Inkrimpingen en uitbreidingen van gletsjers – De veranderingen in de positie van het uiteinde van een gletsjer kunnen afgeleid worden uit de uitbreiding van het gletsjerpuin, op voorwaarde dat het dateerbaar is. Opvallend is dat de geschiedenis van het Holoceen verschillende ijsuitbreidingen laat zien, waarvan de laatste de welbekende Kleine IJstijd is. Die is historisch goed gedocumenteerd en eindigt eigenlijk pas in de 19de eeuw. Deze veranderingen gaan goed samen met veranderingen in de zonneactiviteit, zoals men die kan afleiden uit koolstof- en beryllium-isotopensamenstellingen, bijvoorbeeld in hout dat men via dendrochronologie heeft kunnen dateren en in ijs. Deze isotopen worden hoog in de atmosfeer aangemaakt door het beschieten van de stikstof en de zuurstof met kosmische stralen. De intensiteit van die laatste in onze hoge atmosfeer wordt bepaald door de sterkte van het magnetisch veld van de zon. Een actieve zon met veel zonnevlekken betekent een sterk magnetisch veld van de zon, daardoor het afbuigen van de kosmische stralen weg van de aarde en daardoor dan weer een kleinere productie van de vermelde isotopen. Bij zwakke zonneactiviteit stelt men een uitbrei-

ding van de gletsjers vast. De relatie tussen de kosmische straling en het klimaat ligt in de invloed die kosmische partikels op de wolkenvorming hebben: meer kosmische partikels betekent meer wolkenvorming. Het verschijnsel dat röntgenstraling of straling van subatomaire deeltjes wolkenvorming kan initiëren is reeds lang bekend. Satellietwaarnemingen hebben aangetoond dat meer wolken voor meer afkoeling zorgen.

Deze zonneactiviteitscyclus is niet alleen waarneembaar in het Holoceen. In meerafzettingen uit een glaciaal van de laat-Precambrië ijstijd werden seizoensvarven gevonden met periodisch wisselende sedimentdiktes. Door de seizoensonderscheiden tussen de sedimenten zijn de cycli niet alleen goed zichtbaar, maar zijn ook de periodiciteiten goed dateerbaar. Er zijn goed waarneembare cycli van 11-12 en 22-24 jaar. Dat bewijst dat de zonnevlekkencycli ook reeds in de vroegere aardgeschiedenis een belangrijke rol speelden in het klimaat, zoals dat in het Holoceen duidelijk aantoonbaar is.

De Holoceen klimaat-evolutie – De warmste periode in het Holoceen was tijdens het Atlanticum, zowat 5000 tot 8000 jaar geleden. De temperaturen waren er 1 à 2 graden warmer dan nu en ook de zeespiegel lag lager. Het blijft dan relatief warm tot ongeveer 1500 jaar voor onze tijdrekening, waarna een koelere tijd inzet die met kleinere fluctuaties zowat duizend jaar aanhoudt. Vervolgens stijgt de temperatuur weer wat tot rond het begin van onze tijdrekening om dan tijdens de Romeinse tijd weer af te koelen. Het volgende warme optimum is het Middeleeuws of Viking-optimum, met een piek tussen ongeveer de jaren 900 en 1300 van onze tijdrekening. Daarna volgt de Kleine IJstijd, die duurt tot zowat de helft van de vorige eeuw. De huidige verwarming en ook de toename van koolstofdioxide in de atmosfeer, die zo vaak geassocieerd wordt met het begin van de industriële ontwikkeling van onze samenleving, valt ongetwijfeld ook samen met de natuurlijke opwarming van het klimaat na de Kleine IJstijd-fluctuatie.

De klimaatfluctuaties tijdens het Holoceen hebben ongetwijfeld bekende verhalen en historische ontwikkelingen mee bepaald: het verhaal van de zondvloed, de ontvolking van de Sahara, de ondergang van de Harappa-cultuur in de Indusvallei, de kolonisatie van Groenland en IJsland ...

Er zijn ook nog aperiodische klimaatveranderingen, bijvoorbeeld ten gevolge van vulkaanuitbarstingen. Die brengen stof en zwavelaërosolen in de lucht. Van grote uitbarstingen is bekend dat ze langer dan een jaar tot meer dan een graad afkoeling kunnen leiden. Vulkaanuitbarstingen kunnen in ijskernen herkend worden aan de zuurtegraad van het ijs.

Naast de toch nog langdurige cycli van klimaatfluctuatie in het Holoceen die hierboven werden beschreven, zijn er ook op kortere termijn kleinere variaties in temperatuur, neerslag of droogte. Er zijn periodische klimaatfluctuaties waargenomen over enkele

le tientallen jaren. De bekendste en meest regelmatige is zeker de elfjarige cyclus, die zonder enige twijfel wordt veroorzaakt door een wisselende zonneactiviteit. Deense onderzoekers hebben aangetoond dat er een bijna perfecte correlatie is tussen de precieze lengte van de zonnecyclus en de temperatuurstijging die sinds het einde van de 19de eeuw werd waargenomen. Het mechanisme verloopt via de kosmische straling en de daaruit voortspruitende wolken-

vorming, die op haar beurt de temperatuur controleert. Een kwantitatieve benadering van dit fenomeen toont dat het mogelijk is het volledige effect van het toegenomen broeikaseffect zoals het berekend wordt in de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, onder leiding van de VN, Milieuprogramma en de Wereld Meteorologische Organisatie) te verklaren!

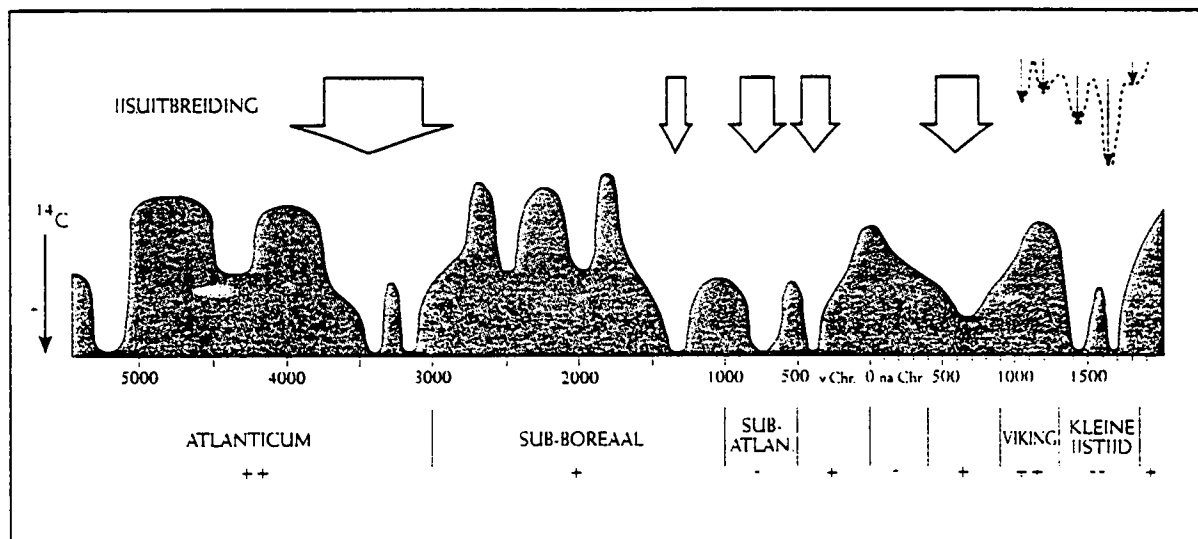


Fig. 3 De klimaatevolutie in de huidige tussenijstijd, het Holocene, met de samenhang tussen de ijsuitbreidingen en de hoge gehalten aan radioactief koolstof. De oudste ijsuitbreiding is gebaseerd op een mondiale inventaris, de jongere en kortstondigere ijsuitbreidingen weerspiegelen de evolutie in de Alpen, en de ijsuitbreidingen tijdens de Kleine IJstijden zijn een weerspiegeling van historische klimaatwaarnemingen in Londen en Parijs

Conclusies

In de hele geologische geschiedenis varieert het klimaat periodisch met verschillende frequenties. Op zeer lange termijn is er een afwisseling van broeikas- en ijskastijden. Die lijkt verbonden met de plaattektonische activiteit en de daarmee verbonden vulkanische activiteit op aarde. Tijdens de ijskastijden is er een afwisseling van ijstijden en tussenijstijden met een puls van ongeveer 100.000 jaar, die indirect lijkt te worden gestuurd door astronomische orbitaalparameters. Om in een ijskastijd te belanden moet er een drempel overschreden worden, waardoor de grotere ijsuitbreiding permanent bewaard wordt. De mondiale vulkanische activiteit speelt hierin wellicht een rol; ook oceanische circulaties die bepaald zijn door de platentektoniek hebben wellicht een rol gespeeld bij de start van de huidige ijskastijd, terwijl het begin van de vorige mogelijk ook te maken heeft met de explosieve uitbreiding van de landplanten. Tijdens een ijstijd zijn er ook warmere pulsen en zelfs snelle temperatuuroenames gemeten van een

graad per decade. Tijdens de tussenijstijden, zoals die waarin wij momenteel leven, stelt men ook meerdere kleinere fluctuaties vast.

Een belangrijk onderzoeksresultaat van de laatste jaren is dat de invloed van de elfjarige zonnecyclus, waarvan ook sporen gevonden worden in zeer oude gesteenten, via de invloed op de kosmische straling en vervolgens op de wolkvorming, de waargenomen temperatuurfluctuaties van de laatste eeuw precies kan verklaren, zowel qua timing als qua hoeveelheid. Dit toont aan dat de bijdrage van de natuurlijke fluctuaties in de waargenomen temperatuurstijging van de afgelopen eeuw veel belangrijker is dan de IPCC-rapportering wil toegeven.

Deze bijdrage is met toestemming van de *Davidsonfonds Uitgeverij BV* overgenomen uit haar publicatie *De mens en zijn wereld morgen. Lessen voor de 21^{ste} eeuw.*

Van thermozuil tot zonnestralsingsmeter

C.H. Hoogendijk

Kipp & Zonen BV, Delft



Inleiding

Kipp & Zonen, opgericht in 1830 door P.J. Kipp, is de oudste nog bestaande instrumentenfabriek in Nederland. In de tamelijk lange geschiedenis is het bedrijf wel eens van eigenaar gewisseld. Zo is sinds de laatste vier jaar het bedrijf in handen van de Canadese firma SCI -TEC (Scientific - Technology). De naam Kipp & Zonen is het bedrijf wel gespaard gebleven.

De firma SCI -TEC is gevestigd in midden Canada in de plaats Saskatoon en produceert momenteel een tweetal producten. Het eerste product, genaamd de Brewer, is een UV zonnenspectrometer. Het tweede product een tank-vloeistofniveaumeter, heeft weer niets te maken met zonnestraling. Met name de Brewer sluit goed aan bij de categorie Kipp & Zonen producten, welke bestaat uit een verscheidenheid aan zonnestralsingsmeters. Het andere product is de recorder, die de laatste 100 jaar voor het bedrijf van grote betekenis is geweest.

Kipp & Zonen

In een leuk boekje getiteld 'Minder bekende Nederlandse uitvinders' las ik het volgende over P.J. Kipp. In de eerste alinea werd de vraag gesteld aan een buitenlandse toerist: 'Kent gij Vermeer?'. De buitenlandse toerist zou antwoorden: 'De schilder Vermeer afkomstig uit Delft'. Met recht zou die zelfde vraag gesteld kunnen worden: 'Kent u Kipp?'. Deze vraag zal helaas beantwoord blijven met: 'Nee, daar heb ik nooit van gehoord'. Het antwoord rest ons, wie P.J. Kipp dan was. Petrus Johannes Kipp werd geboren te Utrecht in het jaar 1808. Tweeëntwintig jaar later legde hij in Utrecht zijn apothekersexamen af. Na zijn studie vestigde hij zich in Delft, waar hij een eenvoudige apotheek begon, die in het begin nog weinig had te betekenen. Naast de apotheek, handelde hij die dagen in chemische en fysische toestellen. De firma waaruit de handel werd gedreven was genaamd 'Kipp'.

De uitvinding waarmee P.J. Kipp enige bekendheid kreeg was de door hem ontwikkelde gasgenerator. Later is deze generator ook wel het 'Kipp toestel of Kipp fles' genoemd. Het instrument werd in het jaar 1843 eigenlijk bij toeval ontwikkeld. Er bestond in die tijd een verschil van mening betreffende het aantonen van de giftige stof arsenicum bij vergiftigingen. De klassieke proef van Marsh werd hierop toegepast. Naar aanleiding van het onderzoek wist P.J. Kipp het Marsh toestel te verbeteren. Het toestel diende om zwavelwaterstof te maken. In die periode zijn er verscheidene toestellen ontworpen. De toestellen waren in het begin nogal groot en daardoor moeilijk te hanteren. Het instrument was 1 meter hoog en bestond volledig uit glas. Later zijn er kleinere exemplaren gebouwd van ongeveer 16 cm hoog.

Twee van zijn zoons waren ook in het vak en in het bedrijf terechtgekomen. Eén daarvan had meer affiniteit met het apothekersvak, de ander was meer toegelegd op de verkoop van chemische en fysische instrumenten. Toen in 1864 P.J. Kipp overleed stond er een tweedeling in het bedrijf. Het bedrijf, toen reeds genaamd Kipp & Zonen, werd opgesplitst. De apotheek bestaat nu nog steeds onder de naam Kipp. De zoon A.J. Kipp zette de handel in de instrumenten voort. In 1881 kwam op verzoek van A.J. Kipp de Dordtse instrumentmaker W.J. Giltay in de zaak. De meeste instrumenten werden niet zelf vervaardigd, maar werden vervaardigd door een Delftse instrumentenmaker genaamd Filbry.

Toen W.J. Giltay in de zaak kwam, werd het productenpakket flink uitgebreid. De catalogus vermeldde eind 19e eeuw ongeveer 650 producten. De handel in instrumenten vond niet alleen binnen de grenzen plaats. Er waren al handelsmissies naar het verre oosten (Japan, China, Nederlands Indië) en ook Zuid-Afrika. De uitbreiding van het productenpakket met o.a. de galvanometer, ontwikkeld door Prof. W.J.H. Moll in 1913, was een belangrijke stap voorwaarts.

Niet alleen de galvanometer werd door Prof. W.J.H. Moll meegebracht, maar ook de door hem ontwikkelde thermoziil. De thermoziil bestond reeds. Deze was uitgevonden in 1831, maar was te traag en te ongevoelig voor veel toepassingen. De door Moll ontwikkelde thermoziil was snel en gevoelig. Hij gebruikte vrijhangende zeer dunne metaalbandjes die werden gemonteerd tussen twee rijen van onafhankelijke pennetjes. Het daaruit ontwikkelde instrument bestond uit een voet met aan de bovenkant de sensor bestaande uit de thermoziil en een conische tube om het licht in te vangen. Dit was het eerste type stralingsmeter dat bij Kipp & Zonen in productie werd genomen.



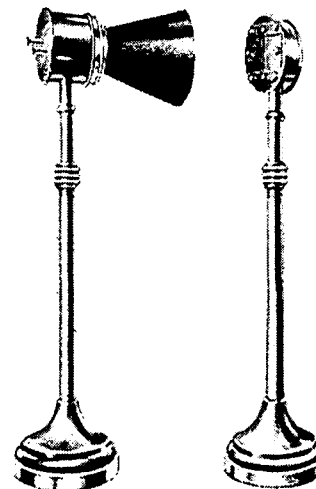
Een galvanometer is een meetinstrument voor het meten van een kleine stroom of spanning. Fundamentele onderdelen waren de twee draadgewonden spoelen, de twee kwarts draden en een spiegel in een spoeltje in de vorm van een raamwerk.

Het principe is gelijk aan de later ontwikkelde draaispoelmeter. De spiegel constructie werd gemonteerd tussen de kwarts draadjes. Dit is vergelijkbaar met de veerconstructie van de draaispoelmeter. Het opgewekte magneetveld in de twee draadgewonden spoelen, door het aanleggen van een lage spanning op de klemmen, wisten het parabolische spiegel in de vorm van een raamwerk te verdraaien. De maximale hoekverdraaiing was ongeveer 10 graden. Door nu het spiegel in te belichten met een externe lamp in combinatie met een eenvoudig afbeeldend lenzen systeem kon er een afbeelding worden gemaakt op een uitleesplaat die voorzien was van een schaalverdeling of een draaiende rol met fotografisch papier. De hoekverdraaiing van het spiegel in was op die manier direct een maat voor de stroom of spanning. Het systeem was zo gevoelig dat er makkelijk in het microvolt bereik mee kon worden gemeten.

De gehele ontwikkeling van de galvanometer en de invoer van de thermoziil was direct het begin van een nieuw tijdperk. Een belangrijke ontwikkeling voortkomend uit de galvanometer was de ontwikkeling van de recorder. De recorder is eigenlijk ontstaan uit een voortborduursel op de galvanometer. De galvanometer was immers het meetdeel. Het deel dat toen nog ontbrak, was het registrerende deel. De vraag om gegevens vast te leggen nam toe. De ontwikkeling van de recorder was hieruit direct het gevolg. De eerste recorders maakten gebruik van een grote rol fotografisch papier in een lichtdichte kast. Door een spleet viel de lichtbundel van de galvanometer op het papier. De recorders van een later tijd-

stip hadden een rol papier in zich met normaal papier en een eenvoudige inktpen. Begin deze eeuw werd de rol aangedreven door een tandwielconstructie met een opwindmechanisme. Later is het aandrijfmechanisme vervangen door een elektromotor.

De bandjes die tussen de pennetjes werden gemonteerd bestonden uit twee verschillende materialen, n.l. Manganine en Constantaan. De las tussen beiden zat precies in het midden. Het fysische principe is als volgt: bij een overgang naar een ander metaal treedt er een elektrische spannings-sprong op en wel zo dat het Manganine positief is t.o.v. het Constantaan. Daar er op de steunpunten voor de bandjes even grote tegengestelde spannings-sprongen optreden gaat er geen stroom lopen als er een voltmeter wordt aangesloten. Op het moment er een thermisch potentiaal ontstaat, gaat er evenredig een stroom lopen. Het thermisch potentiaal werd in dit geval gecreëerd door de absorptie van zonnestraling aan het thermoziiloppervlak.



De Moll thermoziil kwam begin jaren 30 meer in de belangstelling binnen de meteorologie. De Poolse meteoroloog Dr. W. Gorczyński, van het Poolse meteorologische instituut, woonde in 1923 een congres bij in Utrecht. Hij werd toen voor het eerst met de Moll zuil geconfronteerd. Hij nam een aantal exemplaren mee naar huis en construeerde daarmee een voor die tijd zeer gevoelige pyrheliometer en pyranometer ofwel solarimeter.

De zonnestralingsmeters die door Prof. Moll en Dr. W. Gorczyński werden ontwikkeld waren niet de eerste zonnestralingsmeters. De eerste zonnestralingsmeter die bekend is, was ontwikkeld door Pouillet in 1837. Het principe dat werd toegepast week af van de thermoziil constructie. Het instrument had meer iets weg van een calorimeter. Het bestond uit een buisje dat werd gevuld met een vloeistof (bijv. water). Het buisje werd aan de achterzijde afgesloten met een kurk met gat, waarin een thermometer werd geplaatst. De andere zijde van het buisje werd gezwart, mogelijk geroet, dit om een hoge absorptie van het zonlicht te verkrijgen. Het instrument werd tijdens gebruik in lijn gericht met de zon. Het geabsorbeerde zonlicht bracht vervolgens een temperatuurverandering teweeg, welk direct een maat was voor de geabsorbeerde hoeveelheid straling in W/m^2 . Het instrument was echter niet geschikt voor continu gebruik.

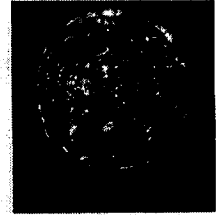
Stralingsmeters

Van de producten die in de afgelopen 170 jaar zijn verkocht zijn er nog een tweetal overgebleven: de recorder en de zonnestralsingsmeter. Het productenpakket van zonnestralsingsmeters is inmiddels uitgebreid tot ruim 20 typen. Het aantal zonnestralsingsmeters groeit. Het aantal toepassingen neemt toe, maar wat wordt er eigenlijk gemeten en hoe gaat dat in z'n werk?

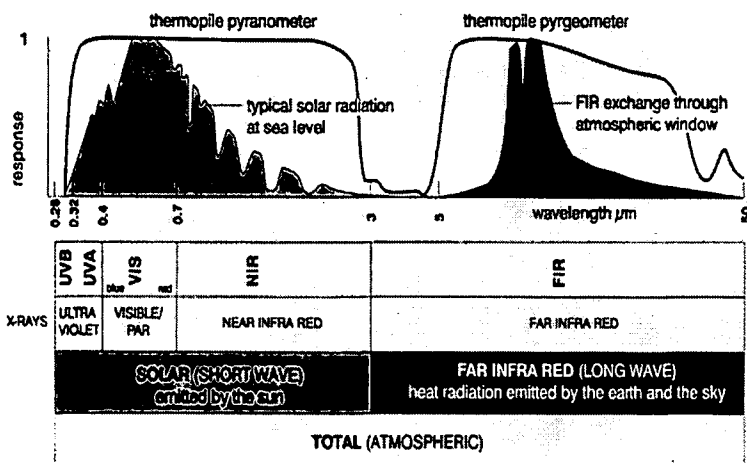
Om bij het begrip zonnestraling te beginnen. De zon is in feite één grote fusiereactor. Nu is er altijd gedacht dat het uitgestraalde vermogen van de zon een constante was. In zekere zin is dit ook het geval. Aan het begin van deze eeuw is hier al onderzoek naar gedaan. Theoretisch valt de zonneconstante bij benadering te berekenen. Overigens, de zonneconstante is een getal dat wordt uitgedrukt in het aantal Watt per vierkante meter. Als we de aarde als een platte schijf beschouwen met een straal van 6.371.000 m kan het oppervlak eenvoudig worden berekend. Door nu de hoeveelheid straling die de aardatmosfeer bereikt te delen door dit oppervlak komen we op een getal van 1333 W/m². Toen in 1978 de NASA een eerste satelliet lanceerde voor onder meer onderzoek naar de zon, kon de zonneconstante eindelijk nauwkeurig

worden gemeten. De waarde van 1366 W/m² die toen werd gemeten kwam overigens aardig overeen met wat de wetenschappers in een eerdere periode hadden berekend en gemeten. Een tweede punt kwam later aan het licht: de aanname dat de zonnestraling constant zou zijn is niet juist. Dit blijkt uit de metingen die nu al bijna 22 jaar worden uitgevoerd. Het verloop rond de 1366 W/m² is ongeveer 8 W/m².

De buitenmantel van de zon heeft een temperatuur van ongeveer 5800K. De zon kan bij benadering als een zwartestraler worden beschouwd met een kleurtemperatuur van 5800K.



Dit betekent dat volgens de stralingswet van Max Planck, gerekend met het oppervlak de van de zon, de zon schijnt met een totaal vermogen van ongeveer $3,8 \cdot 10^{26}$ W. Dit is een enorm getal, echter een fractie van de elektromagnetische straling bereikt de aarde, met nog altijd een respectabele hoeveelheid straling van $1,7 \cdot 10^{17}$ W.



De golflengtegebieden kunnen als volgt worden onderverdeeld: van links naar rechts: UVB, UVA, VIS, NIR, FIR. De grootste hoeveelheid stralingsenergie bevindt zich in het zichtbare gebied.

De straling aan de rechterzijde behoort niet tot de directe zonnestraling, maar deze is hierop wel indirect van invloed. Deze aardse langgolvlige straling is voor het bestaan op aarde van levensbelang en daardoor weer interessant voor de meteorologie. De buit die duidelijk zichtbaar is, is kenmerkend voor de aardse uitstraling in het atmosferische venster, wat zich bevindt tussen de 8 en 14 µm. In dit venster vindt nagenoeg geen energie absorptie plaats door de aanwezige waterdamp. Tevens betekent dit, dat de aarde mogelijk energie verliest aan het heelal. 's Winters is dit goed te merken wanneer het vriest. De hemel is dan vaak helder. Wanneer het bewolkt is zal er dan nagenoeg geen uitstraling zijn en zal de aarde minder snel afkoelen.

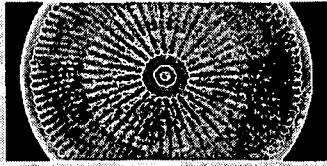
Het vraagstuk is beantwoord. Het begrip meten van zonnestraling is nu duidelijk? Nee, helaas of misschien maar goed ook heeft de aarde te maken met een grote versturende factor die onmisbaar is voor al het leven op aarde en tevens het meten van zonnestraling zeker meer interessant maakt. Deze factor wordt ook wel de atmosfeer genoemd. De zonnestraling die uiteindelijk het aardoppervlak bereikt is door de atmosfeer spectraal gezien aardig toegetakeld. Dit komt door de reflectie- en absorptieverliezen in de atmosferische soep van gassen en de aanwezige waterdamp. De grootste verliezen in de atmosfeer treden op als gevolg van reflectie en absorptie door waterdamp.

Binnen het volledige stralingsspectrum zijn door Kipp & Zonen in de loop der jaren zonnestralsingsme-

ters en atmosferische stralingsmeters ontwikkeld. Zo zijn er de UV radiometers, die gevoelig zijn in het smalle UV spectrum. De pyranometers daarentegen meten weer in een relatief breed zonnestralsingspectrum, waaronder het zichtbare deel. De derde groep wordt gevormd door de pyrgeometers. Deze meten langgolvlige straling, waaronder de atmosferische en aardse straling. De drie genoemde typen horen thuis in de groep globale stralingsmeters. Een ander voorbeeld is de pyrheliometer. Dit is een instrument dat direct op de zon wordt gericht en meet in het pyranometerspectrum. Het wordt daarom ook een directe stralingsmeter genoemd. Deze directe stralingsmeter wordt meestal in combinatie gebruikt met een zonnetracker, die in staat is om gedurende het gehele jaar de baan van de zon te volgen.

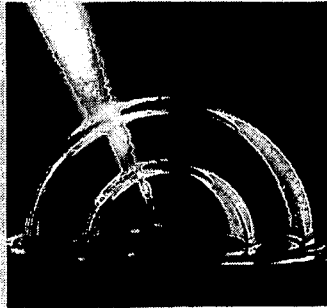
De detectoren die Kipp toepast zijn de thermozuil of de fotodiode. De techniek waarmee de thermozuil nu wordt vervaardigd is geavanceerder. De techniek laat het toe een thermozuil te creëren van een zeer hoge kwaliteit op een substraat van keramiek of kapton. U zult zich wel afvragen waarom gebruiken ze heden ten dagen nog die ouderwetse thermozuilen, met de halfgeleider techniek kun je toch de mooiste sensoren bouwen.

Dan kan ook heel goed, maar de thermozuil heeft spectraal gezien nog steeds een groot voordeel boven b.v. de fotodiode. De spectrale bandbreedte van de thermozuil dekt het volledige zonnenspectrum + het atmosferische stralingsspectrum. Dit komt mede door de speciale lak die wordt aangebracht op de thermozuil. Niet alleen dat de bandbreedte zeer breed is van een thermische sensor, maar ook dat deze spectraal niet selectief is. Met andere woorden de absorptie van de lak is over de totale bandbreedte gelijk. De thermozuil wordt in de pyranometers, pyrheliometers en in de pyrgeometers toegepast. De fotodiode daarentegen wordt toegepast in de UV sensoren en ander sensoren tot een golflengte van ongeveer 1000 nm. Een voordeel van een fotodiode in deze spectrale band is de hoge gevoeligheid. Omdat de UV spectrale band relatief smal is verdient een dergelijke diode de voorkeur. Het feit dat fotodioden alleen gebruikt worden in de relatief korte golflengte is het gevolg van de energieverdeling tussen de fotonen. Fotonen van een kortere golflengte hebben meer energie dan fotonen van een langere golflengte. Het principe van de fotodiode is gebaseerd op het lossaan van elektronen middels energie. Het is dan duidelijk dat er bij een lagere energie minder eenvoudig elektronen losgeslagen kunnen worden. Tegenwoordig breidt de fotodiode techniek zich wel steeds verder uit in het IR. Een nadelige eigenschap van de fotodiode is dat deze spectraal gezien niet vlak is, maar een gedrag vertoont volgens een op- en aflopende curve.



Indien de gewenste spectrale band niet direct wordt begrensd door de detector dan wordt er gebruikt gemaakt van een filter. Het filter dient tevens als afscherming van de detector. Bij de thermische detector (thermozuil) is deze afscherming essentieel.

Een belangrijke eigenschap van een filter is niet alleen dat deze spectraal doet wat gewenst is, maar soms ook een zekere lenswerking heeft. In het geval van de pyranometer worden twee filter bollen toegepast. In het geval van een UV sensor worden interferentiefilters toegepast.



Een interferentie filter kenmerkt zich als een dunne laagjes filter. Vaak worden meerdere laagjes van twee materialen opgedampt met verschillende brekingsindices. De filters die zijn aangebracht zijn kwetsbaar en bevinden zich altijd aan de binnenzijde van het instrument.

Over het algemeen lijken de zonnestralingssensoren veel op elkaar. De onderdelen waarmee de instrumenten zijn opgebouwd zijn in veel gevallen min of meer gelijk. Afhankelijk in welke band er straling wordt gemeten, hebben alle zonnestralingssensoren en atmosferische stralingssensoren van Kipp een aantal onderdelen gemeen. De belangrijkste onderdelen van de stralingssensoren zijn: de detector en het filter.

Het verhaal van de detector met het filter. Het lijkt allemaal zo eenvoudig. Dit is het absoluut niet. We hebben hier te maken met een meetinstrument. Omdat er mee gemeten moet worden, wordt er een bepaalde meetnauwkeurigheid van het instrument verwacht. Zonder meer de detector en het filter aan elkaar lijmen geeft vaak niet het gewenste resultaat. Er zijn een aantal belangrijke foutbronnen waar rekening mee moet worden gehouden. Dit zijn o.a.: IR dome offset, veranderingen in de omgevingstemperatuur, cosinus fout, temperatuurafhankelijkheid, niet-lineariteit, spectrale selectiviteit. Het totaal aan fouten die mogelijk optreden kunnen de zonnestralingssensoren onbruikbaar maken.

Het belangrijkste toepassingsgebied van de zonnestralingssensoren is binnen de meteorologie. Meteorologische instituten doen veel onderzoek naar de kli-

matologische omstandigheden en veranderingen op aarde. Wereldwijd onderzoeken dueren reeds tientallen jaren. Ondanks dat, blijkt het zeer lastig te zijn om bepaalde trends waar te nemen. Harde conclusies kunnen vaak daardoor niet worden getrokken op deze voor ons al relatief lange termijn. De instrumenten worden niet alleen voor meteorologische doeleinden gebruikt. De apparatuur wordt tevens gebruikt in de industrie. Wat momenteel actueel is, zijn de ontwikkelingen naar een duurzame en milieuvriendelijke energiewinning. Het gebruik van zonne-energie in combinatie met de zonnestralingssensoren is hiervan een goed voorbeeld. Voor de ontwikkelaar van het zonnepaneel is het interessant om de efficiëntie van het paneel te berekenen. Men is immers gebrand op een zo hoog mogelijk rendement. Dit kan uiteindelijk worden berekend uit de met de zonnestralingssensoren gemeten hoeveelheid energie die binnenvalt op het zonnepaneel.

De toepassingen van de apparatuur zijn veelzijdig en breiden zich steeds verder uit. De stelling van Kipp & Zonen is daarom ook: zolang de zon blijft stralen heeft Kipp & Zonen de wereld nog veel te bieden.

Het Global Positioning Systeem (GPS). Over navigatie, platentektoniek en het weer

H. van der Marel

TU Delft

Samenvatting

Het Global Positioning Systeem (GPS) is een satelliet-plaatsbepalingsysteem waarmee overal op aarde de positie is te bepalen met een nauwkeurigheid van beter dan 100 meter. Heel bijzonder is dat GPS ook op enkele millimeters nauwkeurig kan meten. Dit is mogelijk door tegelijkertijd met meerdere ontvangers te werken en gebruik te maken van de oorspronkelijke draaggolf.

GPS heeft daarom ook zijn weg gevonden naar de landmeetkunde, hydrografie, aardwetenschappen, oceanografie en meteorologie. Metingen met GPS worden bijvoorbeeld gebruikt voor het in kaart brengen van de platentektoniek en de zakking ten gevolge van aardgas- en oliewinning, of om de positie van andere satellieten (bijvoorbeeld altimeter-satellieten die de oceanen in kaart brengen) nauwkeurig te bepalen. Een recente toepassing van GPS is te vinden in de meteorologie. De atmosfeer vertraagt de GPS-signalen, en door deze vertragingen te meten is het mogelijk de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer te bepalen. De waterdamp is een belangrijke parameter in het klimaatonderzoek en voor het voorspellen van het weer.



In de lezing wordt eerst de werking van het GPS-systeem uitgelegd. Vervolgens wordt ingegaan op een aantal methoden en technieken om de nauwkeurigheid te verbeteren. Tot slot worden een aantal toepassingen besproken en resultaten getoond.

Website

De presentatie is te vinden op de volgende website:
<http://www.geo.tudelft.nl/woudschoten>

De presentatie is geschikt voor beeldschermen met 800x600 pixels. Er is ook een link naar een hogere resolutie en de oorspronkelijke powerpoint file opgenomen. Deze laatste is erg omvangrijk (>9Mb) en daarom wat minder geschikt om gedownload te worden.

Dr.ir. Hans van der Marel
Mathematical Geodesy and Positioning (MGP)
Faculty of Civil Engineering and Geosciences
Delft University of Technology
Adres: Thijssseweg 11, 2629 JA Delft
Tel.: 015-2784907
Email: H.vanderMarel@Geo.TUdelft.NL

Het weer, natuurkunde vol onzekerheden

J. Tuttel

Inleiding en probleemstelling

U heeft zich beziggehouden met 'Natuurkunde tussen hemel en aarde' en dat twee dagen lang. Op een hoog niveau ook, inclusief de lancering van een Ariane-raket aan de andere kant van de wereld.

Tegelijkertijd zaait een onooglijk vrouwtje uit een dorpje in de Betuwe paniek, door hevige stormen en verschrikkelijke overstromingen te voorzien. Zij laat waarschuwingen uitgaan die nationaal worden opgepikt door alle media. Ongeruste mensen bellen hun verzekeringsman, het KNMI en de politie en weten niet wat ze moeten doen. Sommigen wijken uit naar huisjes op hogere gronden. Het voorspelde natuurgeweld blijft uit op de eerstgenoemde datum, maar op een persconferentie meldt het medium Mariska vermoeid, doch standvastig: 'Wat niet is, zal komen'. Dat hele circus wordt gretig verslagen door zes cameraploegen en een meervoud aan fotojournalisten. 'Hoewel de vragen eenvoudig waren, bleven de antwoorden meestal uit', meldt het NRC-Handelsblad dan nog.

Het medium bemoeit zich óók met 'natuurkunde tussen hemel en aarde' en zij trekt meer aandacht en krijgt meer vertrouwen dan deze hele zaal vol vaklieden. Wetenschappers in de natuurkunde hebben een probleem – de natuurkunde heeft een probleem. Het gaat allemaal om feitelijke en voor ons bestaan op aarde zeer wezenlijke dingen, maar u heeft hier geen half dozijn TV-reportageploegen op bezoek gehad. 'Moet dat dan?', kunt u vragen. Jawel, denk ik. Ietsje minder mag best, maar je moet wel aan de bak komen in het communicatiepatroon.

Natuurkundigen weten en verklaren veel, maar zij houden hun twijfels. In uw eigen stukken hebt u kunnen lezen: 'Iedereen weet dat weersverwachtingen niet altijd uitkomen', waarna de verklaring volgt. Het ligt aan de atmosferische condities, het ligt dus aan het weer (even 'kort door de bocht' gezegd). Tuurlijk, dat weten u en ik wel – maar het publiek, uw klanten, uw leerlingen, uw collega's, willen zeker-



heid. Daarom is dat mediummensje Mariska zo'n wonderkind. Zij biedt vastigheid: 'Het gaat fout, uw huis komt onder water te staan. Ga maar mee naar veiliger oorden' (op bungalowpark Rabbitt Hill, of all places).

En als het even verkeerd uitkomt: 'Wat niet is, zal komen'. Geen moderne wetenschapper moet dat wagen te zeggen. Hij wordt gevierendeeld, zijn instituut wordt opgeheven en zijn discipline wordt als schoolvak geschrapt. Zijn partner wordt verbannen naar Nova Zembla en moet de ijsdrift gaan meten om de satellietmetingen te calibreren (want met die metingen wist je 't ook nooit zeker).

Broeikaseffect, El Niño, nieuwe ijstijd, Elfstedentocht: ja, wisten we het maar zeker. Hier zit 'm de crux van het verhaal. Er wordt geweldig veel gemeten, geweten en bewezen in de natuurkunde, maar het levert vooral gedonder op. Van Copernicus en Galilei vroeger, tot onze beide Nobelprijswinnaars natuurkunde, deze week nog. De natuurkunde is heel ver gekomen, maar de geleerden konden voor de TV niet in kort bestek uitleggen wat hun bekroonde werk inhield. Dat wekt gewoon weinig vertrouwen en je hebt wéér geen zekerheid.

Mensen vallen dan altijd terug op oude 'zekerheden' – voor waar aangenomen regels en wijsheden van vroeger – en zoeken naar vertrouwde boodschappers. Op het symposium vorige week over risico-communicatie, getiteld 'Het Zekere Van Het Onzekere' was de boodschap: zorg voor een open communicatie over de onzekerheden bij wetenschap en techniek!

Nou, dat is net waar u op zat te wachten na twee dagen rapportage van onderzoek, methoden demonstreren en andere vormen van kennisoverdracht. Doen we het weer niet goed? En nog gekker: hoe vertel ik het mijn leerlingen, hoe vertel ik het mijn kinderen? Je leert ze een aantal wetten, onderzoeksvaardigheden en zekerheden, voegt daar wat inzicht aan toe – en daarna moet je zeggen: 'Eh, maar het kan ook best zijn, dat er iets niet helemaal klopt...'

Ik neem u daarvoor verder mee naar het weer, naar de mix van moderne wetenschap en techniek, oud bijgeloof en communicatie met het publiek. Natuurkunde in het wild, eigenlijk – met weergoden om mee te beginnen.

Oorsprong en ontwikkeling van de meteorologie

Het draait allemaal om de zon als motor van het hele weerfeest. Zonder zon geen warmte, geen licht, geen voedsel, geen leven. Een rampzalig vooruitzicht, zodat onze verre oervoorvaders op slag religieus werden toen ze dat doorhadden. De zon, als moeder van alles op aarde, werd aanbeden in vele vormen en maten. Het laatste is heel duidelijk bij de vruchtbaarheidssymbolen. Dat zie je overal terug, bij prehistorische rotstekeningen in Zuid-Zweden tot godenbeeldjes in andere delen van de wereld.

De zonnegodsdiensten hebben het uitgehouden tot het christendom in ons werelddeel aan de macht kwam. In de vierde eeuw hebben bisschoppen de nog heersende zonnerituelen zelfs met geweld de kop ingedrukt. Ook de verering van levenbrengende bronnen en watertjes werd op die wijze sterk ontmoedigd. Een strijd die tot in de achtste eeuw doorging in de Noordelijke Nederlanden en aanpalend Duits en Deens gebied. Bonifacius schoot er zijn hachje bij in. En toen – was daarna de zon uit beeld en daarmee uit de harten van mensen?

Nooit een keer. Oude gebruiken die aan de seizoenen gebonden zijn, bestaan nog. Ook de tradities die de zon aanmoedigen om weer terug te komen en levenskracht te schenken. Ook de feesten die met een lichtje gepaard gaan in donkere tijden. Met onze Paasvuren in Oost-Nederland en verder Europa in, met de meivuren op de Waddeneilanden en de Sint-Jansvuren in Midden- en Zuid-Europa, het 'lichielopen' met Sint Maarten en de kaarsjes met kerst (midwinter dus), zijn we eigenlijk nog steeds bezig om de zon te vriend te houden.

De oeroude rituelen zijn er natuurlijk niet meer. Maar de erfenis wel. Ik wil daarmee zeggen: *die* zon – en ook de maan – blijven op een of andere manier in het cultuurpatroon van de moderne westerse wereld vast verankerd. Je kunt hem er niet uit losweken als zijnde 'een puur natuurkundig, wetenschappelijk verschijnsel'. De maanstanden bepalen nog steeds de joodse en de mohammedaanse kalenders, en bij ons ook de Paasdatum.

Zo is de weerkunde en de sterrenkunde en alles wat er achter weg komt, ontsproten aan waarnemingen die zowel praktisch (landbouwkundig, waterstaatskundig, navigatie) als godsdienstig van aard waren. Machtige en gevaarlijke natuurverschijnselen werden aan de goden toegeschreven. Donder en bliksem konden ja niet van aardse origine zijn? Zonsverduisteringen waren een ramp (nog trouwens: want afgelopen zomer heeft een moeder uit bijgeloof haar pasgeboren kind omgebracht, omdat het tijdens de zonsverduistering geboren werd!). In Athene staat de Toren Der Winden, als oudste meteorologische

monument uit de eerste eeuw voor het begin van de jaartelling. De acht voornaamste windrichtingen, die elk hun eigen type weer meebrachten, zijn verbeeld in acht windgoden.

Dat systeem van windrichtingen die het weerbeeld bepalen, heerst nog steeds in San Francisco. Het weer in en om de Baai van San Francisco wordt sterk gestuurd door de openingen in de omringende heuvel- en bergruggen. Elke windrichting levert een eigen type weer op.

Er speelt nóg wat mee in dit verhaal van oorsprong en ontwikkeling: de hemel, het uitspansel zelf. In het donker waren de sterren en vooral de maan opvallende, lichtende elementen, waar je houvast aan had. Zo kwam de 'astrometeorologie' van de grond, waarin men causale verbanden legde tussen de hemelverschijnselen en het aardse weerbeeld.

Al deze waarnemingen sinds de oude Grieken leverden een serie handleidingen op, ervaringsregels eigenlijk, die hardnekkig stand hebben gehouden tot op de dag van vandaag. De overlevering gebeurde aanvankelijk mondeling, maar in de middeleeuwen kwamen ze op schrift. En toen waren de rapen gaar, want je raakt ze nooit meer kwijt.

Al die oude regels en wijsheden duiken weer op nu het jaar 2000 zo aanbreekt. Nu liggen in de boekhandel weer diverse nieuwe drukken van de 100-jarige Boerenkalender van Knauer. Het is een geschrift met langjarige weersvoorspellingen en astrologische raadgevingen van Mauritius Knauer. Hij was abt van het klooster Langheim (Kreis Kulmbach) in Franken en hij publiceerde dit werk in de zeventiende eeuw. Het wordt nu gewoon weer voor zoete koek geslikt. Ze gaan als broodjes over de toonbank. In 1860 had dit boekje al 180 herdrukken beleefd. Toch zegt Knauer niks anders dan: 'dass alles Leben und Wachstum von den Einflüssen und Walten des Himmels und der Gestirne abhängt'. Astrometeorologisch bijgeloof van dik driehonderd jaar geleden en anno 2000 weer goede handel...

Er zijn natuurlijk andere weerregels, gebaseerd op feitelijke observaties. Maar dan kom je al in de buurt van de natuurkunde, in de richting van wetenschap en techniek.

De meteorologie komt op: ontdekkingen bij wetenschap en techniek

De groei van het meteovak en de daaraan ten grondslag liggende wetenschappelijke inzichten, vormen samen een boeiend verhaal. Je moet instrumenten hebben om te meten, en dan heb je weer een theorie nodig die de uitkomsten verklaart. En als 't communicatiesysteem van paard-en-wagen naar de telegraaf gaat, komt er een dimensie bij. Van 't een komt 't ander. Het steekt eenvoudig in elkaar, als je terugkijkt. De eerste stap is, met de pas uitgevonden instrumenten, reeksen van metingen op dezelfde stek te doen. Het blijkt dan handig om te kiezen voor eenzelfde meetsysteem, met vaste ijkpunten. Dat is nog steeds een moeilijk punt, want één mislukking van de Mars-

sondes, de Polarlander, schrijft men toe aan menselijke fouten – veroorzaakt doordat de makers deels met het metrische systeem werkten en anderen met de Engelse maat. Sinds Celsius en Fahrenheit is er niks nieuws onder de zon – maar 't is wel sneu en kostbaar.

De tweede stap in de meteo was het maken van meetreeksen op meerdere plekken tegelijk. Alweer een dimensie erbij. Pas toen de berichtenservice sneller ging, kon je een beeld krijgen van het weerpatroon in een groter gebied. De spoorwegen zorgden voor een uniforme tijdaanduiding die de lokale zonnetijden verving, en met de elektrische telegraaf kon je vanaf 1848 snel berichten overzenden.

De optische telegraaf met seinpalen op bergtoppen en kerktorens ging toen ter ziele. Vierhonderd kilometer oostelijk van hier, staat op de Burgberg (achter de Weser) de toren v/h 'Telegrafestation nr. 28 der Königlich-Preussische Optischen Telegraph' uit 1833 dit verhaal waar te maken.

Intussen was men er al achter dat je met uitsluitend grondwaarnemingen te weinig gegevens hebt. De nationale weerdiensten die (na het ingebruiknemen van de elektrische telegraaf) vanaf ca. 1850 werden opgericht (KNMI in 1854) gingen aan de slag. Er kwam al snel internationaal overleg en toen kwam ook de derde stap: hogerop meten, de lucht in. Deze derde dimensie, de hoogtewaarneming was in 1780 op een bergstation al begonnen, maar in 1892 ging de eerste officiële weerballon de lucht in.

Voor de uitwisseling van weergegevens kwam in 1929 de eerste internationale meteocode tot stand. Nog steeds een wereldwijd, uniek systeem.

Alles wat daarna gebeurde is niets anders dan een uitbreiding van dit systeem, waarbij in drie dimensies wordt gekeken en gemeten en waarbij de gegevens snel verzonden en bewerkt worden. De Amerikaanse vliegerstations in 1879, de radiosondes sinds 1927 en de weersatellieten sinds 1960 zijn een verfijning van de hoogtewaarnemingen. De buienradar, operationeel vanaf 1959 (in de USA – het KNMI kreeg weerradar in 1962) en de zichtmeters langs snelwegen en startbanen van vliegvelden, zijn andere verbeteringen van het 'rechtuit' waarnemen op de aardkloot.

De meetapparatuur zelf wordt steeds verder verbeterd – al blijft het tere punt van zekerheid en betrouwbaarheid, als je alles automatisch wilt laten bekijken en besnuffelen. Het KNMI gaat naar volledige automatisering van waarnemingen toe. Het gaat echter ook om bezuinigingen: jaarlijks vier miljoen gulden als je de menselijke waarnemers afdankt. Bij elk verbeterd meetsysteem, bij elk verbeterd netwerk hoort een checkprogramma dat twijfelachtige gegevens er acuut uitwipt.

Anekdoten – Transmissometers met hardnekkig nestelende vogels in de verwarmde meetpijp, spinnen-nesten op plekken met gelijkmatige warmte, beroete en beslagen lenzen, 'sneeuw' in de zomer vanwege

een zwerm muggen, scheefhangende draaipunten windmeters, verzakkende masten en meetopstellingen bij hoge waterstanden, heel geleidelijk uit de calibratie lopende meetapparatuur. Niks nieuws onder de zon, vergeleken met de traditionele parallaxfouten bij het aflezen van kwikthermometers.

De groei zit 'm vooral in de automatisering en in de snelle rekensystemen, zodat het waarnemnet nóg dichter kan worden. Je krijgt nu dus nóg sneller meer weermateriaal voor je neus. Vooral de Deutsche Wetterdienst en de Amerikaanse National Weather Service pronken hevig met hun verbeterde systemen. De Amerikanen hebben in 152 weerbureau's nu AWIPS, het Advanced Weather Interactive Processing System, geïnstalleerd.

De meteorologen hebben nu via één werkstation de beschikking over alle gewenste beelden van weersatellieten, de Doppler-radar, het hele vlotje aan gegevens van automatische weerstations en alle 'computer-generated' numerieke weersverwachtingen. Dat scheelt – want toen ik mijn opvolger bij de Meteo Eelde onlangs 's nachts bezocht voor een radioprogramma, zat hij in zijn eentje bij 18 of 19 beeldschermen het weer te bedwingen.

Via slimme communicatiesystemen en een prachtige instrumententechniek komt dus een massa weergegevens beschikbaar; er is supersnelle reken capaciteit en dán ... – moet je er een weersverwachting van bakken voor diverse doelgroepen. *Dát is het doel van al die inspanning!*

Daarvoor heb je dan maar twee dingen tot je beschikking, met een ontwikkeling van 150 jaar:

- de weerkundige, zeg maar natuurkundige theorieën en praktijken, hoe het weer in elkaar zit
 - de communicatiemethode met je doelgroepen: hoe snel – en hoe vertel ik het mijn klanten?
- En wat dacht u, zou dat eind twintigste eeuw een beetje willen lukken?

Groeiend inzicht en het risico van misvattingen

Ja, je kunt vasthouden aan een boerenweerregel uit 1515: 'Zoals het weer is op de derde dag na volle maan, zo zal het nog tien dagen gaan'. Maar dat is bijgeloof met een automatische overlevering, geen meteowerk.

De weerkunde is een jonge wetenschap, al werken de oudste classificaties nog door. Onze wolkenindeling komt voort uit het werk van Howard in 1802, en de schaal voor de windsterkte is nog steeds gebaseerd op de oppervlakte zeil die een oorlogschip voert, van admiraal Beaufort uit 1806.

Ik ben vroeger eens als getuige opgeroepen in een strafzaak. Als beëdigd en geoeffend waarnemer moest ik ergens 'te velde' hoogten schatten in voeten en de windsterkte in knopen. Het zijn meteowaarden die vanouds uit de zeevaart komen en later ook in de luchtvaart in gebruik raakten.

Wat hebben we er nadien bijgeleerd? Onder meer dat luchtsoorten met aparte eigenschappen gescheiden worden door een hellend vlak, waarlangs zich een hele strijd afspeelt tussen warme en koudere lucht, tussen dalende en klimmende lucht en tussen vochtige en drogere soorten lucht. Zo'n overgangszone kan enkele tientallen kilometers breed zijn, maar ook wel meer dan honderd kilometer. Die dingen bewegen zich sneller of langzamer voort en daarna heb je ander weer. In het kort is dat de frontentheorie van de Noorse school van de meteorologen, uitgevonden in de jaren dertig. Vanwege die hevige strijd langs een min of meer vastliggend scheidingsvlak, zijn die zones 'fronten' genoemd – een analogie uit the Great War, de Eerste Wereldoorlog.

De Tweede Wereldoorlog bracht de ontdekking van de straalstroom op grote hoogten. Amerikaanse viermotorige bommenwerpers vlogen op volle kracht naar Berlijn, maar op een kwade dag haalden ze het doel niet vanwege ongekende stormachtige tegenwinden. Die straalstroom staat thans bekend als de snelwegsturing van de depressies die wij op ons dak krijgen. Na de oorlog ontdekten we ook dat er een omkering van windrichting kan plaatsvinden, een windsprong op verschillende hoogten. De wind waait dan ineens de andere kant uit. Ook de neerslagtheorieën zijn van jonge datum.

Afgelopen maand kocht ik bij een antiquariaat in Steenwijk de 'Korte Handleiding Voor de Weerkunde' van P.J. van Loon. Het is een herziene uitgave van 1921 van een boekje uit 1906. Daarin bestaan nog geen weerfronten, het weerpatroon wordt gevormd door depressies en hogedrukgebieden. Ook de neerslag komt tot stand door 'verdichting van den waterdamp'. Het boekje is compleet met 39 bladzijden. Vergelijk dat met de 'National Audubon Society - Field Guide to North American Weather' van Ludlum uit 1997. Een pocket van 655 pagina's 'bijbeldruk' met een derde deel schitterend fotowerk en ook zowat alle bekende weertheorieën erbij – van tornado's tot droogterampen.

Er is in één, twee generaties tijd geweldig veel bijgeleerd. We weten veel van wervelpatronen en circulaties op grote schaal, van de wederzijdse beïnvloeding van grote wateroppervlakten en luchtmassa's. Nouja, van vanalles waar u deze dagen over sprak. Met die kennis maken we weersverwachtingen. We nemen aan dat het klopt en dat we eigenlijk wel zo'n beetje weten hoe het werkt.

Helaas: hoe meer je meet, hoe minder je weet. Recent onderzoek brengt nieuwe feiten en daarmee tekortkomingen in de heersende opvattingen aan het licht. U hoorde deze dagen van de geodetische satellieten die atmosferische omstandigheden als ruiservoeren. Tot enkele slimme onderzoekers die ruis zelf als meetgegeven hanteerden. En toen bleek dat er meer waterdamp in het zwerk hing dan de wolken aangaven. Met andere woorden: het cruciale patroon van de waterdampverdeling boven ons, is anders dan we altijd aannamen. De neerslagverwachtingen, de

methodiek erachter, moet weer tegen het licht gehouden worden.

Nog zo eentje. Altijd is beweerd dat wolken zelf geen warmte absorberen, ze kaatsen de lichtstralen terug en het thermodynamische hemeltheater is daar-mee een intern partijtje. In 1995 bleek dat wolken wél een flinke hoeveelheid zonnestraling absorberen. De conclusie kon niet anders zijn dan dat de kennis van de processen waarmee in wolken warmte wordt overgedragen sterk tekort schoot. Daarmee zijn eigenlijk ook de vigerende atmosfeer- en oceanmodellen aan revisie toe – plus de aangekoppelde klimaatmodellen.

Terugkijkend: onderzoek is nuttig, maar nooit doorslaggevend. In 1999 is een onderzoek gepubliceerd naar het weer vanaf 1877, waarbij een mogelijke invloed van El Niño aan de orde kwam. Prachtig voor het inzicht. Maar voor de praktijk? Ik citeer dr. Bijvoet, ex-directeur van het KNMI en erelid van de Nederlandse Vereniging van Beroepsmeteorologen, over een onderzoek dat hij zelf deed: 'Je begreep het beter, je zag het beter, maar het merendeel van die onderzoeken heeft nauwelijks bijgedragen aan de verwachtingen'.

Hier zijn we terug bij mijn beginvraag: de kwestie van zekerheid en vertrouwen. Wat claimen we zeker te weten en hoe brengen we dat naar het publiek, in het vertrouwen dat zij ons vertrouwen? Is de meteorologie zichzelf niet een beetje voorbijgelopen?

Weer en maatschappij

We hebben het over het weer, dat is op korte termijn, en over 't klimaat, als we een langere termijn op het oog hebben. Het weer is grillig in onze regio, het klimaat is mild. Het weer raakt ons dagelijks, het klimaat raakt de toekomst van onze nazaten. Maar hoe je 't wendt of keert – het gaat in alle gevallen om de vier P's: pretenties, prognose, presentatie en perceptie.

Het is verleidelijk om breeduit in te gaan op de relatie weer en maatschappij. Daaraan gekoppeld zit de relatie weerlieden en klandizie, al wordt dat nu vaak eenzijdig vertaald naar commerciële dienstverlening. Ik bedoel het ruimer: alles wat in de weerkunde en omstreken wordt bekooktoofd, dient *niet* het weer – dat vermaakt zichzelf wel – maar de maatschappij. Alle sectoren of elementen daarvan: ecologie & economie, gezondheid, alle vormen van transport, sociale contacten & het openbare leven, en – immer en altijd weer – oorlog & vrede.

Geen supersnelle, zelfdoelzoekende 'slimme' bom kan zonder mooi weer, anders is het geprogrammeerde doel weer niet te vinden. Invasies van hele krijgsmachten worden uitgesteld om het weer, lees het boek 'Operatie Overlord' over de invasie van 1944 maar na.

Ook het gevecht tegen plagen en ziekten heeft een relatie met het weer: sprinkhanenzwermen bewegen zich met de luchtstromingen mee over Afrika. Je hebt een apart specialisme: sprinkhanenmeteoroloog – net

als moderne poolexpedities, wereldzeilers en om-de-wereld-ballonvaarders eigen forecasters in dienst hebben. Als ze het niet goed doen, vliegen ze dan de laan uit? Ik heb zo iets nog niet gehoord, maar dat komt ook nog wel.

Kort geleden maakte ik een nasleep mee van een weersverwachting van dit voorjaar die niet uitkwam. Het zit zo. In de vergadering van 18 november j.l. van het nationaal park 'De Weerribben' (NW-Overijssel), klaagden de rietelers over de te lage waterstand in het gebied. Het waterschap meende dat ze binnen de peilnormen waren gebleven – misschien op een kleine periode in april na. Dat waterpeil is van zeer groot belang voor inwoners, schippers, rietelers en boeren en zeker ook huiseigenaren in het lage land.

In april was het waterpeil op voorhand iets lager aangehouden, omdat het waterschap anticipeerde op de weersverwachting die 20 tot 30 mm regen beloofde. Met de overstromingen van najaar 1998 en de afgelopen natte winter in het hoofd – nouja, u begrijpt het.

Die beloofde neerslag kwam niet, de rietpercelen met het jonge gewas – net in de groei – stonden droog en de hele mikmak vroor kapot bij het eerste beetje nachtvorst. Weg hele rietooft in een heel gebied – met het beste riet van Europa. In dat gebied was het rekening houden met een heldere weersverwachting desastreus verlopen. (De verenigde rietelers gaan hun schade nu claimen.) En toch heeft het waterschap niets anders gedaan dan na wijs beraad, rekening houdend met recente ervaringen, op de weersverwachting vertrouwen. Maar de prognose was waardeloos.

Ergens raak je hier het fenomeen van 'wensweer', het weerbeeld en het weersverloop zou zich moeten voegen naar wat je verwacht. De weersverwachting speelt daarbij een rol, maar als het vertrouwen weg is, als de zekerheid ontbreekt, dan kun je wel zonder weerbericht.

Ook enig onbenul kan je parten spelen. Het overkwam mij op een werkbezoek met collega's aan enkele nationale parken in de Alpen, afgelopen juni. Ik zag dagenlang geen bergtoppen met witte sneeuw in de prachtige zon, alleen maar kletsregen en druilregen. Ik heb de bergschoenen vijf dagen niet droog gehad. 'Ach so, dass wundert mich nicht' zei mijn collega van het nationaal park Berchtesgaden, 'Wij hebben hier jaarlijks 2000 mm neerslag'. Twee tot drie keer zoveel als in Nederland. Mijn wens was prentbriefkaartenweer. De praktijk was soppen en sippen. Mijn perceptie was dus totaal anders.

Wat de prognose betreft: er is een grens aan de voorspelbaarheid. Die heet de voorspelbaarheidshorizon, en is afhankelijk van het heersende weersysteem. Alleen bij een stabiele situatie met een keihard hogedrukgebied kun je een dag of tien in ogenschouw nemen. Bij een depressie ben je sneller uitgekeken.

Het te berekenen weer heeft na die kritieke tijdgrens geen verband meer met het beginweer.

Wat wèl kan is de kwaliteit van de kortetermijnverwachting verbeteren: je hebt immers meer gegevens en je kunt ze sneller verwerken? Als het goed loopt, kun je binnen een kort tijdsbestek op lokale schaal snelle bijstellingen plegen aan de weersverwachting.

In maart van dit jaar uitte Henk van Dorp van het KNMI die pretentie in *Intermediair*. Een braderie en een optocht hebben daar belang bij. Het waterschap, dat met een traagheid van bemaling van een groot gebied rekening moet houden, kan er echter niks meer mee.

Dus, welke pretenties en presentaties hebben we nog over?

Zekerheid en vertrouwen met de vier P's: pretenties, prognose, presentatie en perceptie

We hebben nu de oorsprong en de ontwikkeling van de meteo bekeken, met de drie poten:

- weergoden en bijgeloof
- technische en praktische ontwikkeling en groei van het weerbedrijf
- theoretische perikelen van de weerkunde.

We constateerden daarbij dat alle inspanningen bedoeld zijn voor mensen, de klanten zo je wilt. We komen terug bij de zekerheid en het vertrouwen, gekoppeld aan de 4 P's: pretenties, prognose, presentatie en perceptie. Het kan best zo zijn, dat het publiek de vaart van de wetenschap niet meer kan of wil volgen. Dat kan komen door een gebrek aan vertrouwen, dat heeft kennelijk een deuk opgelopen. Het kan ook komen door een overschatting van de rol van het meten en weten. Dat laatste kwam vorige week ter sprake op het symposium over risicocommunicatie. Jaap van Ginniken stelde dat men te veel vertrouwt op wiskunde en statistiek bij allerlei vraagstukken. Hij zegt: 'Het probleem is dat men uitgaat van een denkwijze, die in wezen teruggaat op de mechanica van Newton. Dat is het geloof in de Heilige Drie-eenheid: meten is weten, weten is voorspellen en voorspellen is beheersen'.

Honderd procent zekerheid bestaat niet, waar de mensen slecht aan willen. Paul Schnabel signaleerde dat het vertrouwen in wetenschappelijk onderzoek er niet meer is. Men kijkt niet als eerste naar de resultaten, men wil weten of de procedure wel goed is. Het motto is: wij moeten kunnen vertrouwen.

Tja, en dan heb je bij het meteovak problemen als je de vier P's verkeerd hanteert.

Eerst die *pretenties* maar even. Elke meteodienst zegt het zo goed mogelijk te doen, en soms nog beter. De National Weather Service (NOAA-NWS) in Amerika noemt zich de 'no surprise' weerdienst. Hun AWIPS-systeem heeft al drie 'awards' gewonnen. De Deutscher Wetterdienst (DWD) heeft sinds november 'der grössten und leistungstärksten Supercomputer der Welt' in gebruik. De weerdienst Meteofax in Ber-

lijn doet het anders. Hun oprichter levert 'exakte Wetterberichte, mit denen er den Beweis antritt, dass seriöse Information und Umgangssprache kein Gegensatz sind'.

Bij de pretenties hoort de op-de-borstklopperij van de 80% goed score van weersverwachtingen voor 24 uur vooruit, terwijl de vier- en vijfdaagse verwachtingen ongeveer in zes van de tien gevallen correct bevonden worden. Zet je dit af tegen de score van de oude weerspreuken, dan heb je niet veel gewonnen. Van de 400 getoetste Bauernregeln, die het korte termijnweer voorspellen op basis van 'Naturbeobachtungen', is 80-100% juist. Bij een ander type weerregels, de 'überlieferte Witterungsregeln' die al zo'n 200 jaar in gebruik zijn op het platteland is de score 67%. Dit zegt de Westdeutsche Rundfunk op een internetartikel 'Wetterprofi's früher und heute'. Is het dan gek als rietelers en anderen zich vaker wenden tot de beproefde weerregels, tot aan weerbijgeloof toe?

Valt er wat te verbeteren bij de resterende P's: prognose, presentatie en perceptie?

De *prognose* kan kennelijk niet veel beter. De hevige misser van de Paasdagen 1999 doet nog steeds zeer. Maar ook de zakelijke voorspelling van het Ministerie van Verkeer & Waterstaat in het toekomstrapport 'TP 2000' van 1968 kwam niet uit. De beloofde kwaliteit van de weersverwachtingen is niet gehaald. Je merkt het ook aan die buitenlandse weerdiensten: ze mikken op nog meer gegevens en nog meer en snellere gegevenswerking, waarvan men veel heil verwacht.

Ligt het aan de *presentatie* dan? Ja en nee. Het algemeen publiek wil show zien op TV, want weer is ook entertainment. Sommige weerpresentatoren kun je ook inhuren voor je partijtje of bedrijfsfeest. Zoiets levert niet méér vertrouwen op in de weerpresentatie. Zakelijke meteoklanten willen zo secuur mogelijke gegevens en het liefst zekerheid. Ik denk dat je hen ook kunt zeggen hoeveel marge betrouwbaarheid die specifieke verwachting heeft. Voor het algemeen publiek heeft een verwachting met de kansen in percentages uitgedrukt, weinig zin. De gevoelsmatige of intuïtieve waardering van die kansen verschilt geweldig met die van de kale werkelijkheid – wat de nuchtere cijfers eigenlijk aanduiden. Dat wil dus niet...

Het KNMI is de aangewezen instantie voor het uitbrengen van waarschuwingen bij levensbedreigende of maatschappij-ontwrichtende situaties. Men kent de Nederlandse begrippen Weeralert en Weeralarm, waarvoor duidelijke criteria bestaan. Om het belang van zo'n 'zwaar weer' bericht te onderstrepen is een eigen omroeper nuttig, net als bij politieberichten. Ook de reguliere nieuwslezer kan zo'n bericht als speciale waarschuwing meenemen. Je moet het uit de sfeer van het gebruikelijke weerbericht halen.

Er is nog wat raars met waarschuwingen: menig weerman of weervrouw waagt zich aan lullige waarschuwingen: 'verkeershinderlijk' weer, dikke jas aan bij 'windchill' en oppassen op de fiets voor windsto-

ten en meer van dat 'weergezeur', zoals een ingezonden brief in de NRC-Handelsblad van 1 februari 1996 stelde. Die waarschuwingskolder kan ook beter afgezworen worden. Het werkt de infantilisering in de hand.

Het blijft de kunst om op een geloofwaardige manier het weerbericht naar de klanten te brengen. De gebruikte terminologie is zo'n punt. In 1975 en in 1980 is er onderzoek naar gedaan in Nederland. Deze week had de NOAA-NWS op internet ook een vragenlijst over de terminologie staan. Men is er nog niet uit hoe je het écht brengen moet. Bij de windkracht gooit het publiek hier de termen hard en krachtig door elkaar en een frontpassage zegt ze ook niet veel.

Het blijft net als in het weerboekje uit 1906 (herdruk 1921): een depressie brengt slecht weer ('die met die krul' op TV) en een hogedrukgebied is mooi weer. We moeten nu wél een keer af van de weerterm 'storing', het is een onzinwoord. Zo'n lagedrukgebied is gewoon onderdeel van het grote circulatiepatroon op ons werelddeel. Hou het daarbij en gebruik geen term uit een verlopen theoretische beschouwing over een natuurkundig evenwicht. Maak ons weer storingsvrij! Inmiddels heb ik het over de *perceptie* van het publiek. Het algemeen weerbericht geldt nu vooral voor de vrijetijdsbesteding, de vakantiebestemming en het geestelijk welbevinden. De zakelijke markt betaalt voor weerberichten op maat. Bovendien kun je overal je weer weghalen, zeker op internet. Het publiek wenst zekerheid van een betrouwbaar type. Is dat het KNMI niet, dan is er wel een Jomanda of Mariska.

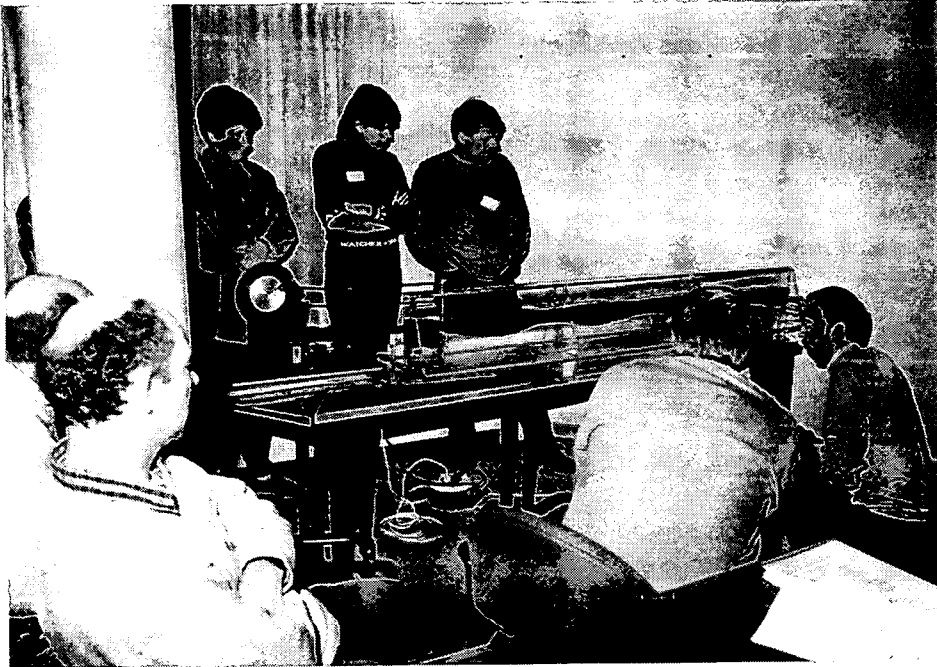
Concluderend – Het lijkt erop dat de dagelijkse meteorologie op zijn tenen loopt en even niet verder reiken kan. Echter, door de pretenties van beter meten en weten, gekoppeld aan nog sneller rekentuig, wordt de indruk gewekt dat de meteowetenschap alles kan weten. Dat wordt versterkt door een systeem van waarschuwingen voor zwaar en gevaarlijk weer. Het publiek hoeft zelf niets te ondernemen, het wil blindelings vertrouwen en dat betekent toch weer ongelooft en paniek als er echt wat gebeurt. De nieuwe opdracht luidt echter: leer het publiek leven met onzekerheden en laat ze hun eigen 'overwogen' beslissingen nemen. Een weerman of -vrouw is geen vader of moeder met 16 miljoen kinderen.

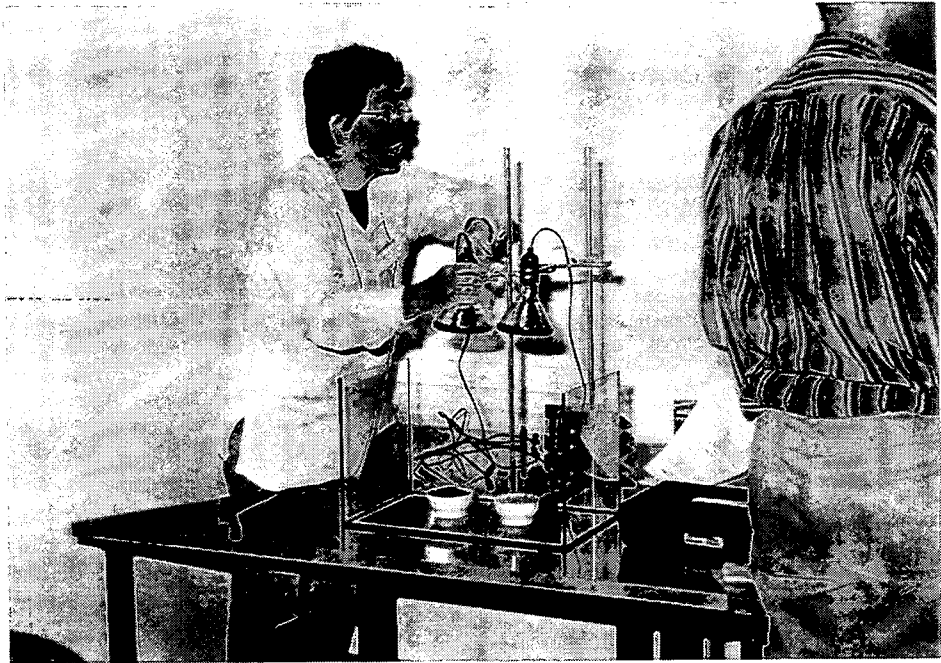
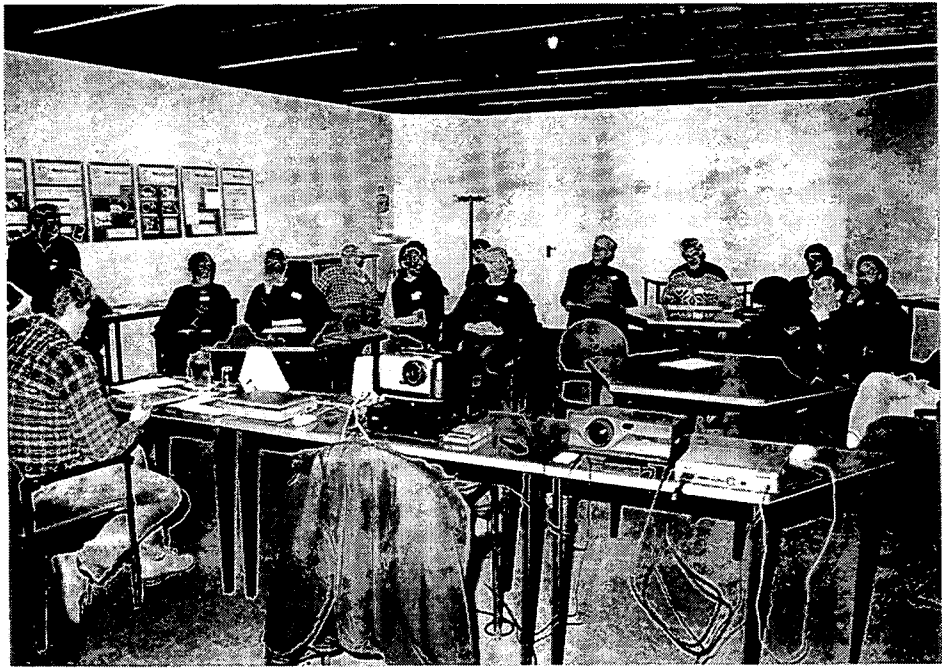
De presentatie op radio en TV van de weersverwachtingen gebeurt routinematig of in een entertainment-sfeer. Een scheiding in 'gewoon leuk' weer en een uitgebreide weerpresentatie voor echt geïnteresseerden is nog steeds het overwegen waard. Wat in ons land eveneens nog verder ontwikkeld kan worden, is het nauwer betrekken van het publiek bij het weerbedrijf. Leer ze adequate meldingen doorgeven, vraag naar hun ervaringen bij apart weer – neem ze kort gezegd serieus. In het buitenland zijn hiervan aardige voorbeelden te vinden.

Vier P's hebben we gehad. Tot slot heb ik de vijfde P voor u. Natuurgidsen, boswachters en die huisarts in het wild kennen hem al. Het weer als natuurkundig verschijnsel is een schitterend fenomeen, vol bewe-

ging, vol vormen en vol kleur. Steeds nieuw, altijd in de buurt en het is gratis. Daarom geef ik u de vijfde P mee, de P van Plezier aan het weer!

Werkgroepen



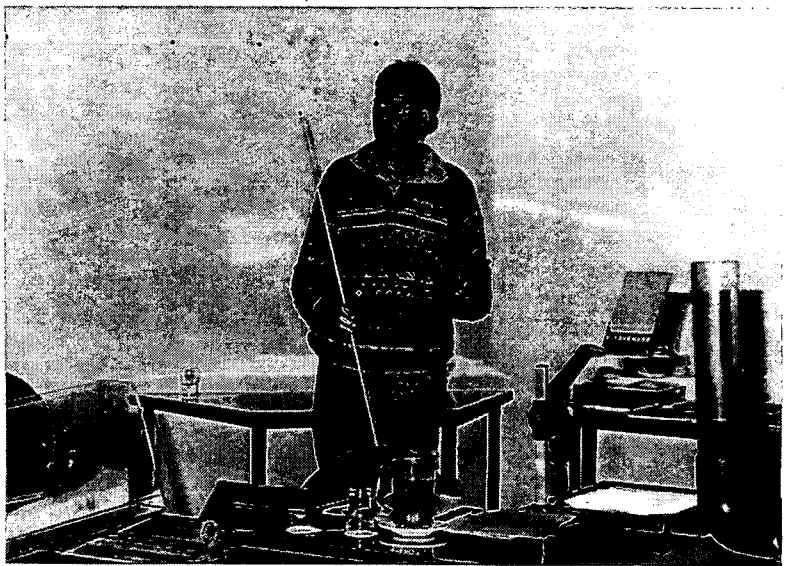


Zandtransport en kustontwikkeling

Werkgroep 4

J. van der Molen

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht (IMAU),
Universiteit Utrecht



Inleiding

Tijdens de werkgroep is de werking van zandtransport door stromingen, zoals worden opgewekt door getij, wind en golven, toegelicht en geïllustreerd. Eerst is een korte inleiding gehouden over de mechanismen van zandtransport, waarna de deelnemers met behulp van een aantal experimenten de theorie in praktijk konden brengen. Tenslotte is een korte samenvatting gegeven van het onderzoek van ondergetekende naar zandtransport in het recente geologische verleden op de Noordzee, en de relatie daarvan met de uit de geologie bekende ontwikkeling van de Nederlandse en Belgische kust.

Zandtransport

Om zand in beweging te brengen door stroming moet de zwaartekracht die een korrel op de bodem houdt overwonnen worden door een combinatie van de *wrijvingskracht* en de *liftkracht* die de stroming op de korrel uitoefenen. De stroomsnelheid waarbij deze drie krachten in balans zijn, en het deeltje gaat bewegen, heet de *kritische stroomsnelheid voor erosie*. Is een korrel eenmaal in beweging, dan kan hij bij relatief lage stroomsnelheden over de bodem rollen en stuiteren: *bodemtransport*. Bij grotere stroomsnelheden komt de korrel voor langere tijd in de waterkolom: *gesuspendeerd transport*. Als de stroomsnelheid daalt, valt de korrel uit suspensie terug naar de bodem. Hierbij treedt evenwicht op tussen de wrijvingskracht van het water op de korrel en de zwaartekracht; het deeltje valt met een karakteristieke *valsnelheid*. Zowel de valsnelheid als de kritische stroomsnelheid van erosie hangen af van de *korrelgrootte* van het zand: bij toenemende korrelgrootte nemen ze allebei toe.

De sterkste stromingen in de Noordzee worden veroorzaakt door *getij* en *golven*. Deze stroming gaat heen en weer, bijvoorbeeld bij eb en vloed. Hierbij worden flinke hoeveelheden zand getransporteerd. *Netto*, gemiddeld over de heen-en-weergaande stro-

ming kan er een klein deel van het getransporteerde zand systematisch een kant op worden verplaatst. Dit netto transport wordt veroorzaakt door een *residuele achtergrondstroming* (figuur 1) en/of door *getij- of golfasymmetrie* (figuur 2). De residuele stroming wordt opgewekt door wind, luchtdrukverschillen en door interacties van het getij met variaties in de diepte van de zee. Asymmetrie ontstaat doordat door interactie van het getij of de golven met diepteveranderingen en door bodemwrijving *hogere harmonischen* van de hoofdfrequentie worden opgewekt.

De stroming en het daardoor geïnduceerde zandtransport kunnen *bodemvormen* veroorzaken. Voorbeelden daarvan zijn *stroomribbels*, *golfrubbels*, *zandgolven*, *brekerbanken* en *getijdebanken*. Deze ontstaan mede doordat het verplaatste zand de bodemdiepte verandert, waardoor de stroomsnelheid verandert, waardoor weer het zandtransport verandert, enz.: *terugkoppeling*. Dat de stroming netto flinke hoeveelheden zand kan verplaatsen is te zien in de bodemveranderingen na ingrepen in de kust, zoals de afsluiting van de Lauwerszee of de Deltawerken.

Experimenten

Een en ander werd geïllustreerd met de volgende experimenten:

- In een *golfbuis* konden de deelnemers zelf een heen-en-weergaande stroming maken en de verschillende vormen van zandtransport zien. Met een goede, regelmatige aandrijving ontstonden zelfs bodemvormen.
- Door te roeren in een aantal *bekerglazen* met zand van verschillende korrelgroottes kon men zien dat grover zand moeilijker te verplaatsen is en sneller bezinkt.
- De korrelgrootte kon bepaald worden met *zand-lineaals* en met de *valsnelheidsproef*.
- Met de *slingerproef* kon een gedwongen trilling en resonantie worden waargenomen zoals ook bij het getij in de Noordzee optreedt.

- Er was een *computerdemonstratie* met een film van het getij op het West-Europees Continentaal Plat. Op de computer zat ook een programma waarin een stroomsnelheidscurve samengesteld kon worden uit een residuele stroming, een hoofdcomponent en een hogere harmonische. Het programma berekende het zandtransport, en er kon een aantal opdrachten worden uitgevoerd.
- Tenslotte was er de *golfgoot*, waarin brekende golven op een strand werden nagebootst. Hierin waren de verschillende sedimenttransportprocessen waar te nemen, en ontstonden spontaan golfríbels en een brekerbank.
- Er was ook een tafel met *documentatiemateriaal* en *posters* over het kustonderzoek en de opleiding Meteorologie en Fysische Oceanografie.

Kustontwikkeling

Het onderzoek naar het zandtransport op de Noordzee met behulp van computermodellen heeft tot nu toe kort samengevat het volgende opgeleverd:

- De transporten door getij zijn (veel) groter dan die door golven alleen. Wel kunnen golven het transport door getij vergroten.
- Het netto zandtransport door getij is nu hoofdzakelijk langs de kust (figuur 3). In het zuiden van de Noordzee ter hoogte van België en Zeeland vindt hoofdzakelijk erosie plaats. Een deel van dit zand wordt naar het noorden verplaatst, waar het bezinkt en depositie plaatsvindt.
- In het recente geologische verleden was dit anders: zo'n 7500 jaar geleden werd er veel zand naar de kust toe verplaatst. Bij de veranderingen in het

transportpatroon waren er forse verschillen voor de verschillende delen van de kust.

- De algemene trend van de veranderingen in het transportpatroon uit de computermodellen komt redelijk overeen met de door geologen gereconstrueerde ontwikkeling van de Nederlandse kust: na de laatste ijstijd (18000 jaar geleden) was de zeespiegel lager en stond de Noordzee droog. De zeespiegel steeg snel en de Noordzee liep vol. Daarbij schreef de kust eerst snel terug, maar stabiliseerde ongeveer 5000 jaar geleden iets landinwaarts van de huidige kust toen de snelheid van zeespiegelstijging afnam. Daarna volgde een periode van kustuitbouw tot ongeveer 2000 jaar geleden door de nog doorgaande maar afnemende sedimentaanvoer, waarna de kust weer begon te eroderen toen de sedimentaanvoer heel klein werd. Verschillende delen van de kust vertoonden variaties op dit algemene gedrag waarmee de verschillen in zandaanbod door de tijd heen zoals aangegeven door het getijdemodel goed overeen lijken te komen.

Johan van der Molen
 Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek
 Utrecht (IMAU)
 Universiteit Utrecht
 Tel.: 030-2533167
 Email : j.vandermolen@phys.uu.nl



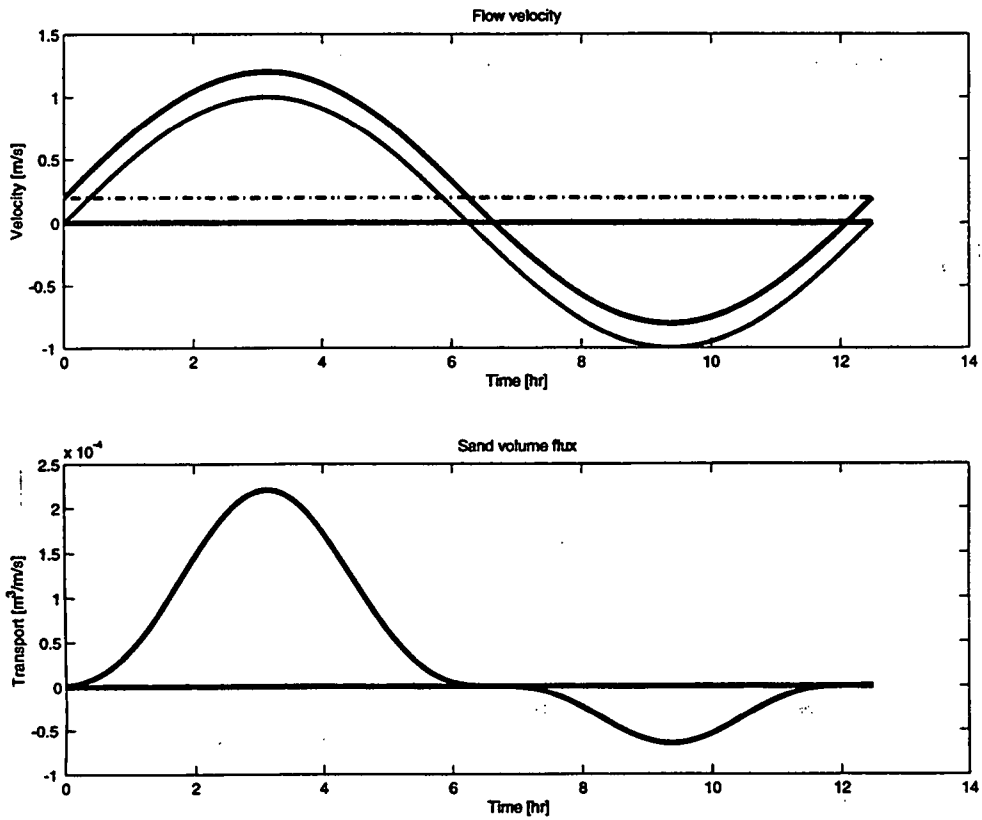


Fig. 1 Zandtransport (onder) door stroming (vet) bestaande uit een sinusvormig getij (boven, dun) met residuele stroming (gestippeld)

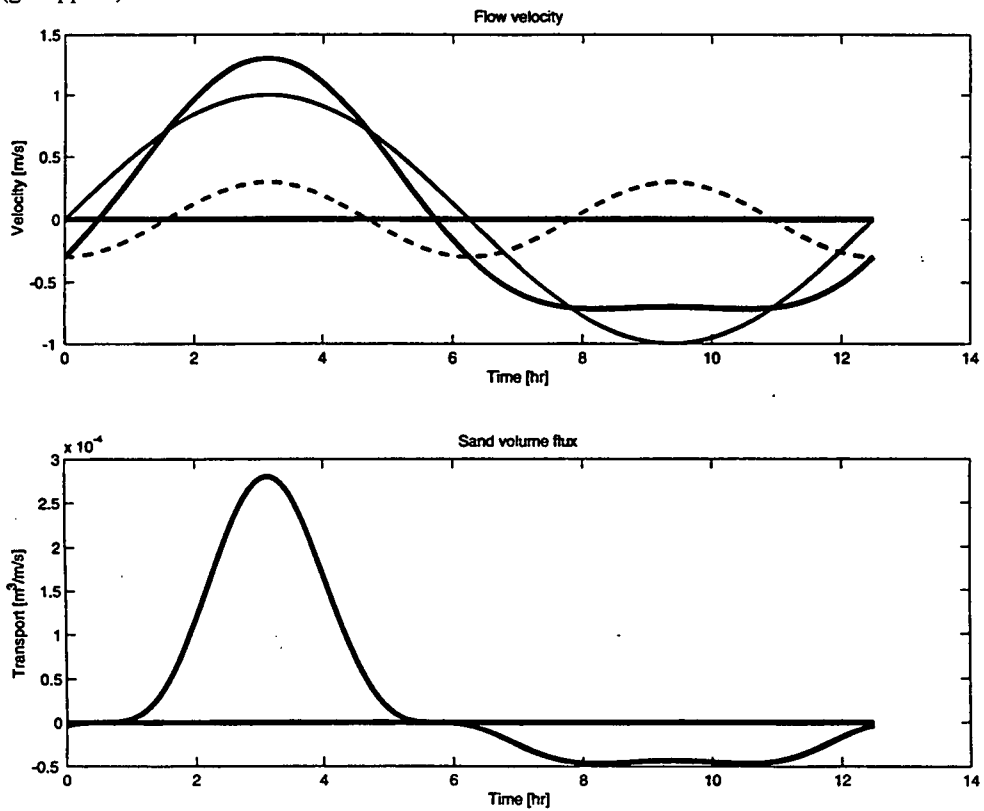


Fig. 2 Zandtransport (onder) door stroming (vet) bestaande uit een sinusvormig getij (boven, dun) met eerste hogere harmonische (gestippeld)

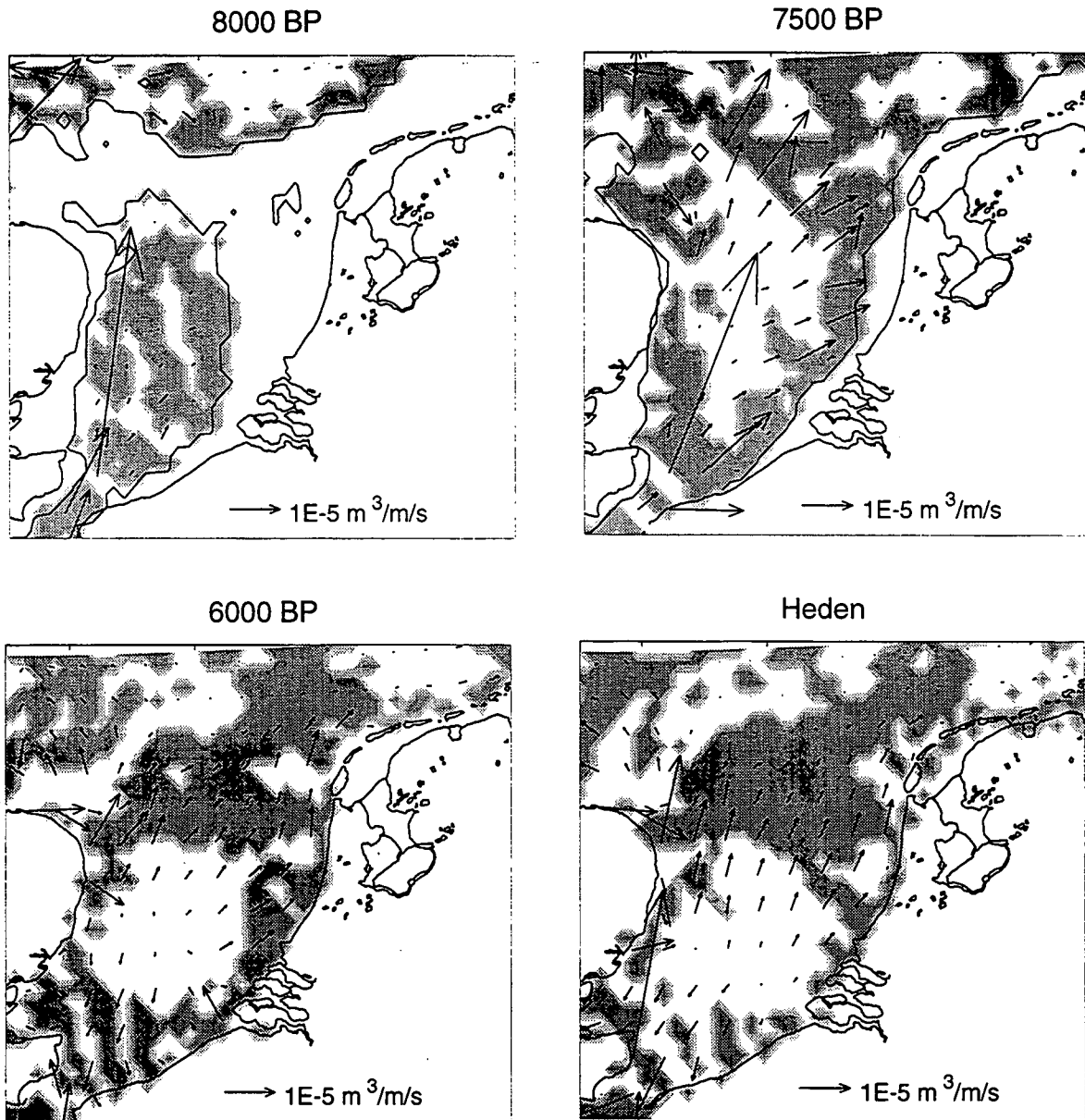


Fig. 3 Gemodelleerd zandtransport (pijlen geven grootte en richting aan) 8000, 7500 en 6000 jaar geleden en nu. In de blanco gebieden wordt de zeebodem geërodeerd, in de grijs getinte gebieden vindt sedimentatie plaats

El Niño, een onberekenbaar verschijnsel?

Werkgroep 5

G.J.H. Burgers

KNMI



Wat is een El Niño en wat zijn de gevolgen?

Doordat de sterkste El Niño van de twintigste eeuw, die van 1997/98, ook de best waargenomen en door de media gevolgde was, is de belangstelling voor dit verschijnsel enorm toegenomen. Toen de piek van die El Niño december 1997 bereikt werd, was El Niño niet uit de krant weg te slaan als oorzaak van alles wat er maar vreemd aan weer en klimaat was.

El Niño is een onregelmatige, om de paar jaar terugkerende toestand van het klimaat van de atmosfeer en oceaan in de tropische Stille Oceaan. Karakteristiek voor El Niño is warmer dan normaal zeewater rond de equator in de oostelijke helft van de Stille Oceaan. Oorspronkelijk was in Peru El Niño de naam van een warme zuidwaartse zeestroom die elk jaar rond Kerstmis terugkeerde en die een periode van een paar maanden inluide waarin er weinig te vissen viel. Gaandeweg werd de naam gebruikt voor die gelegenheden dat het water bij Peru veel warmer was dan normaal, afgezien of er nu wel of geen zuidelijke stroming was. Tot in de jaren zestig werd het fenomeen gezien als een zuiver regionaal verschijnsel. Pas uit metingen gedaan in het kader van het Internationaal Geofysisch Jaar (1957-1958) werd duidelijk dat de opwarming zich tot wel zo'n 10000 km ver langs de evenaar uitstrekt in de Stille Oceaan. Ook werd ontdekt dat er een verband bestond met een verschijnsel in de atmosfeer: de zuidelijke oscillatie. Sindsdien spreekt men ook wel van ENSO (El Niño - Southern Oscillation).

De zuidelijke oscillatie, al rond 1920 ontdekt door Gilbert Walker, is een grootschalig patroon van luchtdrukafwijkingen dat zich uitstrekt van Argentinië tot India en zich uit in het drukverschil tussen Tahiti (18S, 150W) en Darwin (12S, 131E). Tijdens een El Niño is het drukverschil tussen Tahiti en Darwin lager dan normaal en zijn de passaatwinden (oostenwinden) aan de evenaar zwakker, of zelfs van richting omgedraaid (westenwinden in plaats van oostenwinden). De omgekeerde toestand, met kouder dan normaal zeewater, wordt La Niña genoemd. Tij-

dens een La Niña is de passaatwind juist sterker dan normaal, en is het drukverschil tussen Tahiti en Darwin hoger dan normaal. Bij 'warmer' moeten we denken aan temperatuurverschillen van enkele graden. In december 1997 was het op sommige plaatsen langs de evenaar in het oosten van de Stille Oceaan meer dan zeven graden warmer dan in december 1998.

Het verband tussen deze verschijnselen is als volgt. Normaal is het westen van de Stille Oceaan, bij Nieuw Guinea, een graad of vijf warmer dan het oosten, doordat de passaatwinden het warme water in het westen opstuwten. Boven warm water stijgt lucht meer op dan boven koud, en normaal stijgt er dus meer lucht op boven het warme westen dan het koude oosten, en is in het westen de luchtdruk relatief laag en zuigt de passaat extra aan. Tijdens een El Niño, wanneer het koude oosten opwarmt, neemt het temperatuurverschil tussen oost en west af. Daardoor stijgt er minder lucht op dan normaal in het westen, is het drukverschil tussen Tahiti (oost) en Darwin (west) kleiner dan normaal, en de passaatwind zwakker, waardoor minder warm water naar het westen wordt opgestuwd wat het temperatuurverschil tussen oost en west nog kleiner kan maken.

Veel gebruikte maten voor de sterkte van El Niño zijn de Niño3 index en de Southern Oscillation Index (SOI). De Niño3 index is de afwijking in graden Celsius van het normale gemiddelde van de zeewateroppervlaktetemperatuur van het gebied tussen 5S en 5N en tussen 150W en 90W in de oostelijke equatoriale Stille Oceaan. De SOI is het genormaliseerde drukverschil tussen Tahiti (18S, 150W) en Darwin (12S, 131E).

Gedurende een El Niño is de Niño3 index meestal hoog en de SOI index meestal laag. Het verloop van deze indices sinds 1982 is te zien in figuur 1. De laatste zeer sterke El Niño was die van 1997/98. De vorige zeer sterke El Niño was zo'n 15 jaar daarvoor, 1982/83.

Nino3 en SOI indices

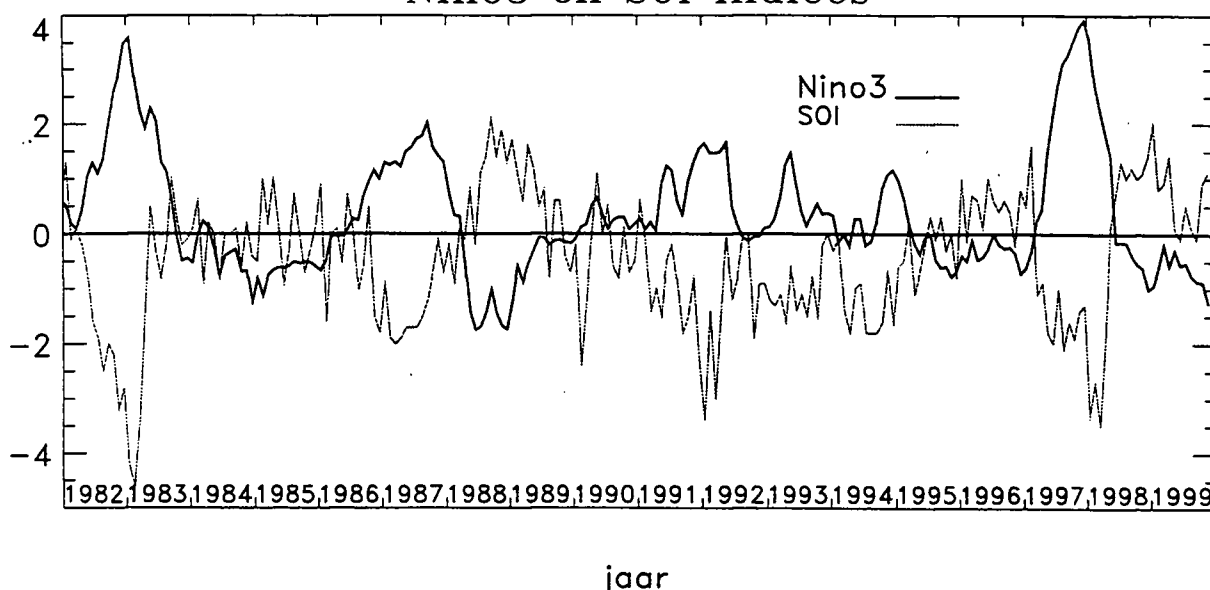


Fig. 1 Het verloop van de Niño index en de SOI, twee veel gebruikte maten voor de sterkte van El Niño, sinds 1982. (Bron data: National Center for Environmental Predictions (NCEP) / Climate Prediction Center (CPC), Washington DC)

Omdat in de tropen boven warm water meer lucht opstijgt en het dus meer regent dan boven koud water (want stijgende waterdamp condenseert als die koudere luchtlagen bereikt en zal 'uitregenen'), ligt het belangrijkste regengebied van de wereld boven het warme water rond Indochina, Indonesië en Nieuw-Guinea. Dit regengebied is één van de belangrijkste 'motoren' van de luchtstromingen op aarde die zorgen voor de uitwisseling van warmte tussen de tropen en koudere streken. Tijdens een El Niño schuift dit regengebied richting midden van de Stille Oceaan. Grote delen van de aarde ondervinden de gevolgen van deze toestand.

Wereldwijd is El Niño de voornaamste bron van veranderlijkheid van het klimaat van jaar tot jaar. Zelfs variaties van jaar tot jaar in de wereldgemiddelde temperatuur zijn sterk met El Niño gecorreleerd. Wel zijn de invloeden het sterkst rond de tropische Stille Oceaan waar El Niño zich afspeelt. Zo is er een sterk verband tussen El Niño en bosbranden in de zomer en herfst op Borneo. De verschijnselen die vaak optreden bij El Niño en La Niña zijn in figuur 2 schematisch weergegeven.

Hoe voorspelbaar is El Niño?

Gewone weersverwachtingen zijn slechts één, hooguit twee weken vooruit te maken. Deze verwachtingen zijn gebaseerd op de doorwerking van de begintoestand. Hoe beter de begintoestand bekend is, hoe verder vooruit een verwachting te maken is. Maar het is wel zo dat een steeds betere kennis van de begintoestand een kleinere winst in voorspeltermijn oplevert. Gewone weersverwachtingen zijn meestal eenduidig opgesteld, bijv. 'het gaat komend weekend streng vriezen'. Weersverwachtingen voor

gematigde streken zijn beter dan voor de tropen. Dat heeft er mee te maken dat in gematigde streken vaak depressiewervels over de aarde glijden die vele dagen intact blijven.

Voor seizoensverwachtingen ligt dit anders. Die zijn gebaseerd op veranderingen in de randvoorwaardes. Dat zijn zaken die met de 'rand' van de atmosfeer te maken hebben, zoals sneeuw en bodemvochtigheid, maar ook zaken als vulkaanstof in de atmosfeer. De belangrijkste randvariable echter is de zeewateroppervlaktetemperatuur, meestal aangeduid als SST (sea surface temperature). Vooral in de tropen is de invloed van de SST op het weer groot, omdat voor warm water temperatuurverschillen grotere verschillen in dampspanning geven dan voor koud water.

Seizoensverwachtingen zijn dus mogelijk voor zover de SST en eventueel de andere randvoorwaardes voorspelbaar zijn. De SST varieert in het algemeen langzaam, waardoor het tot op een of twee maanden vooruit vaak een aardige aanname is dat de SST niet veel verandert.

Verder vooruit ligt dat lastiger, maar El Niño helpt gelukkig. Want El Niño is vrij goed voorspelbaar tot op een half jaar vooruit, soms tot een jaar, en El Niño heeft invloed op de SST in een cruciaal gebied van de wereld, namelijk de tropische Stille Oceaan. Hierdoor zijn seizoensverwachtingen mogelijk tot op een termijn van een half jaar vooruit. De betrouwbaarheid varieert van plaats tot plaats en van seizoen tot seizoen, naar gelang het weer samenhangt met de SST, en naar gelang de SST goed te voorspellen is. Zo lijkt er een voorspelbarriere te zijn rond april: het is veel lastiger om in december een El Niño-verwachting voor juni te maken, dan in een juni een verwachting voor december.

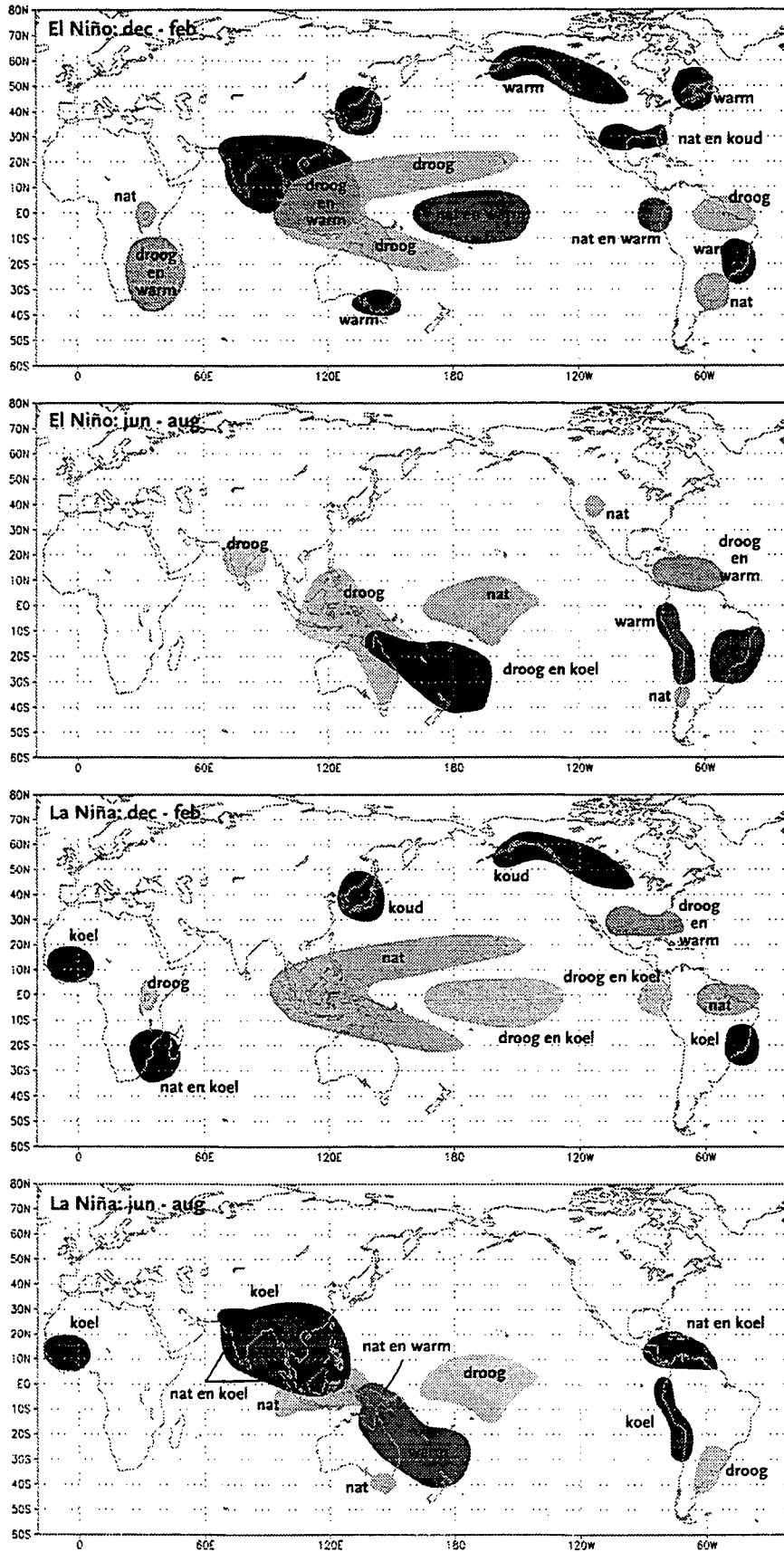


Fig. 2 Overzicht van verschijnselen die vaak optreden bij El Niño en La Niña (Naar: National Center for Environmental Predictions (NCEP)/Climate Prediction Center (CPC), Washington DC)

Misschien wel het beste seizoensverwachtings-systeem is dat van het European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) in Reading, Engeland. Dit centrum, dat zorgt voor de basis van de meeste meerdaagse weersverwachtingen in Europa, begon enige jaren geleden met een experimenteel systeem dat gebaseerd is op modellen die de mondiale atmosfeer en oceaan in zoveel mogelijk detail simuleren. Het systeem maakt een zo goed mogelijke schatting van de begintoestand van de oceaan (de toestand van de atmosfeer maakt niet veel uit voor de seizoensverwachting), en voorspelt vanuit die schatting de gezamenlijke evolutie van de atmosfeer en de oceaan, waarbij de SST van de oceaan de atmosfeer beïnvloedt, en de oceaan door de atmosfeer wordt aangedreven met wind, regen, verdamping en warmteuitwisseling. Het systeem wist de opkomst en het verval van de El Niño 1997/98 beter dan andere centra goed te voorspellen, evenals vele gevolgen van afwijkende SST's. Het atmosfeermodel dat door dit systeem wordt gebruikt is overigens een vereenvoudigde versie van het model dat ook voor gewone

weersverwachtingen wordt gebruikt. Een belangrijk ingrediënt van het succes van het systeem is dat de oceaancomponent van het systeem voortdurend wordt bijgestuurd naar aanleiding van metingen in de bovenste laag van de Stille Oceaan om een zo realistisch mogelijke schatting voor de begintoestand van het oceaanmodel te krijgen. Dat soort metingen wordt sinds een jaar of tien steeds meer gedaan.

Omdat seizoensverwachtingen meestal niet zo precies zijn als gewone weersverwachtingen, worden seizoensverwachtingen vaak als kansverwachtingen gepresenteerd. Die kunnen behoorlijk vaag zijn. Of zo'n verwachting nuttig is, scheelt van gebruiker tot gebruiker. Een moeilijkheid voor veel gebruikers hierbij is nu nog dat niet goed bekend is hoe nauwkeurig kansverwachtingen zijn, omdat de testperiode nog maar kort is. Verder is het natuurlijk zo dat seizoensverwachtingen vooral wat te melden hebben als er wat bijzonders gebeurt, zoals in 1997/98.

De meest recente El Niña verwachting van het ECMWF is dat de huidige La Niña in de loop van volgend jaar ophoudt, zoals in figuur 3 te zien is.

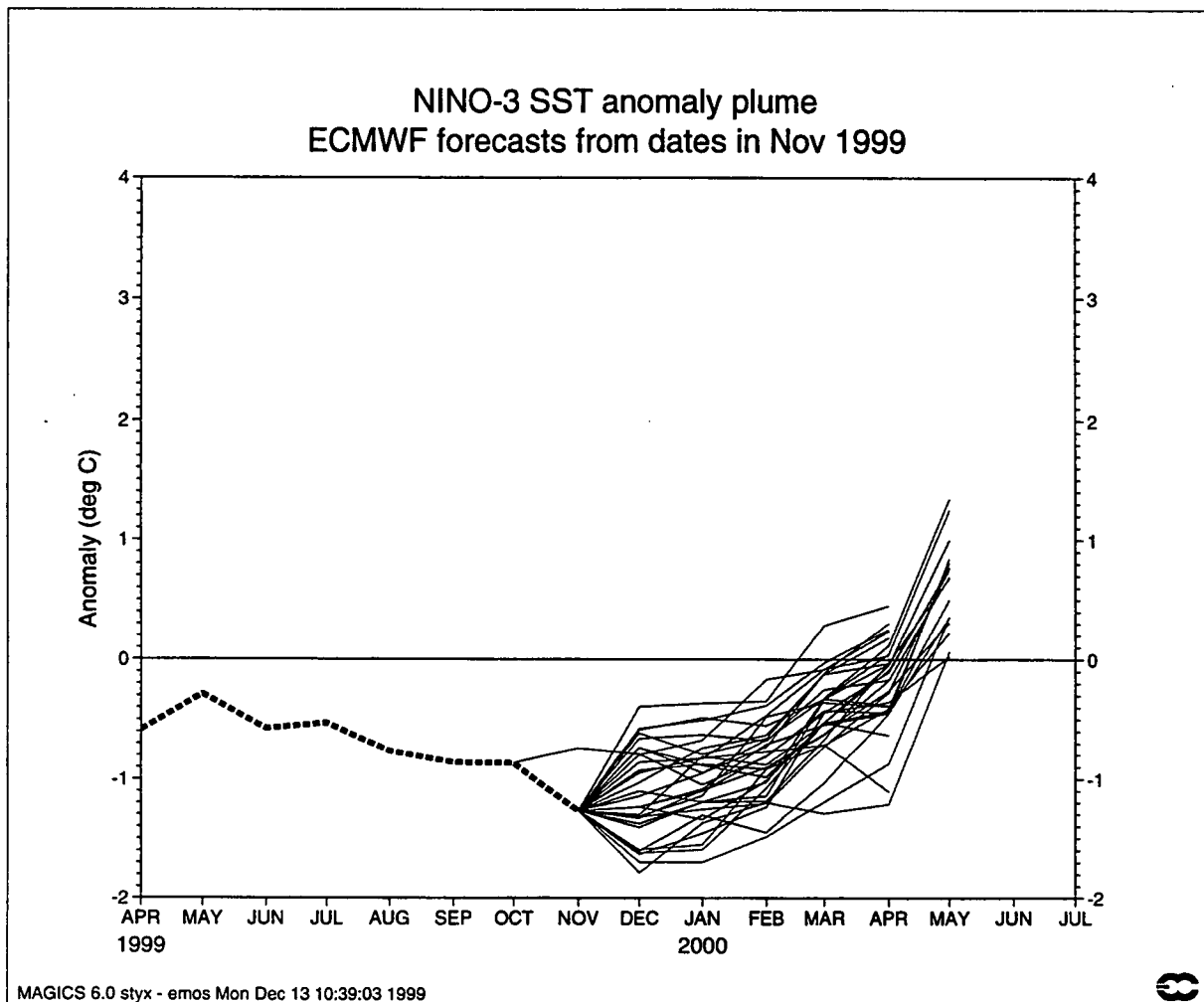


Fig. 3 Verwachting voor het verloop van de Niño3 index in de eerste helft voor de periode december 1999 - mei 2000, opgesteld begin december 1999 door het ECMWF. Elke dunne lijn in de figuur geeft een mogelijk scenario weer voor de Niño3 index, het geheel van lijnen geeft een indruk van de kans op hogere of lagere indices. Een hoge (lage) waarde van deze index duidt op een El Niño (La Niña). (Bron: ECMWF, Reading, UK)

Hoe werkt El Niño?

El Niño ontstaat door de manier waarop de oceaan en de atmosfeer elkaar beïnvloeden rond de evenaar in de Stille Oceaan. Beide zijn essentieel: als de toestand van de oceaan onveranderlijk zou zijn, dan zouden er geen El Niño-achtige verschijnselen optreden in de atmosfeer, en als de toestand van de atmosfeer onveranderlijk zou zijn, dan zouden er geen Niño-achtige verschijnselen optreden in de oceaan. Dit is anders met het Nederlandse weer, dat ook bij een onveranderlijke oceaan en Noordzee een afwisseling van periodes van slecht weer met periodes van mooi weer zou kennen, ook al heeft de zee natuurlijk wel enige invloed op het Nederlandse weer.

De oceaan beïnvloedt de atmosfeer door de zeewateroppervlaktetemperatuur (SST, sea surface temperature), terwijl de atmosfeer de oceaan vooral aandrijft door de wind die er over waait, en in mindere mate door uitwisseling van vocht en warmte. Omdat zee-water een veel grotere dichtheid en warmtecapaciteit heeft dan lucht, heeft de langzaam stromende zee geen invloed van betekenis op de beweging van de lucht, en heeft de warmteuitwisseling veel sneller invloed op de temperatuur van de lucht dan die van de zee. Daarom komt het er op neer dat door de SST de invloed van de zee op de atmosfeer vast ligt.

windstress

Doordat wind waait over de oceaan, wordt water meegesleept en impuls overgedragen van de lucht naar de oceaan. Die impulsverdracht wordt uitgedrukt als windstress = (impuls/tijdseenheid) / oppervlakte-eenheid, en heeft dezelfde dimensie als een druk. Een empirische formule die het verband geeft tussen de grootte van de windstress (τ) en de windsnelheid op 10 m hoogte (u_{10}) is $\tau = \rho_a \cdot c_D \cdot u_{10}^2$ waar ρ_a de dichtheid van lucht is, en c_D de empirische dragcoëfficiënt. Voor de oceaan ligt c_D in de range 0,001 – 0,002. Hoe hoger c_D , hoe 'ruwer' het oppervlak.

convectie

Convectie in de atmosfeer is het opstijgen van warme lucht. De lucht stijgt zolang die warmer is dan zijn omgeving, maar koelt wel af omdat die uitzet doordat de druk met hoogte afneemt. Als de lucht vochtig is, zal de waterdamp op zekere hoogte condenseren en uitregenen. De warmte die bij de condensatie vrijkomt, verwarmt de lucht waardoor die verder kan stijgen. Tropische onweerswolken kunnen zo wel 10 km hoog worden. In de tropen kan de lucht vrij veel waterdamp bevatten: tot zo'n 18 g/kg lucht aan het oppervlak, en ongeveer 4,5 g/kg lucht verticaal gemiddeld. Dat is ruwweg drie keer zoveel als in Nederland. De verdampingswarmte van water is 2500 J/g en de soortelijke warmte van lucht 1000 J/(kg K), dus als die 4,5 g per kg zou uitregenen zou dat voldoende zijn om de lucht ruim 10 °C te verwarmen. Het regent de tropen gemiddeld zo'n 2 m per jaar, of 2000 kg/m². De condensatiewarmte die daarbij vrijkomt is ongeveer 200 W/m², wat niet klein is verge-

leken met de hoeveelheid zonnestraling die binnenkomt (de zonneconstante is zo'n 1360 W/m², maar gemiddeld over dag en nacht straalt er aan de evenaar een factor π minder in). Van die 200 W/m² is een deel niet uit de tropen afkomstig: de passaatwinden die over de subtropen waaien doen water verdampen dat naar de tropen wordt meegevoerd. Hierdoor regent het in de tropen ongeveer 50 cm/jaar meer dan er verdampt, wat op 40 W/m² verwarming neerkomt (op onze breedtes regent het ongeveer 25 cm/jaar meer dan er verdampt, in de subtropen is er dus netto verdamping).

Corioliskracht

De centrifugale kracht is de bekendste schijnkracht die in draaiende systemen optreedt, maar in de meteorologie is de Corioliskracht veel belangrijker. Door de Corioliskracht krijgt (t.o.v. van de draaiende aarde) elk bewegend lichaam een versnelling loodrecht op zijn bewegingsrichting, naar rechts op het Noordelijk Halfrond, naar links op het Zuidelijk Halfrond. De grootte van de Corioliskracht is: $F_{cor} = f \cdot v$, met v de snelheid van het lichaam en $f = 2 \cdot \omega \cdot \sin \phi$, met ω de rotatiesnelheid van de aarde en ϕ de breedtegraad. Op gematigde breedtes balanceren de drukgradiënt en de Corioliskracht elkaar meestal bijna, dit heet 'geostrofie'. De lucht draait dan om depressies heen. Door de Corioliskracht komt het dat de passaatwinden die vanuit de subtropen naar de tropen waaien naar het westen afbuigen en zo oostenwinden worden. Voor stromingen gemiddeld over de bovenste laag van de oceaan is er een balans tussen de windstress, drukgradiënt en de Corioliskracht (pal aan het oppervlak beweegt het water wel in de richting van de wind, maar de via wrijvingskrachten daaronder opgewekte stroming draait weg van de windrichting met de diepte). Op de evenaar is de Corioliskracht nul, en stroomt de lucht wel van hoge naar lage druk.

Zoals hierboven al kort is vermeld zorgen de passaatwinden voor een temperatuurverschil tussen de westkant (Australië en Azië) en de oostkant (Amerika) van de Stille Oceaan: langs de evenaar wordt het warme water richting Azië geblazen en aangevuld met koud water van onderen. De stromingen die door de passaatwinden en de zuidoostenwinden langs de kust van Peru worden opgewekt, worden door de Corioliskracht afgebogen van de equator en van de kust. Het uit elkaar gedreven oppervlaktewater wordt door opwellen aangevuld met koud water van onderen. In het oosten langs de evenaar is het daardoor kouder dan 500 km van de evenaar af.

Normaal is het in het westen van de Stille Oceaan warm, met zeewatertemperaturen van rond de 30 graden, warm genoeg voor de vorming van tropische buien en opstijgende lucht. In het oosten is het koeler, rond de 25 graden, droog, met hooguit wat laaghangende bewolking. Boven warm water stijgt lucht meer op dan boven koud water. Als lucht stijgt en dus kouder wordt, condenseert het water in de lucht

en regent het. Daarom regent het in de Stille Oceaan veel meer aan de warme kant bij Azië dan aan de koude kant bij Amerika. Ook wordt er door de stijgende lucht aan de westkant lucht aangezogen, wat een deel is van de verklaring van de passaatwinden. Als de wind nu om een of andere reden minder hard gaat waaien, zal het in het oosten minder koud worden en zal het temperatuurverschil tussen west en oost afnemen. En als het temperatuurverschil afneemt, zullen de passaatwinden afnemen. Zo is er een soort cirkel van oorzaken die zich kunnen versterken: zwakkere winden geven een kleiner temperatuurverschil, dit geeft zwakkere winden, enzovoort.

Deze cirkelredenering is natuurlijk nog geen compleet beeld. Het zegt bijvoorbeeld niets over hoe lang El Niño's duren en hoe lang de tussenpoos tussen El Niño's is. Dit heeft te maken met eigenschappen van de oceaan. De atmosfeer past zich vrij vlug aan veranderende omstandigheden aan, binnen een maand. Maar in de oceaan duurt dat veel langer: in de tropen doet de reactie van de oceaan er zo'n twee maanden over om van west naar oost over te steken, en zo'n zes maanden om van oost naar west over te steken. Voor oceaangebrippen is dat overigens heel snel (wel een paar m/s!), en iets dat alleen kan in de tropen. Dit 'geheugen' van de oceaan leidt uiteindelijk tot de tijdschaal van El Niño.

Die signalen in de oceaan uiten zich vooral in afwijkingen van de dikte van de warme oppervlaktelaag die in de oceaan boven het koude diepzeewater ligt. Normaal is die warme laag in het westen dikker en warmer dan in het oosten, en verloopt de scheiding tussen warm en koud water van zo'n 200 m diep in het westen tot zo'n 50 m diep in het oosten. Die scheiding wordt thermoklien genoemd. Omdat de thermoklien in het oosten minder diep ligt, is daar de invloed van opwelling groter dan in het westen. Ook is er in het oosten een sterk verband tussen variaties in de diepte van de thermoklien en variaties in de oppervlaktetemperatuur van het zeewater, maar in het westen veel minder.

Thermokliendikte en zeeniveau

De thermokliendikte hangt nauw samen met de hoogte van het zeeniveau. Dat komt omdat de oceaan zich zo instelt dat het koude water op grote diepte nauwelijks beweegt, er op die diepte dus geen horizontale drukgradiënten zijn, en het gewicht van het water erboven dus overal gelijk moet zijn. Omdat warm water lichter is dan koud water, moet een dikkere thermoklien gecompenseerd worden door een iets hoger zeeniveau. Voor een relatief dichtheidsverschil tussen koud en warm water van 0,002 en een verschil in thermokliendiepte van 150 m is een laagje extra water van $0,002 \cdot 150 \text{ m} = 30 \text{ cm}$ nodig (zie figuur 4). Als de thermoklien extra opwarmt en/of dikker wordt, zoals bij een El Niño, dan zal het zeeoppervlak extra stijgen, bijv. als die 3 K warmer wordt over 200 m dan is de stijging $3\text{K} \cdot 200\text{m} \cdot 0,0003/\text{K} = 20 \text{ cm}$

(0,0003/K is de uitzettingscoëfficiënt van water). Verschillen in gemiddeld zeeniveau worden tegenwoordig niet alleen langs de kust van continenten en eilanden bepaald, maar ook met satellieten vanuit de ruimte door te meten hoe lang het duurt voordat een radarsignaal terugkomt. De satelliet kan kaarten maken van het hoogteverschil van een maand vergeleken met een andere maand met een nauwkeurigheid van een paar cm.

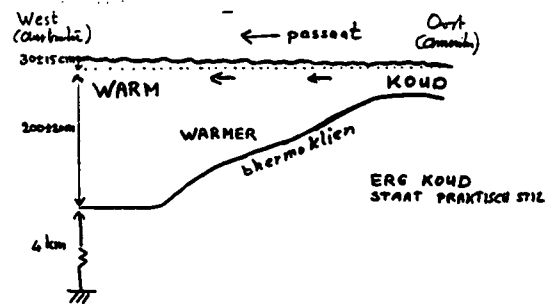


Fig. 4 Thermoklien en zeeniveau langs de evenaar in de Stille Oceaan

Opstuwning van de oceaan door de windstress

Dat de oceaan een beetje scheef staat, heeft weer met de windstress te maken. In de laag die direct door de wind wordt aangedreven (dikte H_0) is er een eerste benadering tussen de drukgradiënt en de windstress: $\rho_w \cdot g \cdot (h/L) = \tau/H_0$ met ρ_w de dichtheid van water, g de gravitatieversnelling, h het hoogteverschil tussen west en oost van de oceaan, L de afstand van west tot oost, en τ de windstress. Invullen van $L = 15000 \text{ km}$, $(\rho_w/\rho_a) = 0,0013$, $c_D = 0,0015$, $H_0 = 100 \text{ m}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$ en $u_{10} = 10 \text{ m/s}$ geeft een hoogteverschil van de orde van grootte van 50 cm.

Snelheden in de oceaan

Omdat de dichtheid van water veel groter is dan die van de atmosfeer en stromingen in de oceaan vooral door de wind opgewekt worden, stroomt de atmosfeer in het algemeen veel langzamer ($< 1 \text{ m/s}$) dan het waait in de atmosfeer. Ook de propagatiesnelheid van golfsignalen in de oceaan is veel kleiner dan in de atmosfeer. Een maximum voor de propagatiesnelheid wordt gegeven door 'ondiepwatergolfsnelheid' $c: c^2 = g' \cdot H$, met H de dikte van de laag waarin het signaal propageert, en $g' = g \cdot (\delta\rho/\rho) =$ gravitatieversnelling maal het relatieve dichtheidsverschil tussen de laag waarin het signaal propageert en de achtergrond. Voor de tropische Stille Oceaan gaat het om bewegingen van de warme bovenlaag die 100 m tot 200 m dik is en een relatief dichtheidsverschil van ruwweg 0,001 heeft t.o.v. het water daaronder. Dat leidt tot snelheden in de orde van grootte van 1 tot 3 m/s. Ruim 2 m/s komt overeen met 200 km per dag, en oversteken van de Stille Oceaan in ruim twee maanden. In de atmosfeer zijn de relatieve dichtheidsverschillen veel groter, ongeveer 0,1 - 1, en ook de effectieve laagdikte is in de orde van kilometers. Dan zijn de golfsnelheden dus veel groter. Zoals de naam 'ondiepwatersnelheid' al aangeeft, geldt de formule

voor golven in ondiep water, bijv. ook voor getijgolven in de Noordzee (met $g' = g$ en $H = 20$ m kom je dan uit op $c = 15$ m/s).

Rossby en Kelvin golven

Twee belangrijke soorten golven die niet alleen bij El Niño een rol spelen zijn Rossby- en Kelvin-golven. Deze golven (bij een golf wordt de beweging doorgegeven, maar verplaatsen de bewegende deeltjes zich maar over een beperkte afstand), die niet puur transversaal of longitudinaal zijn, ontstaan doordat de Coriolisparameter varieert met de breedtegraad. Daardoor is in een ronddraaiend werveltje geen perfecte balans mogelijk tussen Corioliskracht en drukgradiënt, en zal de positie van de wervel zich gaan verplaatsen (om dit preciezer uit te leggen is nog een tamelijk ingewikkeld verhaal), en wel naar het westen. Zowel de druk (zeehoogte) als de snelheid varieert in zo'n golf. De snelheid waarmee dit gebeurt hangt weer af van de breedtegraad; op gematigde breedtes gaat het heel langzaam. Rond de tropen verplaatsen bepaalde patronen zich relatief snel. De snelste Rossby-golf gaat met een snelheid $-c/3$ (c is de ondiepwatgolf snelheid) naar het westen, en het patroon bestaat uit twee maxima op ongeveer 5 graden van de evenaar, als c een waarde van ongeveer 2 m/s heeft.

Een speciale golf is de equatoriale Kelvin-golf. Deze heeft alleen oost-west snelheden: een deuk of bult in de thermoklien verplaatst zich naar het oosten met een snelheid $+c$. Dat de deuk niet uitwaaiert en de snelheden geen noord-zuid component krijgen, komt door de focuserende werking van de Corioliskracht. (Iets dergelijks treedt op bij getijde-Kelvingolven die antiklokwijls langs de kust van de Noordzee lopen, en alleen een snelheid evenwijdig aan de kust hebben: die lopen ook met een snelheid c , en waaieren niet uit omdat aan de ene kant de kust zit, en golven die van de kust af zouden willen lopen er door de Corioliskracht naar toe gebogen worden). Figuur 5 geeft Rossby-en Kelvin-golven langs de evenaar schematisch weer.

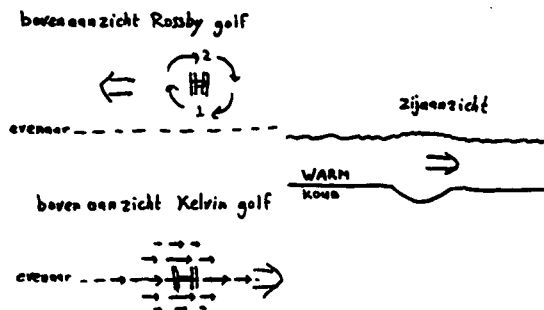


Fig. 5 Structuur van een Rossby- en Kelvin-golf langs de evenaar. Enkele pijlen geven de snelheid aan waarmee het water beweegt, dubbele pijlen de voortplantingsrichting van de golf. Naast golven met een diepere thermoklien en hoger zeeniveau, zijn er ook golven met een ondiepere thermoklien en lager zeeniveau. Het water stroomt dan omgekeerd als in het

geval van de diepere thermoklien, maar de voortplantingsrichting van de golf is wel hetzelfde!

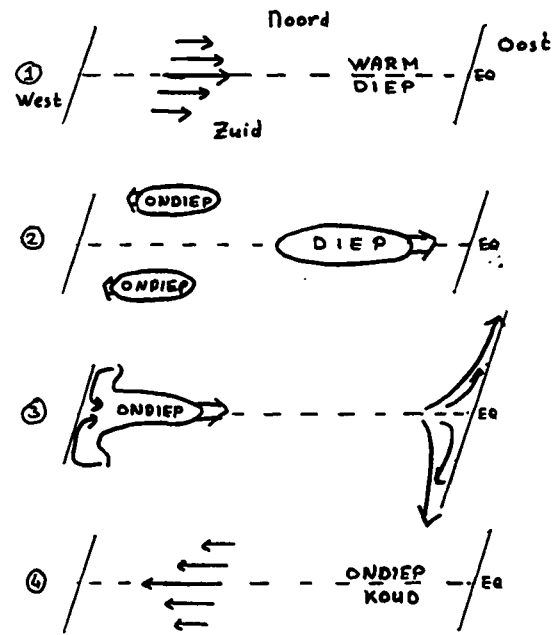


Fig. 6 El Niño cyclus. 1: El Niño toestand met positieve feedback van warm water op het oosten op wind rond de datumgrens, die een Kelvin-golf genereert die voor opwarming in het oosten zorgt. 2: De uitdieping langs de evenaar komt van ondiepe gebieden een eind van de evenaar af die als Rossby-golven langzaam naar het westen bewegen. 3: Aan de westkust gekomen, bewegen de ondiepe gebieden naar de evenaar, om vervolgens snel als Kelvin-golf naar het oosten te propageren om daar voor een negatieve feedback te zorgen. Aan de oostkust is er maar een gedeeltelijke reflectie van het diepe gebied, het meeste gaat langs de kust van de Amerika's naar het noorden en het zuiden. 4: Dit resulteert in de La Niña toestand, de omgekeerde van 1, met koud water in het oosten en sterker dan normale passaatwinds rond de datumgrens. In werkelijkheid is de El Niño cyclus veel minder regelmatig dan hier weergegeven.

Bewegingen en golven van de thermoklien spelen een belangrijke rol bij El Niño. Tijdens een El Niño is de thermoklien minder scheef en in het oosten veel dieper dan normaal, wat samengaat met hogere oppervlaktetemperaturen daar. De afwijkingen in de wind die daardoor optreden, zijn het sterkst rond de datumlijn, en maken daar de thermoklien dieper. Als Kelvin-golf wordt die diepere thermoklien naar het oosten doorgegeven, waardoor de temperatuur daar nog hoger kan worden en een positieve feedback ontstaat (zie figuur 6.1). Uiteindelijk ligt de thermoklien langs de evenaar veel vlakker dan normaal. Hierbij is een gigantische hoeveelheid warmte getransporteerd: om een laag water van 100 m dik in vier maanden zes graden op te warmen, zoals in 1997 gebeurde, is ongeveer 250 W/m^2 nodig.

Tijdens een El Niño ligt de thermoklien dus dieper in het oosten. En daar ligt ook de kiem van het einde van een El Niño. Al dat warme water waar de winden bij de datumgrens voor zorgen, moet ergens vandaan komen, en dat is van gebieden even ten noorden en ten zuiden van de evenaar. In die gebieden komt de thermoklien dus juist ondieper te liggen (zie figuur 6.2). Die ondiepe gebieden kunnen terugkomen bij de evenaar in het westen – waarschijnlijk spelen reflecties aan de westkust een rol – terwijl het gebied met een diepe thermoklien in het oosten juist de neiging heeft om zich poolwaarts te verspreiden (zie figuur 6.3). De ondiepe gebieden in het westen reizen vervolgens naar het oosten, doen het positieve effect van de afwijkingen in de winden meer dan teniet, en uiteindelijk is de thermoklien in het oosten ondieper dan normaal, en ontstaat er een toestand die La Niña genoemd wordt, met kouder dan normaal water langs de evenaar in het oosten van de Stille Oceaan (zie figuur 6.4), de omgekeerde toestand van de El Niño toestand van figuur 6.1. Hierna volgen de omgekeerde toestanden van figuur 6.2, 6.3 en vervolgens komt de El Niño toestand van figuur 6.1 terug en begint het weer van voren af aan. Dit mechanisme, met eerst een positieve feedback, gevolgd door een vertraagde negatieve feedback, staat bekend als het delayed oscillator mechanisme. In werkelijkheid verloopt de cyclus veel minder regelmatig dan hierboven weergegeven.

Het atmosfeer/oceaan-systeem is niet vaak in de 'gemiddelde' toestand, want sterkere en zwakkere El Niño's (warme episodes) en La Niña's (koude episodes) wisselen elkaar voortdurend af. Hoe stabiel de gemiddelde toestand is, is nog niet geheel duidelijk. Het kan zijn dat die licht instabiel is, d.w.z. dat verstoringen uit zichzelf groeien tot ze door niet-lineaire effecten begrensd worden. Het kan ook zijn dat El Niño door storingen van buitenaf in gang wordt ge-

houden met een gemiddelde toestand die net stabiel is, en dat het effect van een enkele storing langzaam uitdempt. El Niño is allerm minst regelmatig. Soms zijn er perioden met geleidelijke grote schommelingen, zoals in de jaren tachtig, soms springt het op en neer van de ene paar maanden naar de andere. Waarschijnlijk wordt een groot deel van deze onregelmatigheid veroorzaakt door 'weer', d.w.z. storende invloeden van buitenaf die op zich los staan van het El Niño verschijnsel. Mogelijk wordt een deel veroorzaakt doordat het El Niño systeem zelf chaotisch is.

Dr. Gerrit J.H. Burgers

KNMI

Tel.: 030-2206714

E-mail: burgers@knmi.nl

Websites met El Niño informatie

- El Niño informatie KNMI:
http://www.knmi.nl/onderzk/oceano/special/nino/nino_nl.html
- El Niño onderzoek op het KNMI:
<http://www.knmi.nl/onderzk/oceano/enso/introne.html>
- El Niño en regen in Nederland:
<http://www.knmi.nl/~oldenbor/ENSODEBilt>
- De toestand van het klimaat in Nederland (met veel data):
<http://www.knmi.nl/voorl/nader/klim/klimaatrapportage.html>
- Seizoensverwachtingen van het ECMWF:
<http://www.ecmwf.int/services/seasonal/forecast>
- NASA-JPL classroom activities, o.a. El Niño:
<http://topex-www.jpl.nasa.gov/education/class-activities.html>

De hemelglobe: een hulpmiddel voor de beschrijving van hemelbewegingen

Werkgroep 6

G. Linssen



Inleiding

Sterren, planeten, zon en maan bewegen aan de hemel. Het is een doelstelling van het vak ANW om leerlingen met deze bewegingen vertrouwd te maken. Doel van deze werkgroep was om na te gaan of de hemelglobe een mogelijkheid biedt om deze doelstelling te realiseren. De aanpak is afkomstig uit de methode ANW-Actief van NijghVersluys.

De hemelglobe

Sterren bewegen aan de hemel. Ze komen op in het oosten, culmineren in het zuiden en gaan onder in het westen. Sterren die laag in het zuiden staan, maken maar een korte beweging aan de hemel. Het grootste gedeelte van het etmaal staan ze onder de horizon. Sterren die dichtbij de Poolster staan zijn circumpolair. Ze staan altijd boven de horizon. Overdag zijn ze niet te zien, maar dat komt omdat het licht van de zon dan overheerst.

Een middel om de hemelbewegingen van hemellichamen te begrijpen en te voorspellen is de hemelglobe. De hemelglobe vormt al sinds de 15e eeuw een hulpmiddel bij o.a. de navigatie.

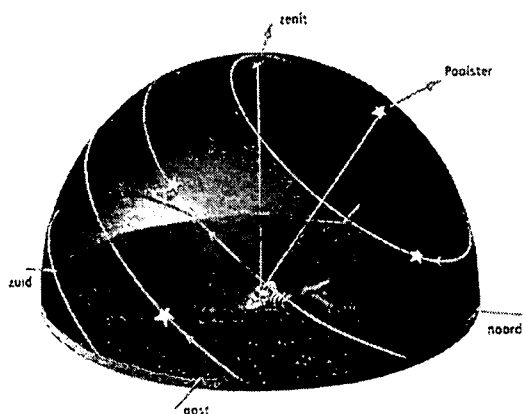


Fig. 1 De dagboog van sterren aan de hemel



Fig. 2 Een hemelglobe

De brede houten rand functioneert als horizon. Hierop zijn de vier windstreken aangegeven, samen met een gradenverdeling. De as waarom de globe draait, wijst naar de Poolster. De hoek van de as met de horizon (dus de hoogte van de Poolster) moet worden aangepast aan de breedtegraad waar men zich bevindt.

In de werkgroep is gebruik gemaakt van hemelglobes die door leerlingen gemaakt zijn. Opdracht was om

een bekend sterrenbeeld op de hemelbol aan te brengen en de beweging aan de hemel te onderzoeken.

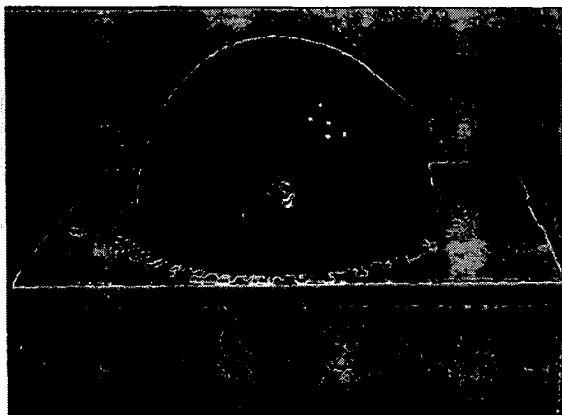


Fig. 3 Een zelfgemaakte hemelglobe

Ingewikkelder dan de beweging van de sterren is de beweging van de zon. De zon verplaatst zich in een jaar tussen de sterren. De sterrenbeelden die de zon aan de hemel passeert, vormen de dierenriem. De baan van de zon aan de hemel wordt de ecliptica genoemd. De ecliptica kan men aangeven op de hemelglobe. In dat geval kan men ook de zon aan de hemel plaatsen. Dan kan een veelheid van hemelverschijnselen onderzocht worden zoals:

- Hoe lang duurt de langste dag?
- Hoe hoog staat de zon dan aan de hemel?
- Waarom is Orion een wintersterrenbeeld?

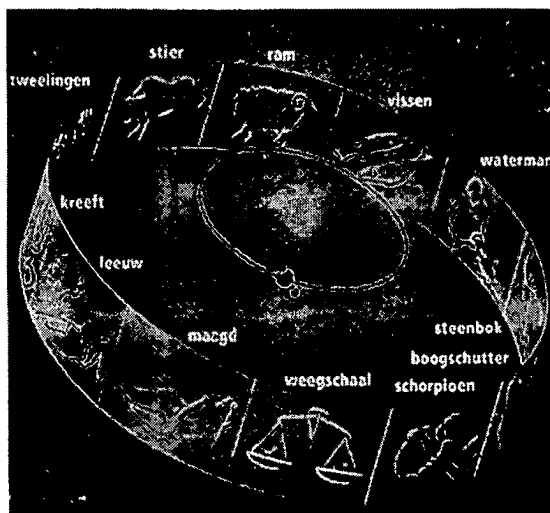


Fig. 4 De dierenriem. Vanaf de aarde gezien staat de zon op dit moment in het sterrenbeeld Ram

Tijdens de evaluatie van het werken met de hemelglobe kwam naar voren dat de hemelglobe een geschikt instrument vormt om leerlingen van HAVO en VWO inzicht te geven in hemelbewegingen van sterren. Het werken met de ecliptica lijkt alleen weggelegd voor de (betere) VWO-leerling.

Veldwerk met Casio's grafische rekenmachine en datalogger

Werkgroep 8

K. v.d. Veen & K. Vergouwen

Hogeschool van Utrecht



Inleiding

Met veldwerk gaan de gedachten natuurlijk richting *Natuurkunde van 't Vrije Veld*. Minnaert had echter alleen de beschikking over een zeer beperkte set meetinstrumenten om zijn verkenningen te kunnen ondersteunen met metingen. Tegenwoordig hebben we met de grafische rekenmachine, de daaraan gekoppelde datalogger en alle beschikbare sensoren extra mogelijkheden gekregen om in het veld te gaan meten en de metingen te verwerken.

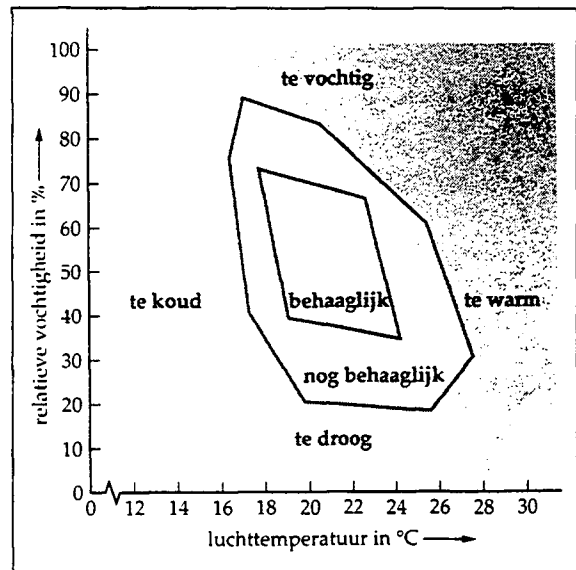
In deze werkgroep aandacht voor de extra mogelijkheden van de genoemde nieuwe apparatuur om veldwerk uit te gaan voeren. Met een aantal dataloggers en rekenmachines zullen we de gebruiksmogelijkheden verkennen om vervolgens, afhankelijk van het weer, buiten of binnen het gebouw een aantal mogelijkheden te gaan uitproberen.

Veldwerk met een datalogger

Een serie metingen, die d.m.v. de datalogger zijn gedaan en met de grafische rekenmachine in beeld zijn gebracht, geeft een beeld van veranderingen in tijd en ruimte, van een veranderingproces. Zicht krijgen op het proces, daar gaat het ons in eerste instantie om. Het kwantitatief verwerken van de meetgegevens, het toetsen van de metingen aan een model enz., komt daarna en laten we in deze werkgroep buiten beschouwing.

Temperatuur – De meting met de temperatuursensor kan op de datalogger ingesteld worden. Het display geeft feed-back. De combinatie van grafische rekenmachine en datalogger biedt de mogelijkheid als feedback direct elke meting in grafiek weergegeven te zien. Gebruik dan het programma TEMP. Voor de temperatuur in combinatie met de relatieve vochtigheid, tezamen goed voor een indicatie van de behaaglijkheid, is het programma BEHAAG beschikbaar. De weergave van de meetpunten is gelijk aan onderstaand voorbeeld. Tijdens het meten komen de pun-

ten één voor één op het scherm van de grafische rekenmachine in beeld.



Veranderingen van de temperatuur in de tijd: bij zonsopkomst en -ondergang verandert de temperatuur. Gaat de verandering van de temperatuur gelijk op met de verandering van de hoeveelheid zonlicht? Temperatuur die afhangt van de plaats: meting van de temperatuurverdeling, in de vroege ochtend na een heldere nacht, van grondoppervlak tot 2 m hoogte. De hoogten waarbij wordt gemeten kunnen, los van de meting, opgeslagen worden in de rekenmachine. Ook bij luchtspiegelingen, die worden veroorzaakt door een sterke temperatuurgradiënt aan het spiegelende oppervlak, is de temperatuur op verschillende hoogten goed te meten.

Bewegingen – Ook nu weer voldoende mogelijkheden om binnen en buiten te meten aan bewegingen. Mocht veldwerk door weersomstandigheden lastig

zijn, dan zijn er altijd voldoende mogelijkheden om binnen aan het werk te gaan.

Met de afstandsensor is een grote verscheidenheid aan bewegingen te registreren. Denk bijv. aan lopen, fietsen/remmen, skate board, en bewegingen in een pretpark. Uit een plaats-tijd diagram is een snelheid-tijd diagram te berekenen. De datalogger of rekenmachine doen dat voor ons. Door de positie van een opstijgende ballon te meten is na te gaan hoe snel de ballon een constante snelheid heeft en hoe groot die

snelheid is. Belangrijk als je de ballon bijv. wilt gebruiken bij het meten van de wolkenhoogte.

Met de versnellingsopnemer kan het bochtenwerk, maar ook de beweging van hand en onderarm bij gebruik van een handboor of -schuurmachine, gemeten worden. Vergelijk de resultaten met theoretische voorspelling en Arbo-normen.

In een lift zijn er weer andere versnellingen die goed meetbaar zijn.

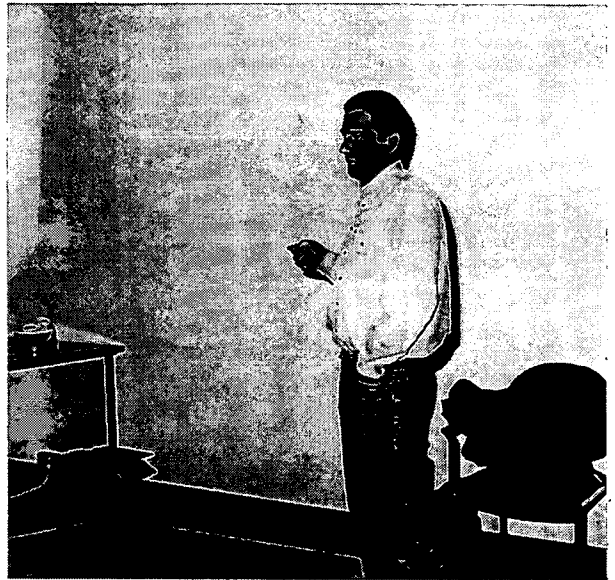


Oceanografische metingen vanaf de veerboot Den Helder - Texel

Werkgroep 11

H. Ridderinkhof

Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ)



Inleiding

In een samenwerking tussen het NIOZ (Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee) en de rederij TESO (Texels Eigen Stoomboot Onderneming) wordt de veerboot *Schulpengat* als platform gebruikt om langdurige metingen van oceanografische gegevens te verrichten in het Zeegat van Texel, een van de zeegaten die een verbinding vormt tussen de Waddenzee en de Noordzee. De veerboot vaart het traject den Helder - Texel iedere 30 minuten, dagelijks vanaf 06.00 tot 22.00. De gegevens worden direct gepresenteerd in de lunchroom van de veerboot en daarnaast ieder uur, wanneer de veerboot is afge-meerd in de haven op Texel, doorgezonden naar het NIOZ en deels gepresenteerd op Internet. Het project werd gestart in het kader van het VN-Jaar van de Oceanen 1998 waarin extra aandacht werd gevraagd voor een groter besef van het belang van zeeën en oceanen voor het klimaat op aarde.

De metingen worden bij het wetenschappelijk onderzoek van het NIOZ gebruikt om een beter inzicht te verkrijgen in het transport van water en daarin mee-gevoerde stoffen tussen de Waddenzee en de Noord-zee. Dit transport is van groot belang voor het functi-oneren van het ecosysteem in de Waddenzee en voor de morfologische ontwikkelingen in de kustzone. De Schulpengat-metingen zijn bij dit onderzoek zeer waardevol vooral vanwege de frequentie en duur van de metingen.

In deze bijdrage worden eerst de instrumenten waar-mee de metingen worden verricht en de gemeten va-riabelen besproken, gevolgd door een beschrijving van de gegevens zoals die gepresenteerd worden aan boord van de veerboot en op Internet. Hierbij wordt een aantal fysische verschijnselen die direct in de waarnemingen zichtbaar zijn nader toegelicht.

Instrumenten

Aan de veerboot is een aparte waterinlaat bevestigd waardoor continu zeewater langs een aantal sensoren

wordt gepompt. Deze sensoren zijn bevestigd in de machinekamer van het schip. Met een frequentie van 1 Hz worden de volgende oceanografische param-eters gemeten:

- watertemperatuur
- zoutgehalte, een maat voor de relatieve hoe-veelheid zoet (rivier)water en zout (zee)water
- fluorescentie, een maat voor de hoeveelheid plankton.

Daarnaast is er een 'Acoustic Doppler Current Pro-filer' (ADCP) bevestigd aan de onderzijde van het schip, vlakbij de kiel. De ADCP is een akoestisch in-strument (vergelijkbaar met een sonar) waarmee ge-luidsgolven worden uitgezonden en terugontvangen. Deze geluidsgolven reflecteren aan deeltjes die in het water zweven. Het terugontvangen signaal wordt ge-bruikt om de snelheid waarmee deze deeltjes (en het omringende water) bewegen te bepalen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het Doppler-principe. Op deze manier worden met een frequentie van 2 Hz en een verticale resolutie van 0,5 m gegevens verzameld over:

- stroomsnelheid en stroomrichting
- echo-intensiteit als maat voor de hoeveelheid se-diment.

Voor de verwerking en interpretatie van de metingen is het daarnaast van groot belang dat de positie en snelheid van het schip continu worden geregistreerd. Daarom worden ook continu een aantal navigatiege-gevens van de veerboot, zoals de positie (DGPS) en koers (GYRO) in een database opgeslagen. Deze ge-gegevens worden ook gebruikt om de metingen op het juiste moment te laten uitvoeren (alleen wanneer de veerboot buiten de pieren van de havenmonden is).

Een netwerk van een aantal computers zorgt er ver-volgens voor dat een deel van de data direct aan boord wordt gepresenteerd en dat ieder uur wanneer de veerboot in de veerhaven op Texel ligt, de inge-wonnen gegevens telemetrisch worden verzonden naar het nabij gelegen NIOZ.

Presentatie gegevens aan boord

In de passagiersruimte van de Schulpengat zijn schermen geplaatst waar een deel van de metingen 'live' wordt gepresenteerd. De metingen worden zeer sterk beïnvloed door het getij. Daarom wordt de voor de betreffende dag gemeten (en voorspelde) waterstand in den Helder getoond wanneer de veerboot in de haven ligt. Uit de getoonde waterstand is de fase van het getij op dat moment af te leiden. Daarnaast zijn afwijkingen tussen de gemeten en berekende waterstand veelal goed te herleiden aan de windrichting en -sterkte (verhoging bij westenwind en verlaging bij oostenwind).

Tijdens de overtocht wordt de positie van de Schulpengat in het Zeegat van Texel continu getoond, samen met vectoren die de stroomsnelheid en stroomrichting van het water onder het schip weergeven. Daarnaast worden afwisselend ten eerste de watertemperatuur en het zoutgehalte, en ten tweede de bodemligging en de verticale verdeling van de stroom-

snelheid, met een interval van 0,5 m, getoond. In de getoonde grafieken zijn vaak een aantal opmerkelijke fysische verschijnselen waar te nemen.

Stroming – De stroming hangt sterk af van de fase van het getij: tijdens vloed stroomt het water van de Noordzee naar de Waddenzee en omgekeerd tijdens eb (zie figuur 1). Daarnaast zijn er opmerkelijke verschillen in de stroomsnelheid die samenhangen met de waterdiepte en de fase van het getij. Meestal is de stroomsnelheid het grootst boven de diepere gedeeltes van het zeegat omdat daar de bodemwrijving de stroming minder afremt. Tijdens de kentering van het getij (wanneer de stroming omdraait van vloed naar eb) blijkt de stroming tegengesteld van richting te zijn in verschillende delen van het zeegat: door traagheidseffekten duurt het langer voordat de stroming in de diepere gedeeltes van het zeegat van richting verandert.

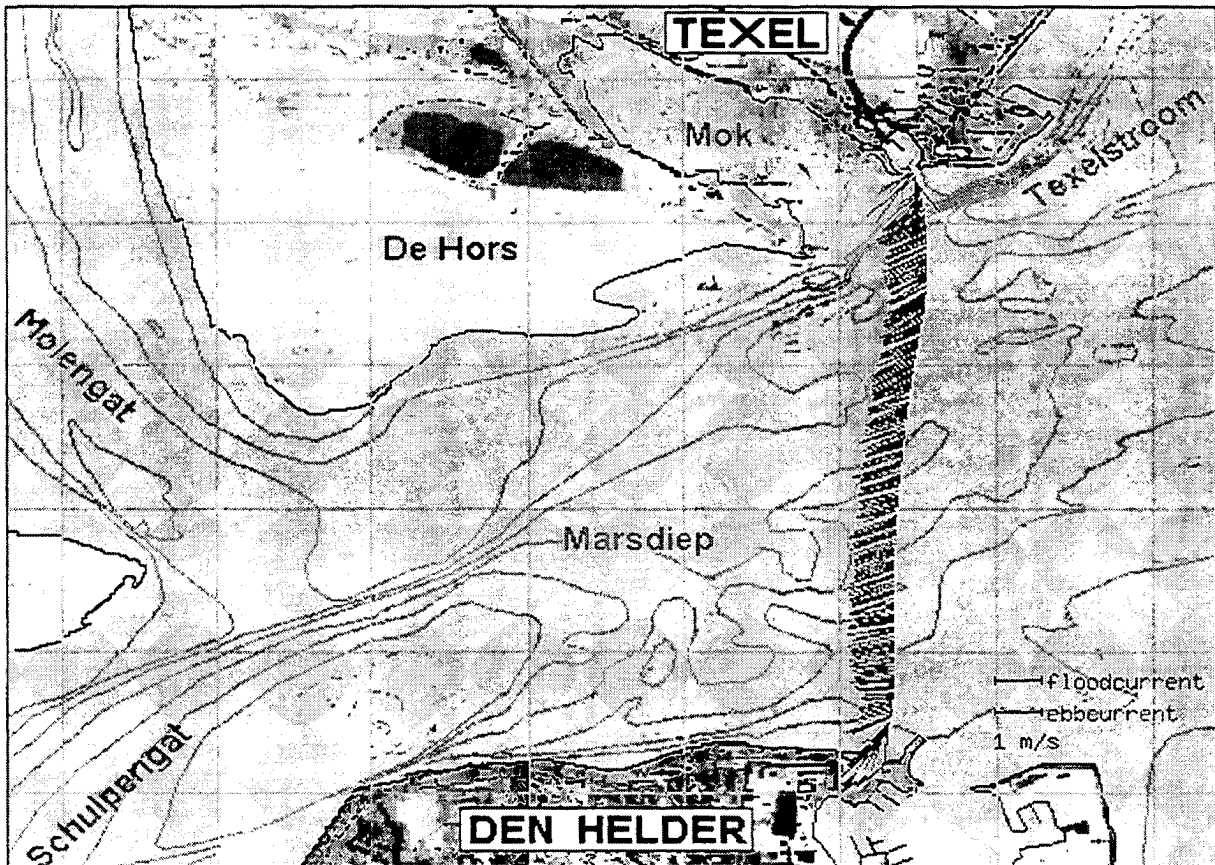


Fig. 1 Stroomvectoren tijdens eb op de route van de veerboot Schulpengat tussen den Helder en Texel

Watertemperatuur en zoutgehalte – Tijdens een overtocht treden de veranderingen in watertemperatuur en zoutgehalte vrijwel gelijktijdig op (zie figuur 2). Deze variaties worden veroorzaakt doordat er in het Zeegat van Texel veelal watermassa's van verschillende origine aanwezig zijn. Tijdens eb stroomt er bijvoorbeeld zowel zeewater afkomstig van de wad-

platen als uit de diepe geulen in de Waddenzee door het zeegat. Deze watermassa's zijn verschillend in temperatuur en zoutgehalte omdat de menging tussen deze verschillende watermassa's relatief langzaam plaatsvindt. 's Zomers warmt het water boven de wadplaten bijvoorbeeld veel sterker op dan in de diepere geulen, en deze verschillen zijn in het zeegat

nog duidelijk waarneembaar. Ook het zoutgehalte hangt sterk af van de afkomst van het water: naarmate het water afkomstig is van gebieden dichter bij de spuisluisen in de Afsluitdijk zal het zoutgehalte lager zijn. Vaak zijn de verschillende watermassa's ook goed vanaf de veerboot te zien, enerzijds door verschillen in kleur van het water, anderzijds doordat de grens tussen twee watermassa's gemarkeerd wordt door een stroomnaad. Een stroomnaad manifesteert zich vaak als een 'lijn' op het oppervlak van het wa-

ter waar veel 'schuim' en drijvend materiaal aanwezig is. Door verschillen in dichtheid van twee aangrenzende watermassa's ontstaat er een stroming aan het oppervlak in de richting van de grens tussen de watermassa's. Hierdoor worden drijvende materialen (en luchtbelletjes) verplaatst naar deze grens en ontstaat er een stroomnaad of 'schuimlijn'. Wanneer de veerboot door een dergelijke stroomnaad vaart is er meestal een scherpe 'sprong' in de grafiek met temperatuur en zoutgehalte waar te nemen.

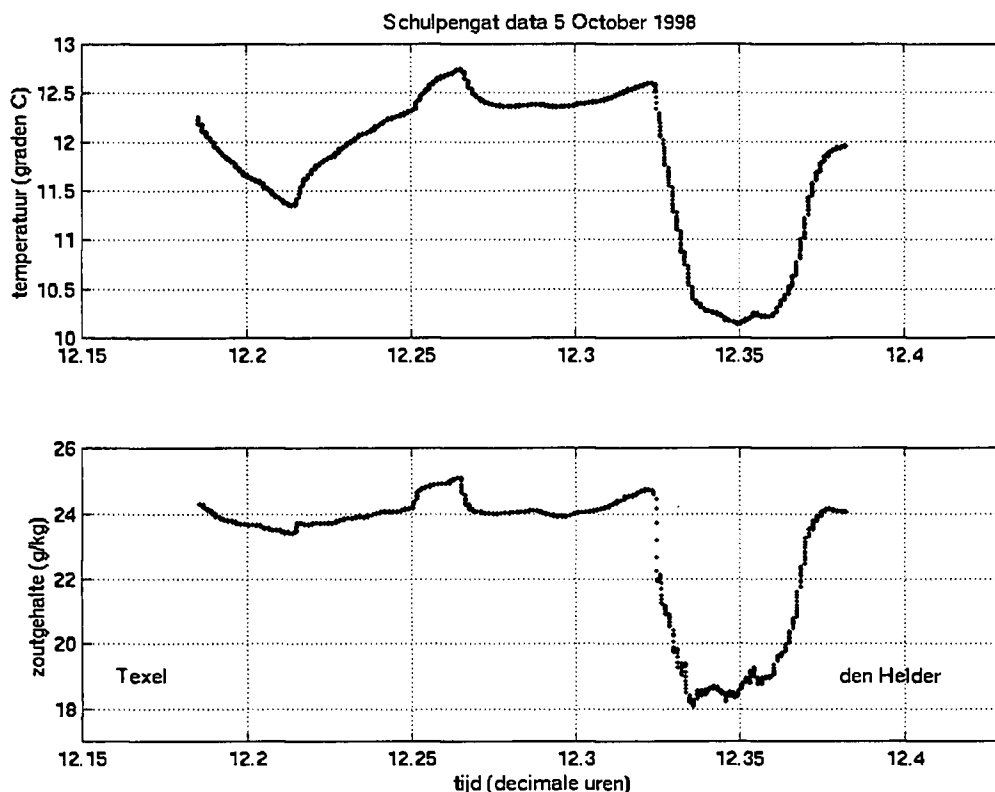


Fig. 2 Variaties in watertemperatuur en zoutgehalte tijdens een overtocht van de veerboot van Texel naar den Helder op 5 oktober 1998

Presentatie gegevens op Internet

Een deel van de gegevens wordt ook getoond op Internet (zie www.nioz.nl). Naast een algemene projectbeschrijving worden ook allerlei (bewerkte) resultaten getoond. De stromingen in het zeegat tijdens opeenvolgende overtochten van een willekeurige dag laten de typische veranderingen in stromingen tijdens een getijperiode zien.

De gemiddelde waarde per overtocht van het zoutgehalte, de watertemperatuur en de fluorescentie wordt in grafieken getoond. Uit deze grafieken is duidelijk dat de tijdsvariaties in deze variabelen op verschillende tijdschalen plaatsvinden (zie figuur 3). De watertemperatuur vertoont natuurlijk een sterke seizoensafhankelijkheid, waarbij de hoogste temperaturen aan het eind van de zomer worden gevonden en de laagste temperaturen aan het eind van de winter. Variaties in zoutgehalte hangen vooral samen met variaties in zoetwatertoevoer naar de Waddenzee, direct

via de spuisluisen in de Afsluitdijk en indirect via de afvoer van de Rijn die via de Noordzee de Waddenzee bereikt. Lage zoutgehaltes worden vaak in het najaar en voorjaar gevonden, wanneer de neerslag het grootst is. Variaties binnen een dag zijn direct gekoppeld aan het getij: tijdens eb stroomt water met een andere temperatuur ('s zomers hoger en 's winters lager) en zoutgehalte (lager) door het zeegat dan tijdens vloed wanneer het omgekeerde plaatsvindt. Variaties in fluorescentie worden veroorzaakt door variaties in de hoeveelheid en samenstelling van plantaardig plankton in het water. Vergelijkbaar met de groei van planten op het land is de groei van plankton in zee sterk afhankelijk van de hoeveelheid zonlicht en de hoeveelheid voedingsstoffen (nutriënten) in het water. Bloeien van plankton treedt voornamelijk op in het vroege voorjaar en daarna onregelmatig af en toe in de zomer en het najaar.

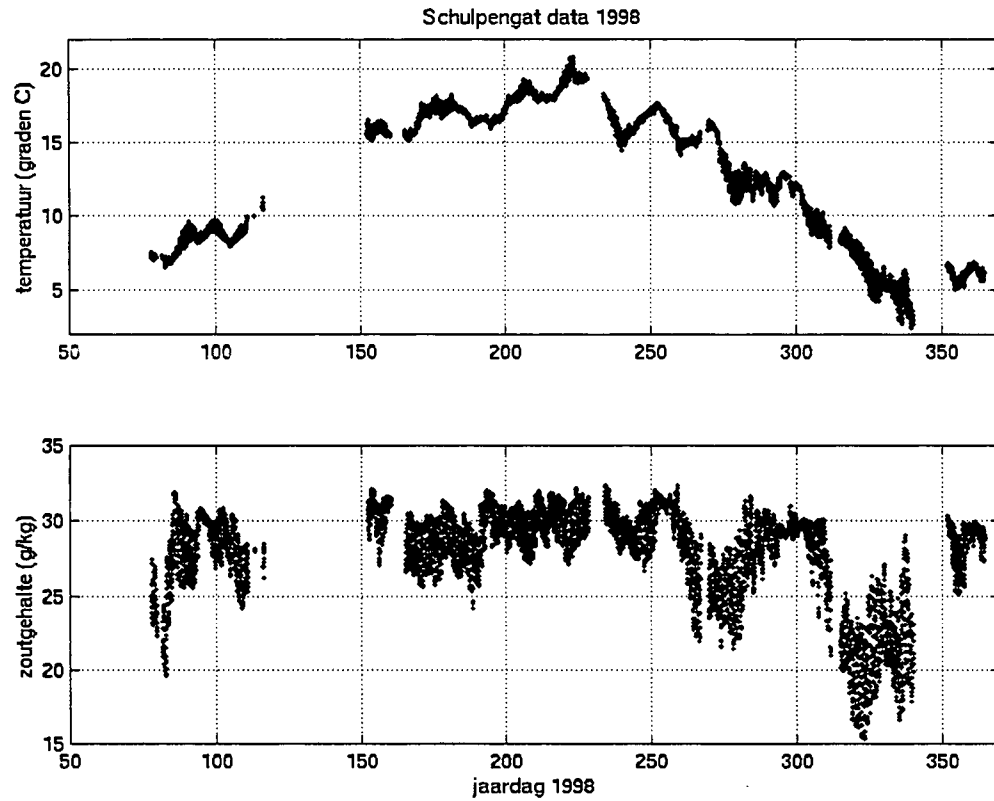


Fig. 3 Variaties in watertemperatuur en zoutgehalte in het jaar 1998. Voor elke overtocht is de gemiddelde waarde gegeven

Thinking about a round world

Werkgroep 12

L. Fucili

Group of Research in Astronomy Education
University of Rome "La Sapienza"



Objectives

The objective of this workshop is to research, find and control some relations between what we know and what we perceive about the shape of the world and about our perception of the space that surrounds us. Everybody knows that the earth is a sphere, but experiences about this question with children and adults, students and teachers of every school level demonstrate that most people don't use the concept of earth-sphere. In effect, in practical and everyday life everybody lives and acts as if the earth was really flat and in the centre of universe. When we enjoy a sunset, we don't think that the earth is turning around itself, but we think that the sun is moving, and in fact we say: 'The sun is setting'. But as teachers we must be aware of the different uses of common sense knowledge and scientific knowledge and about the complex relations on which scientific knowledge is based.

In fact, if we have a real understanding of the concept of earth-sphere, we must be able to connect the spherical form with its geometrical and physical properties, but usually we are not. That means that the common sense of modern man is connected only with his own experience, like it is for a primitive man, and that the role of school in learning scientific knowledge is a failure. At school often only isolated notions are taught (the earth is a sphere) and not relations between this knowledge and other fields of knowledge.

Besides that, we focus our attention on some aspects of the dynamics of individual cognitive processes and on the problem of inducing a conceptual change or restructuring by unusual learning situations.

We don't want to reflect about teaching, but about mental processes of learning: to make explicit what is usually implicit (reflective learning) by using simple but significant questions and some unusual models.

For this reason we require an active personal involvement of the participants: they don't stay in the

perspective of an observer, but of a learner who produces actions, thoughts, perceptions and expectations during a specific learning situation. This allows them to reconsider their conceptions, making explicit the implicit ones, to reach a first systematic organisation of the results of their strategies of reasoning and perhaps to modify their points of view.

Pedagogical background

'In education we need more researchers than connoisseurs, more novices than experts. If you are a researcher, you can be astonished. You must uncover other knowledge and discoveries to go forward. You will then understand that research starts from within the individual.' (Bruner, *Educational Psychology. A cognitive view*, 1966)

We want to get the teachers to ask themselves:

- Which mental habits, concepts and common sense concepts do our students have about the knowledge we plan to teach and discuss in our course?
- How may we get to know those mental habits?
- How may we have them see that some of their ideas are in conflict with scientific knowledge?
- How may we help them to *restructure* or to extend their conceptual framework?

In every process of teaching/learning what is essential, is 'understanding'. But the process of 'understanding' is an arduous and individual one. Once started, it expands by itself, but for this to happen it needs an inspiring hand and a 'significant context'. Only in this way it can continue until we are aware of the knowledge at issue.

One of the most important objectives in teaching is that students understand, but failures and 'blocks' in learning often are found in students. Why? A basic misunderstanding, a confusion between one's own '*roots*' and '*foundations*' of knowledge, is the main cause of these failures.

Roots – One's own 'roots' are often ignored in education, but conceptions and knowledge develop on the ground of those roots. *Roots* are:

- different and more important than the 'pre-requisites' we usually test at school
- deep and in continual regeneration and growth
- interwoven with the individual exterior and interior reality; all knowledge is realised within this web
- connected with a millenarian cultural tradition
- different for each person, because of different everyday experiences
- dependent on the context.

We all have our own roots, we begin and continue our learning with concepts already established in our minds. *Old mental habits die hard*, and this is especially so for ideas that we have regularly found useful in the past. It's important that our mental habits do not die, but only assume a new meaning: '*Learning means to give new meaning to one's own experience.*' (Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*)

We need to be alert to the 'roots' our students have about the concepts we plan to teach them. If not, introducing new ideas into their conceptual framework can be an uncomfortable and time-consuming process: '*People will not understand something only because it has been shown to be true. They must be taken from their standpoint [roots] and brought forward [to foundations of scientific knowledge].*' (Wittgenstein, *Philosophische Untersuchungen*, 1953)

Foundations of knowledge – Every discipline is a construction of global truth on its own foundations: specific, universal and coherently correlated building blocks (guiding principles, key concepts, central ideas).

Without knowing the foundations we can't expand our disciplinary knowledge...

Copernicus is right in saying: '*Mathematics has been written for mathematicians.*'

Galilei: '*... and who doesn't know that language is going around in a dark labyrinth.*'

... but in teaching it is not enough to start from foundations.

What should we do?

- Make explicit and collective the individual 'roots'.
- From provisional foundations, construct consistent and true concepts and correlate them into scientific knowledge.

'Only one idea can unify educational psychology. That is, that the knowledge students already possess [roots], is the most important thing in learning [foundations].' (Ausubel, *Education and process of knowledge*)

Students' ideas must not be replaced by scientific theories, but we must lead students forward to see gradually the differences between their common

sense knowledge and scientific knowledge, and to use both in different contexts and for different objectives: knowledge is a continuous process of accommodation.

As teachers we need to realise how ineffective it can be to take our own experience, transmute it in a flow of words and thrust it into the student in the hope that he can reconstitute from it a similar experience in his own mind. We must know, respect and support the cognitive roots of students, helping them to make explicit the implicit ones. The balance between 'helping students to find out for themselves, starting from their roots' and 'telling them all they need to know about foundations of knowledge' is one of the major strategic decisions to be made in teaching

Historical Premise

*'The end of all our exploring
will be to arrive where we started
and know the place for the first time'*
Eliot, *Four Quartets*

In ancient times people already knew the roundness of the earth: it was true for Ovid in the 1st century, and Sacrobosco in the 13th century confirmed that ... but mental images about the shape of the Earth were various:

'When the first God created the world, he began shaping the Earth in such a way that every part had the same weight, and he made it round.' (Ovid (43 b.C. - 17 p.C), *Metamorphosis*)

'If the earth were flat from east to west, stars would rise at the same time for all who inhabit the world, and this is incorrect. Furthermore, if the earth were flat from north to south, stars would always be visible to an observer wherever he went, and this is also incorrect. The earth seems flat to people because of its great wideness.' (Sacrobosco, XIII cent., *De Sphaera mundi*)

'I say that the world - land and sea - is spherical, and Ptolemy's experience and that of others who have written about the world confirm and demonstrate this, as do eclipses of the moon, experiments made from east to west, and the observation of the different height of the Polar Star from south to north.

I have seen so many irregular shapes, and for this reason I made my own idea of the world: I have found that it is not round as they describe it but it has the shape of a very round pear, with the exception of the part where the stem is, that is the highest point. Alternatively we can say its shape is like a very round ball and on a point of which there is a 'woman's nipple': this part of the world is the highest and nearest to the sky and it lies under the equinoctial line. On its summit, I believe, is heaven.' (C. Columbus, XVI cent.)

Mauro, a monk in Venice during the XV century made his map of the world never travelling, but starting in his monastery in Venice and hearing from sailors, pilgrims and travellers the histories about their trips and their ideas of the world:

'I'm afraid that my image of the earth is not correct. Perhaps in reality the world is different from how I have begun to perceive it. Every man who lived on this earth has contributed to its evolution, because his observations have helped to modify it. For this reason the world is completely built by thought, continually changing during reflections about it by man.'

Everybody has his own perception of the world that surrounds him:

'I am my world.' (Ludwig Wittgenstein)

Let's discover our own images of the Earth...

Activities about roots

'We start, I say, with a problem. At best, we have only a vague idea what our problem really consists of. How, then, can we produce an adequate solution? Obviously, we cannot. We must first get better acquainted with the problem. But how? My answer is very simple: by producing an inadequate solution, and by criticizing it.' (Karl Popper)

Activity 1 – Let's draw a picture of the earth, clouds and rain

Pictures help to understand conceptions about a flat or round earth, and perceptions of high and low.

Drawings usually may be classified in three kinds:

- Landscapes, parts of the earth's surface on which rain falls from clouds. Clouds are high, the earth is low, and the direction of water is from the higher to lower part. Everybody usually has this familiar and reassuring image of the Earth. The point of view of the observer is on the earth and perception is that a flat surface is under our feet and a high sky above us.
- A round Earth hanging in space, with clouds on the higher part of the paper and rain falling down, on and over the earth, to the lower part of the paper. The

point of view of the observer is outside the Earth. High and low are absolute elements, independent from gravitational force.

- The Earth is a round planet, clouds are around everywhere and rain falls from every direction, radial to the centre. The point of view of the observer is outside the Earth. Gravitational force exists. The Earth is 'physically spherical' because the gravitational field has a correct spherical symmetry.

Perhaps we haven't come a long way from the times of Plinius:

'Usually we talk about the Earth's sphere, but the struggle between science and popular opinion is great. They say that men stand all over the world, and their feet are opposed to each other. If matters stand thus, why don't the people at the antipode fall off the Earth? And they probably wonder why we don't fall in the same way! Another question arises: why the Earth itself is hanging in the sky and doesn't fall with us?' (Plinius, *Historia Naturalis*)

Activity 2 – Describe the trajectory of a stone falling through a tunnel passing the Earth from one side to another.¹

The activity reposes a mental experiment that Galilei disputes in *Dialogo dei Massimi Sistemi*:
Salviati: Tell me if you have any difficulties in imagining that a cannon ball gains more and more impetus and speed as it falls down.

Sagredo: I'm absolutely sure about this.

Salviati: And do you agree with me when I say that it gains enough impetus to bring it to the same level of its starting point?

Sagredo: I do: the ball returns to the same level when its impetus doesn't find any obstacle in its way: as it would if the Earth had a tunnel passing through its centre and we let the ball fall one hundred or one thousand arms from it. I'm sure the ball would pass over the centre of the Earth and it would go up as far as it went down.

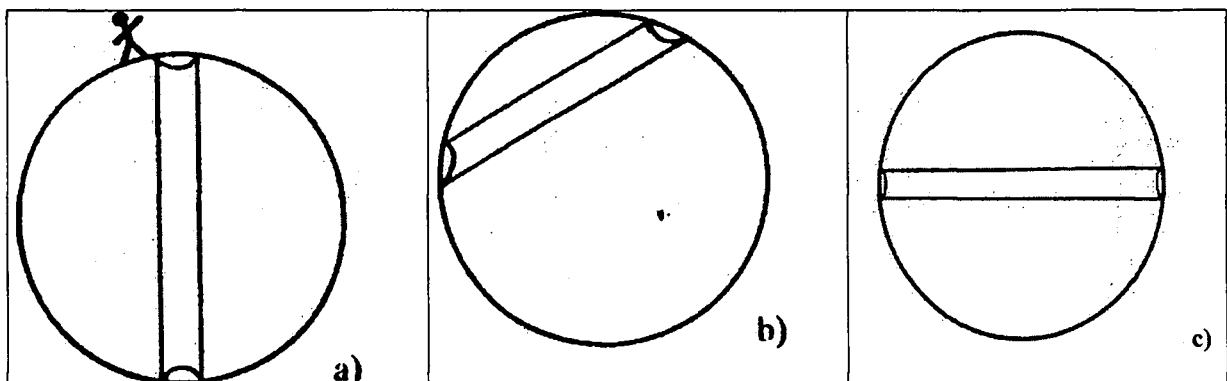


Fig. 1 Different tunnels passing the Earth

There are usually four kinds of answers:

- No answer because one cannot construct a tunnel through the centre of the Earth. They neglect a mental experiment.
- The stone goes through the tunnel continuing its trajectory into space. There is an idea about an 'absolute lower part'. The Earth is only 'geographically spherical'
- The stone stops at the extremity of the tunnel. There is a spherical symmetry in the space outside the planet, but an 'absolute lower part' persists inside it. The Earth is 'geometrically spherical' because the geometrical properties of a sphere are used to confirm the symmetry of the gravitational field only in the space outside the Earth.
- The stone stops in the centre. The Earth is 'physically spherical' because the gravitational field has a correct spherical symmetry.

Correct answers about the 'swinging stone' are few. On the contrary, most people answer that the stone stops in the centre of the Earth or comes out of the tunnel. The answers show a large number of persons having geographically spherical and geometrically spherical models of the Earth, that means a conception of a flat Earth with the higher and lower parts as absolute elements.

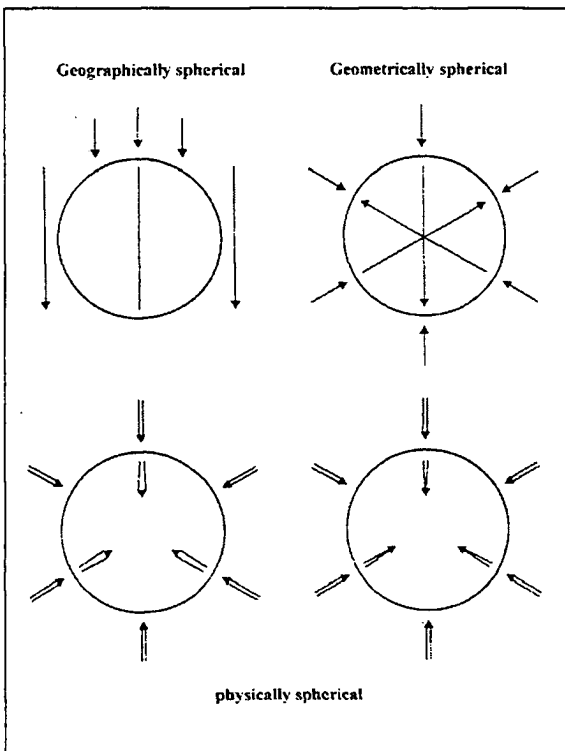


Fig. 2 Different models of the Earth concerning the gravity force

Activities about foundations – construction of knowledge about a round world

These activities concern the use and construction of several unusual *models* concerning the subject.

'Confusing model and reality is like going to the restaurant and eating the menu.' (A. Bloch)

We use our *models* for better understanding *reality*. Usually people use their own roots, simple but powerful cognitive rules and concepts, to negotiate understanding in their everyday world. Using unusual questions and models the rules 'break down': they do not provide answers anymore. People get confused and, in this uneasiness, new knowledge links with old knowledge.

Models enable us to predict, and they facilitate images and explanations. Models provide practical bases for identifying improvements and facilitate the transfer and construction of knowledge.

Working with our models we are at the same time on the Earth and outside it. This double point of view helps us to understand our position on the Earth's globe.

For the models used in the workshop the *key issues* for actions are:

- blank spheres: *where are you?*
- parallel globe: *where is Norway?*
- totem of directions: *where do you want to go?*

These key issues for actions focus on the most significant weaknesses identified in the investigation of roots. They have been given in an order of priority which reflects their determining effect on learning, about the way in which learners link the new with what they already know and believe.

A salient feature of this workshop is that the path to follow wasn't designed in detail 'a priori': knowledge construction is never the repetition of a fixed path. Knowing where to go, the steps on the way need to be identified by a process of continuous adjustment. The resulting path is not a linear one: it goes forwards and backwards according to the interplay of actions and ideas which is at the basis of the work.

Activity 1 – Blank spheres: where are you?

- *The sphere is a model of the Earth and the stick is you. Let's put the stick on the surface of the sphere in the same position you have on the Earth, according to the perception you have of your position. Where and how do you stand on the Earth's surface?*

For the participants it was easier using scientific knowledge than own perceptions to answer the questions. Using their common sense, they often didn't find points of reference and sometimes there was a real 'conflict' between the two points of view.

Activity 2 – Parallel globe: where is Norway?

- *Knowing the direction south-north, indicate with a gesture of your hand where Norway is in respect to where we are. Imagine I need to follow your indication to go there.*

Usually the direction of the hands is towards a high point and indicates the polar star, not Norway. Norway is in the north but its position is lower than

ours. If the question was 'where is Italy?', the hands would probably indicate a lower direction because we associate 'south' with low and 'north' with high. This is because usually geographical maps are on the walls of the classrooms: we would have to use them on the floor, because the directions of space are on the plane of the horizon.

The surface of our Horizon is so large that we perceive it flat, but in reality the Earth is a sphere and we are on the highest point, on top of that. The whole Earth is under our feet. Each one is higher than the other.

We all know the Earth is spherical, but if we think we are on a sphere we feel dizzy. Walking on spheres is a feat for acrobats, not for normal people!

- *Using a special globe, as a model of the Earth, let's put on it a stick representing yourself on the Earth.*

For most of the people it is now clear that the stick must be on the top of the globe!

In this model we can see all the spatial references are parallel with the real ones: horizon plane, local meridian, vertical of an observer, rotation axes... For this reason it is called 'parallel globe'. When it is correctly oriented with local place on the top, we can read on a goniometer the local latitude. Its axis is not fixed, so it may assume different positions according to the position of the observer.

It's better to use it outside, in the sun, because the sun acts on it in the same way as on the real planet and in real time. The direction of its rays is obviously the same, and so are the shadows. So a parallel globe becomes not only a model, but also an instrument from which we can get a lot of astronomical information.

By placing and moving some sticks on its surface and looking for their shadows, we can find:

- the midday meridian where the direction of the shadow is towards the north Pole (in the North hemisphere)
- where the sun is at zenith
- the border line between night and day
- where the sun is setting and where it is rising.

This is a 'Ptolemaic model'. The Earth is fixed and the sun moves around it, exactly as it does around the Earth producing changes in light and shadow on the model as on the real planet.

The power of the model is that at the same time we can observe and perceive the same phenomena inside and outside from the Earth. This double point of view helps us to understand our position on the globe and astronomical movements.

Activity 3 – Totem of directions: where do you want to go?

- *Let's imagine we can make a trip to wherever we like. Let's write our destination on an arrow of paper and put it on a vertical cylinder, exactly oriented to-*

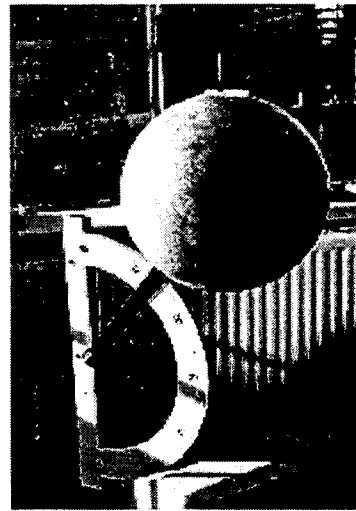


Fig. 3 Parallel globe

wards the direction of that place.

At the end of the work, this was a way to reflect on and test the new knowledge. It appeared that everybody understood that every direction is towards lower points. This was visible by one glance at the totem, on which all the arrows pointed in right directions.

Notes

¹ M. Mayer: *Scientific Knowledge and Common sense Knowledge*, Quaderni del CEDE, 1982

² The correct solution:

- *Tunnels passing through the centre of the earth:* because of the spherical symmetry of the Earth, every point on its surface is equivalent. *In a situation without air*, the stone (or ball) passes the centre of the Earth because of the force of inertia, then it slackens speed and turns back, in a continuous swing. The force of gravity depends on the distance from the centre and attracts the stone: this, falling, is going to accelerate. At the centre of the Earth the force is zero and so is the acceleration. However, the stone has gained speed and this is more than zero in the centre, so it goes on its trajectory towards the other part of tunnel. As the distance from the centre increases, gravity force is going to decrease and the stone will slow down until it arrives at the other extremity of the tunnel – the antipodes – with speed zero. Then everything begins again and the stone will go backward and forward forever. *In a situation with air*, the oscillation of the stone will slow down until it finally stops in the centre.
- *Tunnels not passing through the centre of the earth:* the situation is the same. There is a continuous swinging movement without force of attrition or otherwise a stop in the middle of tunnel.

References

AA.VV., *Sopra l'orizzonte, materiali per l'insegnamento dell'astronomia nella scuola*

- dell'obbligo*. Quad. n° 5, Materiali Laboratorio Didattica delle Scienze. Università La Sapienza Roma, 1990.
- Arcà Guidoni Mazzoli, Structures of understanding at the root of science education. *European Journal of Science Education*, 1984.
- Ausubel, *Education and process of knowledge*.
- Bruner, *Educational Psychology. A cognitive view*, 1966.
- Cowan, J., *A mapmaker's dream*, 1998.
- Gremellini, Tomasini, Gandolfi & Pecori, Teaching strategies and conceptual change. AERA Annual Meeting, Boston Resources in Education.
- Lanciano, N., *Dentro il cielo, materiali per l'insegnamento e per l'aggiornamento degli insegnanti in astronomia*. Quad. n° 6, Materiali Laboratorio Didattica delle Scienze. Università La Sapienza Roma, 1992.
- Leach, J. & A. Paulsen, *Practical work in Science Education*. Roskilde University Press, 1999.
- Mayer, M., *Scientific knowledge and common sense knowledge*. Quaderni del CEDE, 1982.
- Wittgenstein, *Philosophische Untersuchungen*, 1953.

Remote sensing

Werkgroep 13

A. Wielemaker & M. Lateir

Space Expo, Noordwijk
Earth Observation Help Desk, Brussel

Inleiding

Op vrijdagavond leidden Arjen Wielemaker en Mieke Lateir een werkgroep over remote sensing in het onderwijs. Deze werkgroep werd door een vijftiental conferentiedeelnemers bezocht.

Onderwijsproject

Het eerste gedeelte van de werkgroep bestond uit een presentatie door Arjen Wielemaker, als docent verbonden aan het *Project Remote Sensing Onderwijs* bij Space Expo in Noordwijk. Dit project, dat in 1996 is gestart, heeft als doel om het gebruik van aardobservatietoepassingen in het onderwijs te stimuleren. In een hiertoe speciaal ingericht computerlokaal worden docenten op remote-sensinggebied na geschoold en voeren leerlingen opdrachten op dit gebied uit. Na een beginperiode, waarin vooral op het vak aardrijkskunde werd gemikt, richt het project de aandacht nu ook op het nieuwe Tweede-Fasevak Algemene Natuurwetenschappen (ANW). Ook dit vak biedt volop mogelijkheden voor het inzetten van satellietbeelden. Dit liet Arjen Wielemaker zien aan de hand van enkele eindtermen van het examenprogramma ANW. Vervolgens legde hij het een en ander uit over wat remote sensing niet en wat het dan wel is (een stukje basiskennis voor de ANW- en natuurkundedocent). Hierbij kwamen zaken aan de orde als: verschillende soorten satellieten, verschillende soorten straling, meetkleuren en weergavekleuren, computermanipulatie van satellietbeelden, op welke manier satellietbeelden gebruikt kunnen worden en bij welke ANW-onderwerpen ze ingezet kunnen worden. Tenslotte (het ging niet voor niets om een conferentie voor natuurkundedocenten...) werd de moge-

lijkheid besproken om remote sensing in de breedste zin van het woord in te zetten bij het vak natuurkunde, bijvoorbeeld projectmatig. Meer dan bij ANW is het daar mogelijk om dieper in te gaan op de fysische principes waarop remote sensing is gebaseerd. De deelnemers aan de werkgroep zagen hier zeker mogelijkheden. Wellicht kan het Project Remote Sensing Onderwijs op dit gebied in de toekomst een rol gaan spelen.

CD-rom

Na deze presentatie vertelde Mieke Lateir, verbonden aan de Belgische *Earth Observation Help Desk*, kort over de initiatieven om het gebruik van remote sensing in het Belgische onderwijs te stimuleren. Zo is er bijvoorbeeld een CD-Rom in ontwikkeling voor gebruik in het secundair onderwijs bij lessen aardrijkskunde, natuurkunde en milieuwetenschappen.

Deze CD-Rom zal uit twee delen bestaan: een encyclopedisch deel waarin de beginselen van remote sensing (of teledetectie, zoals men in België zegt) en enkele toepassingen worden beschreven, en een beeldverwerkingsprogramma waarmee leerlingen zelf satellietbeelden kunnen manipuleren aan de hand van gerichte opdrachten. De verwachting is dat deze CD-Rom medio 2000 verschijnt. Overigens zal een vergelijkbare CD-Rom ook in Nederland op de markt komen.

De werkgroep eindigde met een vragenronde, waarin werkgroepleiders en deelnemers van gedachten wisselden over remote sensing in het algemeen en de toepassing van remote sensing in het onderwijs in het bijzonder.

Coach 5: De hemel op aarde

Werkgroep 17

V. Dorenbos & P. Uylings

Amstel Instituut, Universiteit van Amsterdam
Amstel Instituut/Bonhoeffer College, Castricum

Inleiding

Het Exo of de praktische opdracht en profielwerkstuk voor het eindexamen biedt veel mogelijkheden voor de leerlingen. Vaak zullen ze daarbij gebruik willen maken van de computer.

Het programma Coach 5 is een veelzijdig ICT-gereedschap en biedt vele mogelijkheden voor het uitvoeren van experimenten, het verwerken en analyseren van experimentele gegevens (die zelf zijn gemeten of bijvoorbeeld van Internet zijn gehaald via een directe koppeling vanuit Coach), voor modelleren, video-meten en technisch ontwerpen.

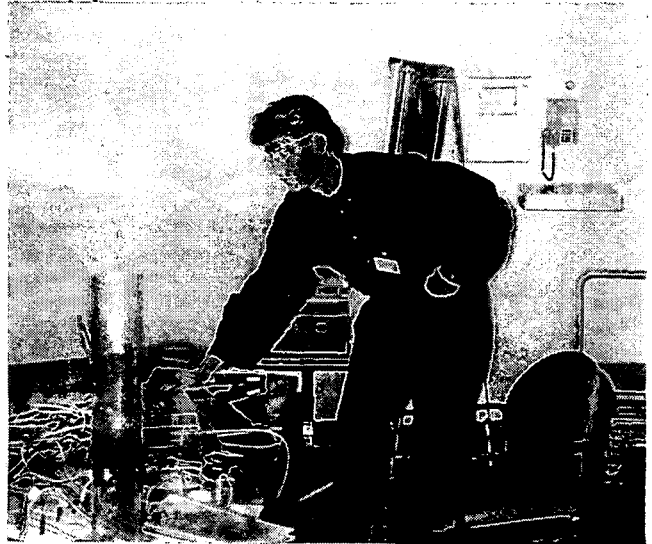
En het verslag kan als een Coach 5 resultaat worden ingeleverd, inclusief plaatjes, tekst, evt. videofilms enz. Ook kunnen alle resultaten via Windows net zo gemakkelijk in tekstverwerker of spreadsheet worden gezet. Op al deze mogelijkheden kwam een behoorlijk aantal geïnteresseerden af, feitelijk meer dan de zaal kon bergen.

De volgende voorbeelden van opdrachten (tussen hemel en aarde) rond Coach 5 kwamen in onze werkgroep aan de orde:

- een lift met Systeembord of via een stuurprogramma in Coach 5
- een studie naar getijden
- een parachutesprong
- geluidsoverlast.

Lift

Uit te voeren met systeemborden/via de Modeltaal en de stuuruitgangen van de CoachLab II interface: het besturen van een lift in een flatgebouw van twee verdiepingen (begane grond en eerste etage). Dit lijkt op het eerste gezicht wel een uiterst bescheiden doelstelling, maar de praktijk leert al snel anders: als onderwerp voor een EXO vergde dit een opstelling met drie systeemborden en het aansluiten van veertig tot vijftig snoertjes ... In De Leeuwenhorst dus zaak dit vóór het bier op de receptie klaar te stomen, maar helaas bleek het meegenomen aantal snoertjes ontoerei-



kend. Een stuurprogramma met dezelfde functie (starten, stoppen, kijken op welke verdieping je zit) neemt slechts elf regels in beslag. Dit laatste werd dan ook gedemonstreerd, en gelijktijdig daarmee hoe de mogelijkheden en moeilijkheden van sturen met het systeembord en met de computer zich verhouden: het systeembord is didactisch nog steeds een goed hulpmiddel, voor praktische toepassingen is de computer te prefereren.



Fig. 1

Getijden

Het getij is een dankbaar onderwerp voor een praktische opdracht. Een echte aanrader is het programma 'Getij-generator' uitgegeven door het RIKZ (Rijksinstituut voor Kust en Zee). Met dit programma kan het astronomisch getij voor 21 plaatsen langs de Nederlandse Noordzee- en Waddenkust en voor een aantal

plaatsen in het binnenland langs rivieren gegeneerd worden. Het astronomische aspect is de belangrijkste factor bij getijden, maar er zijn nog meer factoren die de hoogte van het getij bepalen (denk aan de luchtdrukverdeling of windrichting en -sterkte). Deze factoren zijn echter niet zo eenvoudig van tevoren te bepalen. De berekende getij-curves kunnen in ASCII-formaat worden uitgevoerd, waarna ze in Coach 5 kunnen worden geïmporteerd. Aspecten die bijvoorbeeld onderzocht kunnen worden zijn interferentie van getijdenstromen (hierdoor ontstaat de agger, een

dubbel minimum bij laagtij op sommige plaatsen) en hoe de getijden zich langs bijvoorbeeld een rivier voortplanten (de amplitude wordt minder, de evenwichtsstand hoger). Natuurlijk komt er ook wat astronomie om de hoek kijken (hoe wordt het astronomisch getij veroorzaakt).

Parachutesprong

De meting - In het najaar van 1998 ging een leerling voor het eerst een parachutesprong maken. Hij kwam op het lumineuze idee om tijdens deze sprong een meting van de luchtdruk te doen met een datalogger. Ondanks zijn zenuwen is hij hierin geslaagd (volgende keer een hartslag-sensor mee?). Het lukte hem niet om met de barsensor geijkt te meten (en dan nog moest er een omrekening van luchtdruk naar hoogte plaatsvinden). Er kwam dus een serie spanningswaarden tegen de tijd uit. De ijking kon – gelukkig – achteraf met enig gepuzzel gereconstrueerd worden (met meteorologische gegevens van het vliegveld en de hoogtegegevens van het vliegtuig). Uiteindelijk leverde dit een heel inzichtelijk plaatje op van de hoogte tegen de tijd van de parachutesprong (zie figuur 3).

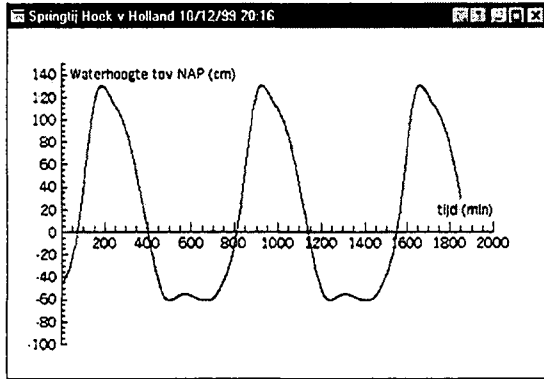


Fig. 2

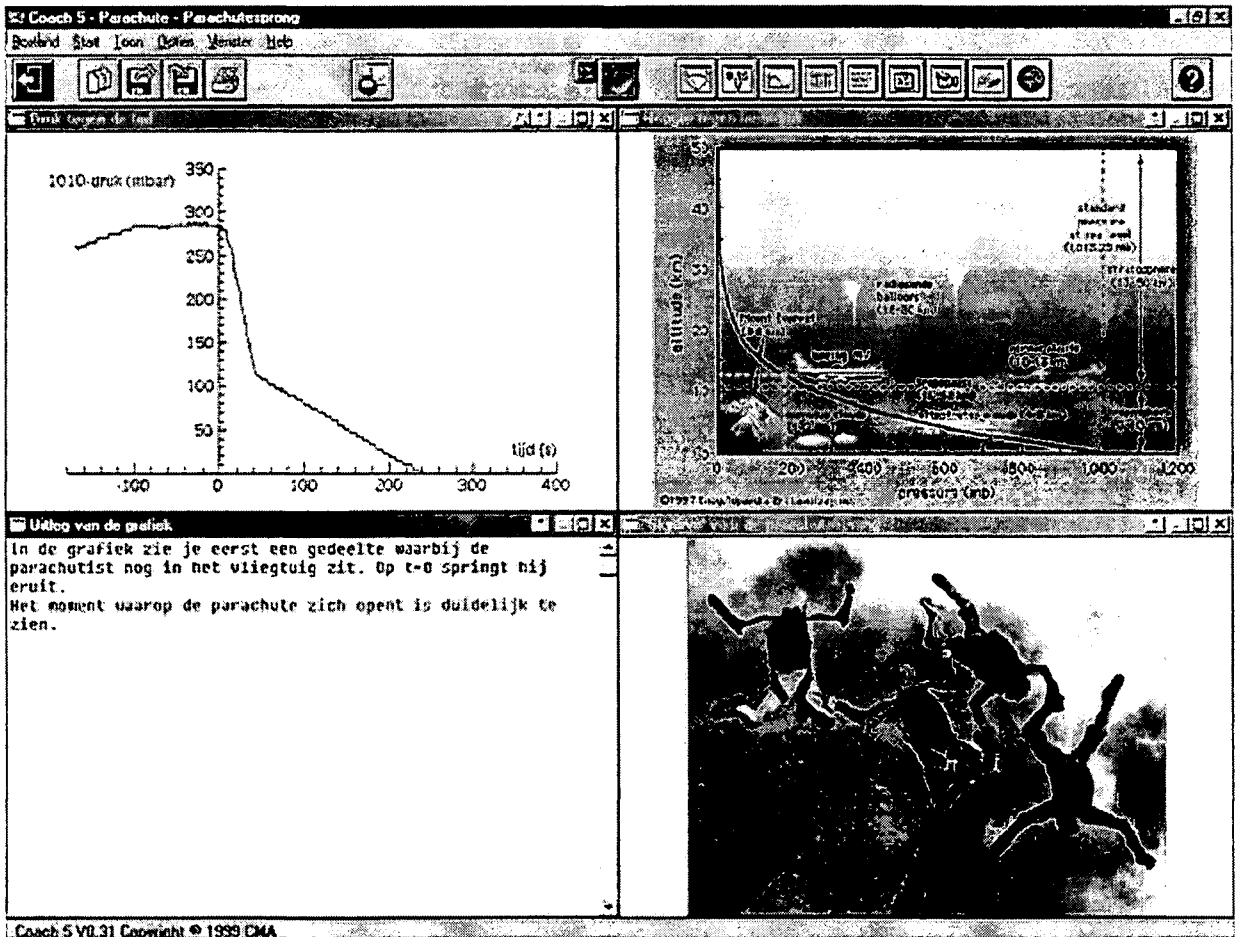


Fig. 3

Het parachute-model – Met een eenvoudig model (figuur 4) van een parachutesprong zou deze opdracht nog verder verdiept kunnen worden. De modelgrafiek benadert de gemeten grafiek van de sprong al aardig (vergelijk figuur 5 met figuur 3). In dit model klap de parachute ‘instantaan’ open. Dit is natuurlijk in werkelijkheid niet zo. Ook voor de luchtwrijving is een aanname gedaan. Op deze punten kan het model nog verfijnd worden. Een leerling kan verder nog spelen met de grafieken van snelheid en versnelling van de parachutist. Via de simulatie-optie kan worden uitgezocht wanneer de parachutist een veilige landing maakt (wanneer de snelheid in verticale en horizontale richting binnen de grenzen van het fysiek mogelijke blijft).

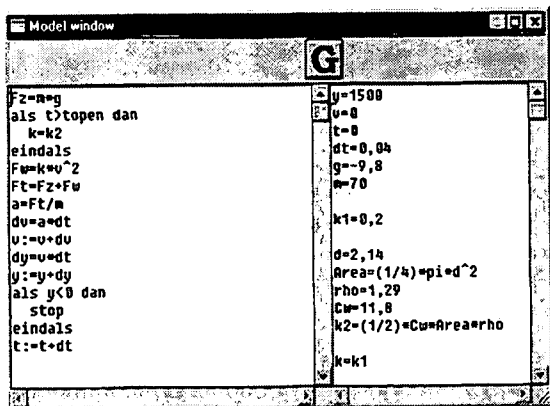


Fig. 4

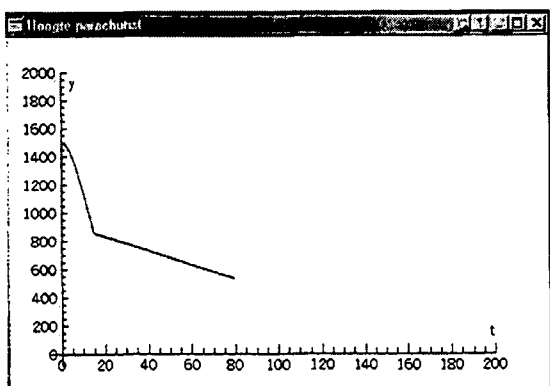


Fig. 5

Geluidsoverlast

Een EXO-onderwerp waarin ook het aspect technisch ontwerpen om de hoek komt kijken. De opdracht is het zodanig behandelen van aantal leslokalen, dat de geluidsoverlast – in het bijzonder de nagalm – tot een minimum beperkt wordt. Dit houdt onderzoek ter plaatse in (lage lokalen met harde, gladde plafonds), het bedenken van uiteenlopende oplossingen, rekening houdend met het budget en het meten van de nagalmtijd vóór en na de aanpassing. In de gemeten geluidscurves (zie figuur 6 en 7) is duidelijk een omhullende te onderscheiden, die met het selecteren van een paar belangrijke punten te fitten is als een exponentiële functie. De ‘relaxatie’ of nagalmtijd is hiermee te kwantificeren, waarmee een maat voor het succes van het project gegeven wordt. In de figuren zijn de verschillen duidelijk te zien.

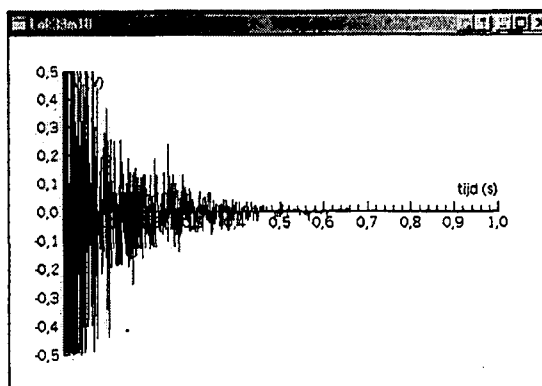


Fig. 6

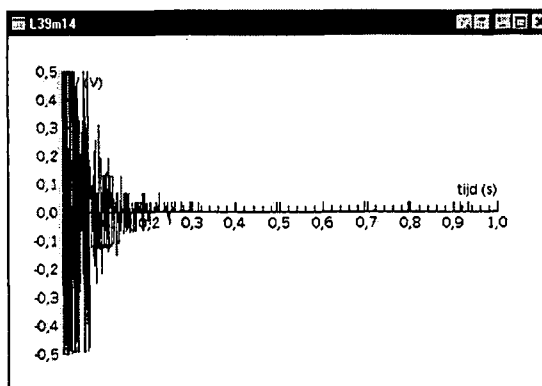


Fig. 7

ElektriX – elektriciteitsbegrippen leren door virtueel practicum

Werkgroep 18

C. Mulder

Amstel Instituut, Universiteit van Amsterdam



Inleiding

Het leren van elektriciteitsbegrippen plaatsen we tegenwoordig in het kader van het constructivisme (Licht, 1987). Dit betekent: ga uit van wat leerlingen al weten, de voorkennis. Deze voorkennis zit vol met allerlei kennis en verklaringen die we vanuit de natuurkunde niet juist achten. Willen we leerlingen een goed begrippenkader laten ontwikkelen, dan zullen we ons onderwijs moeten bouwen en reorganiseren op wat de leerling al weet. Essentieel hierbij is de instructie op maat. Ook is het van belang leerlingen actief en in een concrete leeromgeving hun kennis te laten construeren. Dit laatste gebeurt veelal via practica. Tot zo ver is er niets nieuws onder de zon. Echter, de huidige practica leveren wel een aantal problemen:

- De schakelingen die leerlingen moeten maken met lampjes en meters hebben dusdanige meetafwijkingen, dat daardoor begripsproblemen in stand gehouden kunnen worden.
- Het practicum geeft geen directe verbinding met het achterliggende model van de elektriciteit (je neemt alleen de gevolgen waar).
- Het rommelen met de snoertjes, fittingen en (vaak lege) batterijen leidt leerlingen af van wat ze nu eigenlijk moeten leren.
- De practica zijn vaak moeilijk in verband te brengen met de aanleercontext, bijvoorbeeld met de context elektriciteit in huis.

Kritiek die op practica in het algemeen gegeven wordt, is dat deze niet bijster effectief zijn wanneer het om begripsontwikkeling gaat. Voordelen zijn wel dat leerlingen betrokken worden bij het waar te nemen verschijnsel en dat leerlingen actief via handelingen bezig zijn met het leren. Veel docenten benutten de werkvorm practicum vooral vanwege het motivationele aspect (hoe houd ik leerlingen op vrijdagmiddag aan de gang). Dit zou toch niet enkel het doel mogen zijn. Vandaar dat gekeken is of het niet effectiever kan. In deze tijd beschikken we over de

mogelijkheden die multimedia en het Internet bieden. Het inzetten van deze middelen kan op een aantal fronten goed helpen. Bijvoorbeeld:

- Vervang het practicum door een virtueel practicum.
- Biedt contexten en beroepsperspectieven aan via Internet.

De computerwerkgroep van de vereniging DBKna en ondergetekende zijn al enige jaren bezig om deze mogelijkheid te realiseren en te onderzoeken

ElektriX als virtueel practicum voor elektriciteit

In diverse methoden, maar in elk geval in de methode DBK-natuurkunde, speelt practicum rond elektriciteit een belangrijke rol. Het komt voor in klas 2, 3, 4 en 5 van m,h,vwo (idem de vbo/mavo). Voor het practicum zijn werkboeken beschikbaar. De instructies in deze werkboeken helpen leerlingen om vaardigheden te oefenen zoals het maken van schakelingen en aflezen van meters. Maar vooral om leerlingen te leren werken met de begrippen stroom, spanning, weerstand, serie en parallel. Dit practicum hebben wij geprobeerd om te zetten in een virtueel practicum. Hiertoe is het softwarepakket ElektriX ontwikkeld. ElektriX toont op het scherm een schakelingenbord waarop elektrische componenten kunnen worden geplaatst waarmee (bijna) alle denkbare schakelingen zijn te bouwen en waarmee proeven zijn uit te voeren in een simulatie.

ElektriX is een simulatieprogramma. Centraal staat een (groot) practicum-prik-bord. Uit een bibliotheek kun je met een klik met de muis kiezen wat je maar wilt en kun je de gekozen component naar het bord slepen. Daar kun je door de componenten met draden te verbinden stroomkringen maken. Serie en parallel of combinaties. Er zijn bekende componenten zoals lampjes en weerstanden, NTC, spaarlampen, batterij, accu, stopcontact en zekeringen, isolatoren en geleiders. Geen actieve componenten zoals de transistor.

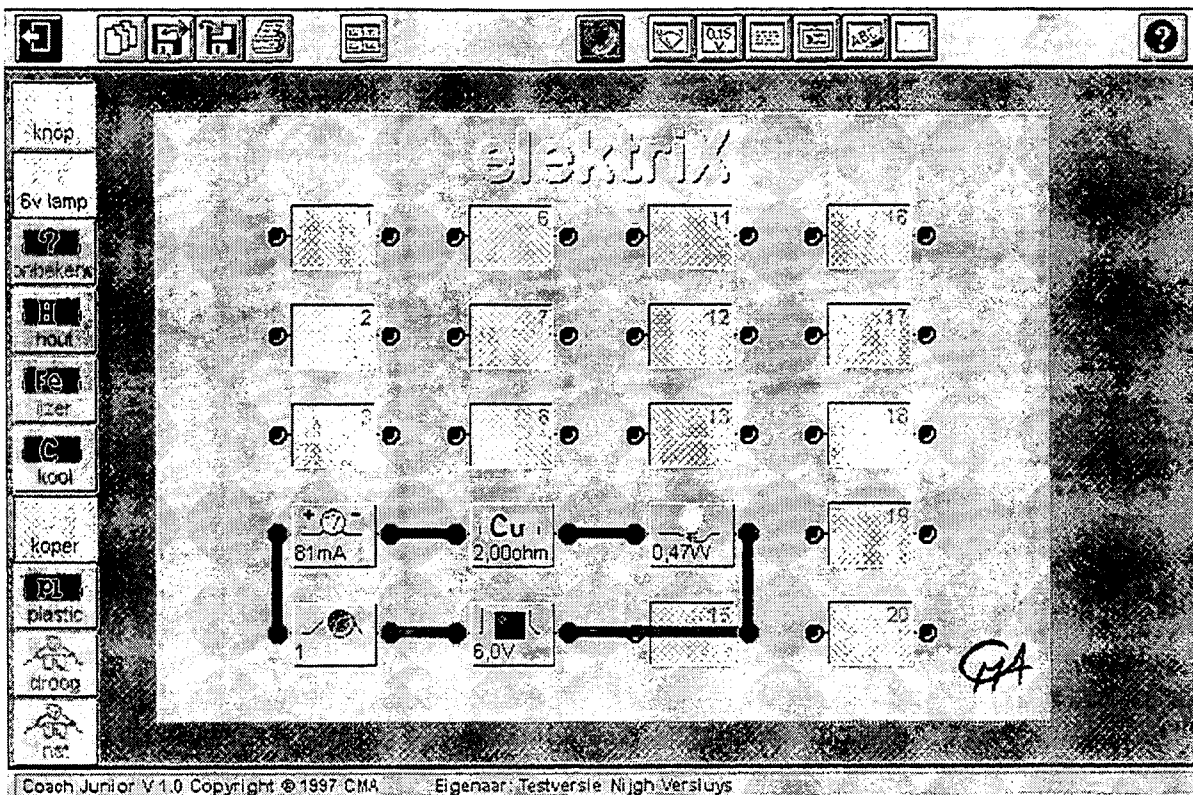


Fig. 1 ElektriX – onderzoekje naar geleiders

Wel weer apparaten zoals een waterkoker, luidspreker. Leerlingen kunnen meters plaatsen, tabellen en grafieken maken. Hiermee kun je vaardigheden trainen (zoals meters aflezen bij een verschillend schaalbereik) en ook onderzoek doen (bijv. naar de wet van Ohm of naar de geleidbaarheid van stoffen).

ElektriX is meer dan een practicum

Redeneren is erg belangrijk voor begripsontwikkeling in elektriciteit. Een leerling moet wetmatigheden en verschijnselen (macro-wereld) verklaren met het elektriciteitsmodel van stromende lading (onzichtbare micro-wereld). Elke methode doet hieraan, maar de leerling wordt nauwelijks ondersteuning verleend. In de DBK-natuurkunde methode wordt het ladings-(dichtheid)model gebruikt. Een stroom is bewegende negatieve lading. De oorzaak, spanning, is een verdelingsprobleem. Teveel negatieve lading wenst naar te weinig negatieve lading te stromen, als het de kans krijgt. In een stroomkring krijg je dan ladingsverdeling (spanningen over de componenten).

Een practicum kan dit model niet verduidelijken. Echter, ElektriX als virtueel practicum kan dat wel. Hier zit dus een zeer krachtige meerwaarde. Door in ElektriX het model te activeren wordt deze lading (beweging en verdeling) gesimuleerd en aanschouwelijk gemaakt. Dit maakt redeneren over wat je ziet en hoe je dat verklaart mogelijk. Voorbeelden:

- Je kunt leerlingen laten vertellen wat stroom voorstelt. Is de stroom nu de bewegende lading, of is

dat de lading die op een bepaalde plek per seconde langs stroomt?

- Wat betekent de stroomsterkte?
- Wat gebeurt er met de stroom en de spanning in serie- en parallelschakelingen?
- Waarom is de spanning over een open schakelaar gelijk aan die van de batterij?

ElektriX aanpassen aan de gewenste didactiek

Verschillende docenten, verschillende methoden en verschillende doelen vragen allemaal om een ElektriX die voldoet aan hun didactische wensen. Dat lijkt een moeilijke opgave, maar zij is essentieel als je wilt dat ElektriX veel gebruikt wordt en een blijvertje is. De oplossing was ElektriX te voorzien van een auteurs- en projectomgeving. De projectomgeving is bedoeld voor leerlingen. Projecten zijn verzamelingen van activiteiten, die passen bij een gewenst practicum, bij een boek, bij een onderzoek, enzovoort. Het virtuele bord met de keuze aan componenten (uitbreidbaar) kan voorzien worden van vrijheden voor de leerlingen. (Van een leerling volgt de voorgeschreven weg, tot de leerlingen krijgen een experimenteerruimte om zelf van alles te doen.) Voorts is het virtuele practicum bord ingebed in schermen voor foto's, tekst, video's, meters, tabellen en grafieken. De auteursomgeving stelt de docent in staat op maat projecten te maken.

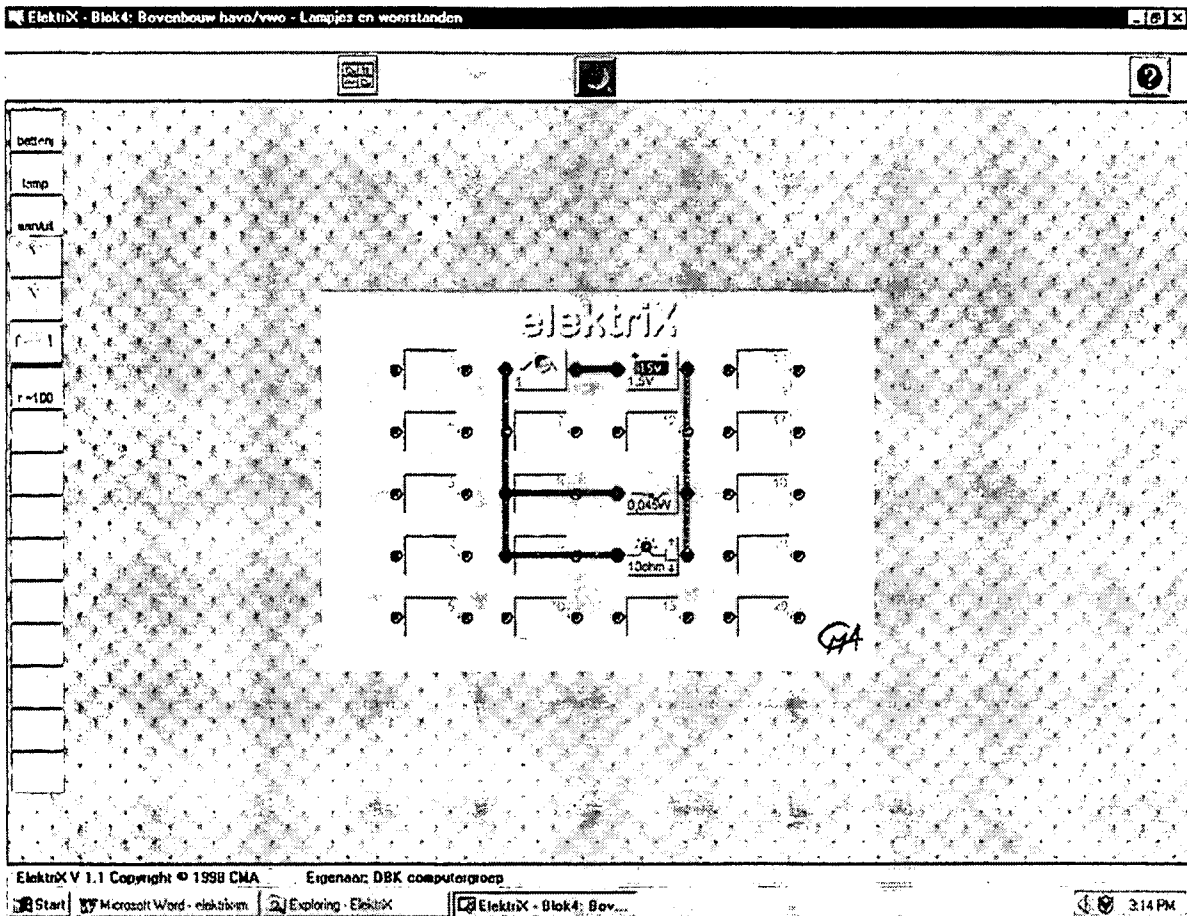


Fig. 2 ElektriX – model geactiveerd

Deze omgeving is bijna hetzelfde als de project- en auteursomgeving van de windows IP-Coach. Je zou kunnen stellen dat het ElektriX-bord een superpaneel is in IP-Coach. Docenten die vertrouwd zijn met het maken van projecten in IP-Coach kunnen dat ook zonder meer in ElektriX.

De methode DBK-natuurkunde legt veel nadruk op het individueel en zelfstandig werken van leerlingen. Dit stelt diverse eisen aan het ontwikkelde materiaal. Zo kent men herhaling van de kernleerstof of het inhalen van een achterstand. De docent ondersteunt de leerling met een op maat gemaakte taak via herhaalbladen. Leerlingen werken deze zelfstandig uit. Practicum is dan vaak niet meer een optie. ElektriX is dan bij uitstek geschikt. De leerling kan er zelfstandig mee werken (activiteiten in projecten) zonder dat de docent moet letten op de gebruikelijke problemen in het practicum zoals het beschadigen van apparatuur en veiligheid (geen draden in 230 V). In tegenstelling tot een gewoon practicum kan een leerling met ElektriX het practicum ook overdoen in een ander lokaal dan het practicumlokaal. Het kan ook thuis als daar een pc is. En natuurlijk kun je het huiswerk thuis maken of controleren. Veel van de DBK-projecten levert CMA mee met ElektriX.

Een paar voorbeelden van ElektriX-gebruik bij DBK-natuurkunde

Virtueel practicum – In de onderbouw van twee mhscholen is ElektriX gebruikt bij het maken van schakelingen, plaatsen van stroommeters en voltmeters, aflezen van meters. Hiertoe waren een aantal projecten binnen ElektriX gemaakt die nauw aansloten bij het practicumboek. De hoofdstuknummering van het boek werd gebruikt om activiteiten een naam te geven. De activiteiten werden zo ingekaderd, dat de leerling precies over de mogelijkheden beschikte die het boek aangaf. Op beide scholen werkten de leerlingen in het computerlokaal en dat gaf weinig problemen. Na een korte gezamenlijke instructie over het programma, kon iedereen er vlot mee overweg. De practicumbladen werden aanzienlijk sneller doorgewerkt dan met het traditionele practicum.

Onderzoek doen (Extra stof) – Binnen de DBK-natuurkunde methode kunnen vlotte leerlingen zich buigen over extra stof. Vaak moet hier een extra motivationeel aspect ingebracht worden (leerlingen werken nu eenmaal graag voor cijfers). Maar ook werken op de computer daagt ze uit. Speciaal voor de extra stof hebben we twee onderzoeksopdrachten ontwikkeld: *Waarom valt het licht uit?* en *Elektrocuteren*.

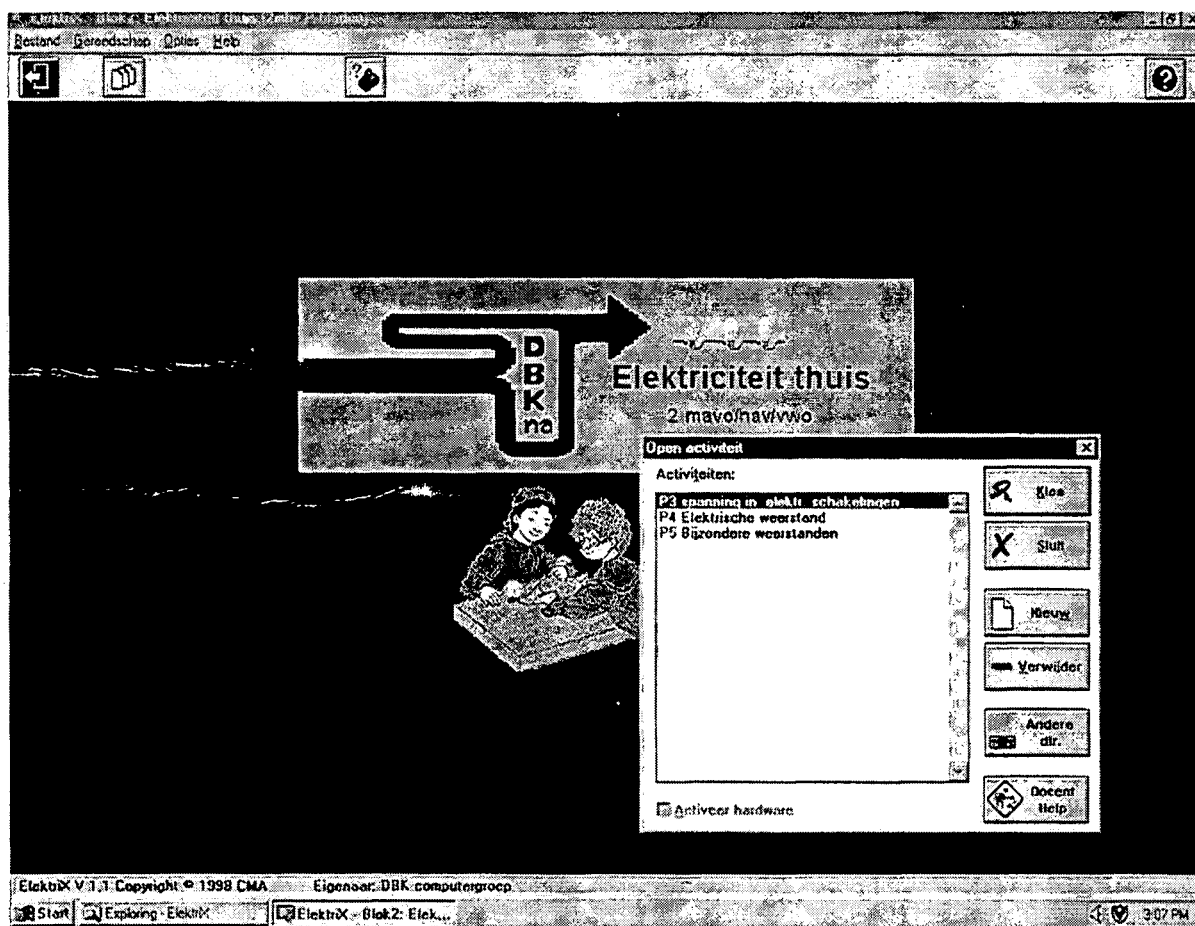


Fig. 3 ElektriX aangepast voor DBK-natuurkunde bij boek 2 mhv

De onderzoeksvragen moesten beantwoord worden door te werken met opdrachten en bronnen (multimedia-stuk van ElektriX) en het practicumbord. Bijvoorbeeld: bij *Waarom valt het licht uit?* doen ze onderzoek naar de belasting van een zekering in een groep via simulaties op het elektriciteitsbord met diverse apparaten, zekeringen en stroommeters. Dit is in een context plaatsen, geïllustreerd met plaatjes en teksten over allerlei apparaten en schakelingen in huis.

Enkele groepjes leerlingen hebben deze onderzoekjes gedaan. Het bleek allemaal eenvoudig te organiseren voor de docent. De uitvoering vond plaats in het kabinet. Docent en toa hadden er geen omkijken naar. En de leerlingen wisten aardige resultaten te bereiken.

Afsluiting

In de werkgroep is uitgebreid gediscussieerd over ElektriX. In ElektriX zijn nu eenmaal keuzes gemaakt en daar zal men rekening mee moeten houden. Het model zal niet iedereen direct willen gebruiken, er zijn ook andere voorstellingen mogelijk. Door de keuze van Coach als ontwikkelomgeving sluit je wel aan bij vaardigheden waarmee docenten en leerlingen al vertrouwd zijn, maar het levert ook kleine proble-

men. Een voorbeeld van zo'n probleem is dat het meten aan een schakeling alleen kan als het model geactiveerd is.

Uitgebreid is gediscussieerd over virtueel practicum. Dit roept veel emoties op: diverse docenten zijn bang dat veel van de proefjes op deze manier verdwijnen. Anderen vonden weer dat de combinatie van proef demonstreren en verder werken op de computer juist iets van deze tijd is. In deze tijd wordt de computer als simulatie- en experimenteeroomgeving juist veel gebruikt op universiteiten en laboratoria. Met een virtueel laboratorium kun je de leerling hierop goed voorbereiden.

Literatuur

- Licht, P. (1987). *Een model voor electriciteitsonderwijs*. NVON-maandblad, 12 (6), 264-267.
- Mulder, C.H.T. (1998). *ElektriX, een simulatieomgeving op de computer*. In het verslag van de Woudschotenconferentie 1997, blz. 101-103.

ElektriX

ElektriX is ontwikkeld door het AMSTEL Instituut, Uva, op verzoek van de Vereniging DBKna en met hulp van het PRINTVO. De schoollicentie voor het

leerlingengebruik van ElektriX is te verkrijgen bij
CMA, Kruislaan 404, 1098 SM Amsterdam. Web-
site: <http://www.cma.beta.uva.nl>

De DBK-natuurkunde methode wordt uitgegeven
door Malmberg, Den Bosch. De projecten en onder-
zoeksopdrachten van DBK-natuurkunde worden door
CMA meegeleverd bij schoollicentie van ElektriX.

Probleemgestuurd leren Een didactiek voor de 2^e fase?

Werkgroep 20

W. Bustraan & P. Noordzij

HvA
APS

Inleiding

Probleemgestuurd onderwijs is bekend door de berichten over deze onderwijsvorm vanuit de Maastrichtse Universiteit. Ook in het Middelbaar Beroeps Onderwijs (MBO) heeft deze methode van werken een plaats gekregen. De didactiek van PGO is reeds genoemd in de literatuur uit de jaren zestig, bij voorbeeld in de publicaties van Bruner over 'learning by doing', en komt nu weer terug als mogelijke uitwerking van de ideeën van het constructivisme als leertheorie.

Kenmerken van deze vorm van onderwijs zijn: het werken in kleine groepen, het werken aan concrete problemen, het bevorderen van de zelfstandigheid van de studenten en een meer begeleidende rol voor de docent.

In de werkgroep willen we informatie geven over probleemgestuurd onderwijs als methodiek van werken. Daarnaast willen we van gedachten wisselen over mogelijk gebruik van PGO in de tweede fase van het voortgezet onderwijs. Tenslotte hopen we dat er in de groep van 32 deelnemers een aantal collega's zijn die de methode in hun onderwijspraktijk willen proberen.

Kennismaken met PGO

Probleemgestuurd onderwijs heeft twee belangrijke karakteristieken: de *casus* en de *zevensprong*. De casus beschrijft een concreet probleem en via dat probleem worden de lerenden aan een taak gezet. Er worden soorten taken onderscheiden: probleemtaak, strategietaak, discussietaak, studietaak, toepassings-taak. De soort taak bepaalt de activiteit die van de uitvoerders wordt gevraagd. Voorbeelden van een casus.

Een zomerse vakantiedag – Je vertoeft met je familie in een vakantiebungalow op de Veluwe. Vanochtend zijn jullie met z'n allen vroeg op pad gegaan om lekker te gaan fietsen door bos en heide. Het is een



warme, vochtige zomerdag geworden. In de loop van de middag ontstaan donkere hoge wolken aan het zwerk. Iedereen klaagt over zwoel en drukkend weer. Plotseling schieten in de verte lichtflitsen door de lucht gevolgd door donderslagen. Een paar minuten later begint het hevig te regenen. Wanneer je jongere broertje beschutting probeert te zoeken onder een bosje bomen, haalt je vader hem daar vandaan. Verklaar deze verschijnselen.

Zonnebrand – De huid van een donkerharig persoon en de huid van een persoon met blonde haren worden twee uur lang blootgesteld aan een heldere zon. 's Avonds is de huid van de persoon met blonde haren erg rood, de huid van de persoon met donkere haren is minder rood. Verklaar dit.

De Sahara – In 1968 lagen de grenzen van de Sahara ongeveer 500 kilometer ten noorden en ten westen van haar huidige ligging. Verklaar dit of wat zou daartegen gedaan kunnen worden?

Opdracht

Werk in groepen van 5 deelnemers

Kies een gespreksleider

Kies een notulist

Werk aan de casus 'de Sahara' volgens de eerste vijf stappen van de zevensprong

PGO in relatie tot leervaardigheden en het examenprogramma

PGO: De zevensprong

Stap 1 – verhelder onduidelijke termen en begrippen

De casus wordt gelezen. De onduidelijkheden in de tekst (situaties, termen en begrippen) worden geïn-

ventariseerd en voor zover mogelijk opgehelderd door uitwisseling van kennis. De tutor is hierbij geen vraagbaak! In grote lijnen moet de situatie in de casus helder worden.

Stap 2 – definieer de problemen van de casus

Er wordt zo goed mogelijk omschreven wat het probleem is van de casus, wat wordt er gevraagd. Ook moet duidelijk zijn welke resultaten er moeten komen. De tutor ziet erop toe dat de probleemstelling duidelijk en werkbaar is.

Stap 3 – brainstorm over oplossingsmogelijkheden

Alle groepsleden mogen naar voren brengen wat ze al weten en denken. Er worden zoveel mogelijk relevante kennis en ervaringen aangedragen. Of de kennis echt bruikbaar is, is nog niet van belang. De ingebrachte kennis wordt niet beoordeeld. Alle ideeën en kennis worden met trefwoorden genoteerd. Regels: Geen kritiek op elkaar, laat de gedachten de vrije loop, hoe meer ideeën hoe beter.

Stap 4 – inventariseer op systematische wijze deelproblemen

Ordenen en kritisch beschouwen van alle gedachten die verzameld zijn. Er kunnen nu verhelderingen gevraagd worden. Zoek naar relaties tussen begrippen en ideeën. Deze stap resulteert in een beperkt aantal deelproblemen en vragen waaraan verder zal worden gewerkt.

Stap 5 – formuleer onderzoeksvragen en maak een werkplan

Maak een lijst met wat er bestudeerd moet worden en wat onderzocht moet worden. Dit kunnen theoretische en praktische onderwerpen zijn. Maak een werkplan voor uitvoering van de taken. Ter ondersteuning kunnen ondersteunende taken opgegeven worden.

Stap 6 – zelfstandig onderzoek en werken aan taken

Werk aan de oplossing. Er wordt studie en onderzoek gedaan. Dit kan individueel en in groepjes.

Stap 7 – rapportage

De studenten in de groep rapporteren elkaar hun resultaten van onderzoek. Er moet een eindrapport worden opgesteld, waarin antwoord op de probleemstelling wordt gegeven. Deelresultaten kunnen worden bijgevoegd. Tijdens de slotrapportage kan ook het werken in de groep aan de orde komen en kan besproken worden wat er geleerd is.

Discussie

Het werk aan de casus wordt besproken aan de hand van de activiteiten uitgevoerd in elke stap van de zevensprong. Daarbij spiegelen we ons aan de vaardigheden die belangrijk zijn in het studiehuis (zie bijlage 1). De gedachtenwisseling richt zich vervolgens op modellen om PGO in de praktijk uit te voeren (zie bijlage 2).

Samenvatting discussie

Naast informatie plenair aan (grote) groepen en individueel werken is er behoefte aan een didactiek voor groepswork.

De beschrijving van de casus is zeer belangrijk: het moet PGO mogelijk maken.

De brainstormfase is wezenlijk voor PGO: het gaat uit van leren met als uitgangspunt de reeds aanwezige kennis.

De eerste vijf stappen van de zevensprong nemen zeker zoveel tijd in beslag als de laatste twee stappen. Er is een opbouw nodig bij het werken volgens de PGO-methode: neem de leerlingen eerst aan het handje door de stappen heen, later kunnen ze zelfstandig de methodiek hanteren.

De rol van de docent verandert in een tutor-rol: de docent begeleidt het proces.

Een onnoemelijk aantal vaardigheden speelt een rol bij PGO: zowel leervaardigheden als vak(overstijgende) vaardigheden. Tijdens PGO moeten die vaardigheden geleerd worden met hulp van de tutor.

Bij zeer grote taken is het opsplitsen in deeltaken mogelijk. Naast het groepswork aan de casustaken en de begeleidingsuren door de tutor kunnen ook vakondersteunende lessen worden ingeroosterd.

In de tweede fase vo kan tijd ingeruimd worden voor PGO (per vak of met meerdere vakken) met daarnaast ondersteunende lessen.

Bijlage 1

Vaardigheden in het studiehuis

Cognitieve leeractiviteiten – relateren, structureren, analyseren, concretiseren, toepassen, memoriseren, kritisch verwerken, selecteren

Affectieve leeractiviteiten – attribueren, motiveren, concentreren, zichzelf beoordelen, waarderen, inspannen, emoties opwekken, verwachten

Regulatieve leeractiviteiten – oriënteren, plannen, proces bewaken, toetsen, diagnosticeren, bijsturen, evalueren, reflecteren

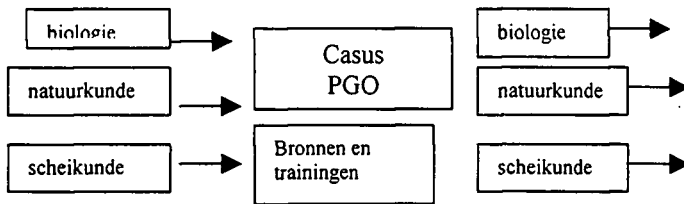
Vakoverstijgende vaardigheden, domein A – taalvaardigheden (correct formuleren, ..., presenteren, ..., verslag doen), reken/wiskundige vaardigheden (basisrekenvaardigheden, ..., uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers), informatievaardigheden (informatie verwerven en selecteren, ..., de betrouwbaarheid van informatie beoordelen), technisch instrumentele vaardigheden, ontwerpvaardigheden (een technisch probleem herkennen en specificeren, ..., verbeteringen in het ontwerp voorstellen), onderzoeksvaardigheden (een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren, ..., resultaten en conclusies evalueren), maatschappij, studie en beroep.

Bijlage 2

Modellen voor de praktijk

Tijd →

Inleiding	Taak 1 <i>Eisen pakket</i>	Taak 2 <i>Bouw tekenen</i>	Taak 3 <i>Materiaal</i>	Taak 4 <i>Kostprijs</i>	Taak 5 <i>De Wet</i>	Taak 6	Afronding
Tuin- huis bouwen	Tutor						Presentatie
	Vakles						



De grafische rekenmachine in de natuurkundeles

Werkgroep 21

P. van Wijlick

OSG De Meergronden, Almere & APS



Inleiding

De tweede fase is gestart. Vrijwel alle 4 havo- en 4 vwo-leerlingen beschikken inmiddels over een grafische rekenmachine waarmee ze al aardig overweg kunnen. Helaas kan dat nog niet worden gezegd van de meeste docenten van de natuurwetenschappelijke vakken. In deze werkgroep gingen alle deelnemers gezamenlijk aan de slag, met de bedoeling kennis te maken met verschillende mogelijkheden van de grafische rekenmachine in de natuurkundeles.

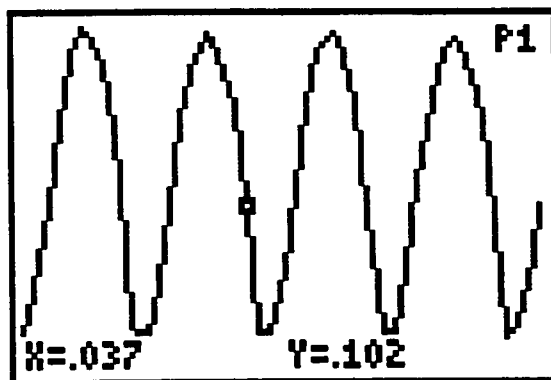
Metten en verwerken

Bij de aanschaf van zestig of meer grafische rekenmachines (TI-83) in één jaar, heeft uw school recht op een gratis CBL: een calculated based logger, kortweg datalogger genoemd. Hierbij worden standaard drie sensoren geleverd: een spanningssensor waarmee de spanning tussen twee punten nauwkeurig kan worden gemeten, een lichtsensor en een temperatuursensor. Daarnaast kunnen tientallen andere sensoren worden aangeschaft, voor zo ongeveer elke denkbare natuurkundige grootheid.

De CBL kan op de TI-83 worden aangesloten, waardoor een meetsysteem ontstaat waarmee overal, dus ook buiten, kan worden gemeten. De verkregen meetresultaten kunnen met de eigen grafische rekenmachine van de leerling worden bewerkt (dus ook thuis) óf ze kunnen worden ingelezen in Coach 5. Daarna kunnen ze worden bewerkt en geanalyseerd alsof ze met Coach 5 zijn verkregen.

Tijdens de werkgroep is gedemonstreerd hoe eenvoudig het is om met de CBL de periode te bepalen van de lichtsterktefluctuaties van een tl-buis.

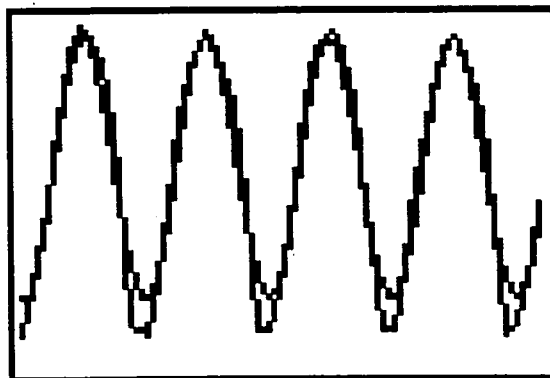
De gemeten lichtintensiteit tegen de tijd werd overgezonden naar de grafische rekenmachines van alle deelnemers aan de werkgroep. Binnen een minuut of tien beschikten alle 25 werkgroepdeelnemers over de onderstaande meetresultaten.



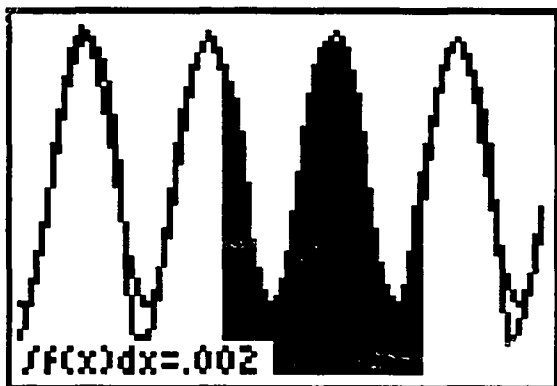
Meetgegevens bewerken

Vervolgens ging iedereen individueel of in tweetallen aan de slag om de meetresultaten te bewerken met behulp van de eigen grafische rekenmachine (TI-83). Het bleek eenvoudig om met de grafische rekenmachine een regressieberekening uit te voeren, met als resultaat een sinusfunctie die de meetresultaten nauwkeurig beschreef.

Hierna werd de mogelijkheid van de grafische rekenmachine onderzocht om een raaklijn in een willekeurig punt van de functiefit te tekenen, waarbij tevens het functievoorschrift van de raaklijn op het scherm van de rekenmachine zichtbaar werd.



Op eenzelfde manier is het mogelijk om de oppervlakte onder een deel van de grafiek te bepalen, waarbij de integratiegrenzen naar wens kunnen worden ingesteld.



Vergelijkingen oplossen

Het laatste onderdeel van deze workshop was wiskundiger van aard. In eerste instantie voerden de deelnemers de lenzenformule in de 'equationsolver' in, waarna het invoeren van de waarden van twee van de drie variabelen (v , b en f) resulteerde in het automatisch berekenen van de onbekende derde variabele.

```

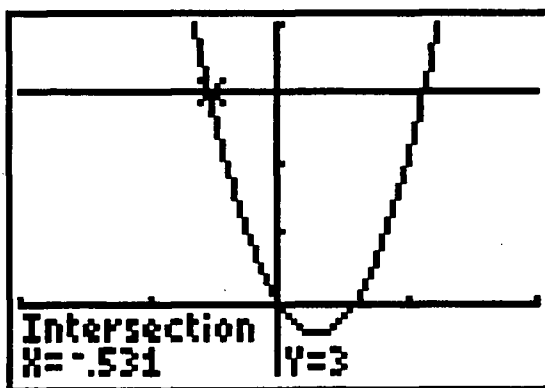
1/F-1/V-1/B=0
F=10
V=12
▪ B=59.999999999...
bound={0, 100}
▪ left-rt=0
    
```

De echte doorzetters hebben zelfs nog even geoefend met het oplossen van een kwadratische vergelijking. Dat kan met de 'equationsolver', hoewel dan steeds duidelijk het domein moet worden aangegeven waarbinnen de gezochte oplossing ligt. Bovendien lijkt deze oplosmethode wel erg veel op een truc – net zoals de abc-formule? De meeste deelnemers gaven de

voorkeur aan de veel inzichtelijker grafische oplosmethode, waarbij beide leden van de kwadratische vergelijking als grafiek worden getekend. Het snijpunt van beide grafieken levert de gezochte oplossing.

```

Plot1 Plot2 Plot3
\Y1 5X^2-3X
\Y2 3
\Y3 =
\Y4 =
\Y5 =
\Y6 =
\Y7 =
    
```



Conclusie

De grafische rekenmachines die momenteel in het middelbaar onderwijs worden gebruikt zijn weliswaar niet bijzonder gebruiksvriendelijk en het beeldscherm heeft een veel lagere resolutie dan de gangbare pc's, maar uw leerlingen kunnen met deze rekenmachines veel meer dan menig onwetend docent voor mogelijk houdt. Daarom lijkt het ons een zinvolle tijdsinvestering om eens een dagje nascholing te volgen over de grafische rekenmachine, bij het Amstel Instituut in Amsterdam of bij het APS in Utrecht.

Technisch ontwerpen en profielwerkstuk versus zelfstandig onderzoek

Werkgroep 22

H. Vos

Universiteit Twente



Inleiding

De werkgroep ging over de vraag: Wat is het verschil tussen ontwerpen en onderzoeken? Een vraag die van belang is in verband met het maken van een profielwerkstuk. Wat zijn de ervaringen met technisch ontwerpen? Wat is er anders ten opzichte van het zelfstandig onderzoek? De bedoeling was om ervaringen opgedaan op scholen, en ervaringen uit het technisch vervolgonderwijs, uit te wisselen. De term leerling en student worden dan ook door elkaar gebruikt.

In de werkgroep kwamen de vragen en de ervaringen van de deelnemers aan de orde. Positieve en negatieve ervaringen, vragen en oplossingen.

Ervaringen

De werkgroep leider is fysicus en onderwijskundig medewerker van de faculteit Elektrotechniek aan de Universiteit Twente. Studenten beginnen de eerste dag in de faculteit al met een project van 40 uur waarin ze in groepen van vier een mobiele programmeerbare robot opbouwen, na eerst de onderdelen doorgemeten en gesimuleerd te hebben. Later in het eerste jaar volgen twee ontwerp opdrachten van 40 en 160 uur. Het eerste project is 5 jaar geleden uitgevoerd. Jaarlijks doen ongeveer 80 studenten mee.

De didactiek die gebruikt wordt om te leren ontwerpen, is die van een opbouw van het ontwerp proces. In het verleden startte men met het uit elkaar halen van oude horloges, waardoor inzicht in de onderdelen ontstond. Tegenwoordig kan dit bijna niet meer, denk aan het digitale horloge.

De tweede fase is het in elkaar zetten van een systeem, het samenstellen uit onderdelen. Dit kan tegenwoordig met goedkope bouw pakketten (bijv. een bewegingsdetector, firma Conrad of Vellekoop). Hier leren leerlingen hoe de onderdelen samenwerken in de totale functie van het systeem. Het repareren van een systeem komt hierbij in zicht. Hier begint het denken in totale functie en functies van onderdelen.

De volgende fase is het verbeteren van een systeem, een extra functie er bij bedenken. Hier ontstaat het denken in functies die er nog niet zijn. Creativiteit gaat nu een rol spelen. Sommige leerlingen vinden het leuker om zelfs iets totaal nieuws te ontwerpen. Hun functionele denken en motivatie ligt dan vaak op een hoger niveau, maar de begeleiding wordt een stuk lastiger en vergt meer tijd.

Ontwerpen is eigenlijk het oplossen van een ontwerp probleem. Er is een probleem, dat vaag beschreven is. Er wordt een oplossingsproces doorlopen. Er wordt een product gemaakt waarmee het probleem is opgelost.

Het verschil met onderzoeken is vaak dat er meerdere oplossingen zijn voor het probleem, dat alle oplossingen helpen om het probleem op te lossen, en dat de beste oplossing alleen bepaald kan worden als we criteria hebben waaraan de oplossing moet voldoen.

Vragen en onderwerpen van de werkgroep leden

Welke *technische mogelijkheden* gebruik je? Genoemd werden het systeembord, maar ook wat leerlingen thuis hebben, zelf, via vader, familieleden, bekenden. Geld voor materialen is natuurlijk nodig. Als leerlingen het product mee naar huis mogen nemen, kunnen ze (een gedeelte van) de kosten natuurlijk zelf dragen. Verder: bergruimte voor de producten tijdens het ontwerptraject, zoals vouwkratten. Aandacht is nodig opdat spullen niet kapot gaan, en waar nodig gerepareerd of vervangen worden.

Welke *concrete voorbeelden* zijn er van technische profielwerkstukken? Voorbeeld: Een Route Informatie Systeem voor blinden (Techniek 15+), zelf een batterij maken (wel de inwendige weerstand bepalen als functie van de zuurgraad bijvoorbeeld), een (model van een) automatische brug over een kanaal (met stoplichten) enz. Zie ook de website van Techniek 15+: <http://www.cma.beta.uva.nl/wwwT15/>

Een beroep op de creativiteit is nodig om vakoverstijgende profielwerkstukken te genereren. Het overleg met andere secties dient daarom tijdig te starten, maar ook weer niet al te lang van tevoren om de druk op de ketel te houden. Drie maanden lijkt voldoende. Dit overleg dient ook te gaan over de beoordelingscriteria: zijn die uniform (en dus heel algemeen) of heeft elk vak zijn eigen criteria (die dan veel gedetailleerder kunnen zijn)? Tevens is het verstandig andere betrokkenen te informeren (ouders, schoolleiding).

Het is zaak de tijd van leerlingen goed te bewaken door *tussenproducten* te vragen en die met hen te bespreken. De meeste deelnemers verwachten een enkele groep leerlingen die voor het technische profielwerkstuk kiezen en vinden maatregelen om hun eigen tijd te bewaken daarom niet zo nodig (ten onrechte, leek andere deelnemers).

Als mijlpalen in het proces kunnen de volgende tussenproducten dienen. Een duidelijke vraag- of probleemstelling (als ze die zelf mogen bedenken of kiezen) met een programma van eisen waaraan het product moet voldoen. Een ideeëntabel waarin meerdere alternatieve oplossingen voor realisatie van het product komen te staan (per deelfunctie meerdere mogelijkheden). Een tijdsplanning waarin de materialen, het gereedschap, de werkvolgorde en de noodzakelijke begeleiding komen te staan. Een logboek dat bij elke bijeenkomst wordt gebruikt. Een verslag van het hele proces en het product. Een presentatie voor elkaar, de school en/of de ouders. Aan de hand van dergelijke tussenproducten kan het proces gefaseerd worden in stappen, kan de voortgang bewaakt worden, en wordt de begeleiding vergemakkelijkt. Zie voor deze onderwerpen ook de website van de SLO: <http://www.slo.nl/~ontwerpen/>

De *sturing* van de leerlingen is een lastig punt. De leerlingen denken vaak in termen van een compleet product dat ze in een keer willen maken, zonder dat ze een probleem hebben dat met dat product wordt opgelost. Ze focussen dan op – vaak veel te hoog gegrepen – oplossingen, terwijl er geen eenvoudiger alternatieven ter beschikking staan. Daarom is het verstandig altijd uit te gaan van een min of meer reëel probleem (bijvoorbeeld: je bent verdwaald op een berg en je GSM-batterij is leeg – kun je van de citroen die je bij je hebt, water uit een stroompje en paperclips een bruikbare batterij maken die lang genoeg werkt?).

Hoe moeilijk maak je het jezelf? Je kunt het jezelf en de leerlingen heel moeilijk maken door hoge eisen te stellen, de leerlingen vrij te laten in hun onderwerp,

enz. Je kunt veel zaken aan de verantwoordelijkheid van de leerlingen overdragen, maar dat vergt natuurlijk wel een andere begeleiding dan die we gewend zijn. Om dat te ontwikkelen heb je tijd nodig, niet te veel in een keer, gewoon eens proberen hoe het gaat, en langzamerhand systematiseren.

Wat is technisch ontwerpen? Hoe breed? Hoe diep? Voor de een begint technisch ontwerpen al bij het in elkaar zetten van een bouw pakket, voor een ander liggen de eisen hoger. Het belangrijkste is mijns inziens dat het denken in onderdelen van een groter geheel op gang komt, het denken in systemen en deelsystemen. Leerlingen moeten doorkrijgen waar ze mee bezig zijn, hoe de onderdelen samenwerken in het geheel, wat de functies zijn van de diverse onderdelen. Ze kunnen elkaar daarbij helpen, als ze in een groep werken.

Een grotere groep dan gebruikelijk heeft hier voordelen. Drie gaat wel eens goed, meestal niet. Aanbevolen wordt de leerlingen in groepen van vier te laten werken, met name wanneer het maken van een technisch profielwerkstuk door meer leerlingen dan de paar fanaten gestimuleerd wordt.

Een grotere groep heeft als voordeel dat er meer ideeën voor analyse van het probleem op tafel komen, en meer alternatieve oplossingen. Bovendien hebben ze meer mogelijkheden om aan materialen en gereedschappen te komen en er is grotere kans dat er voldoende handvaardigheid aanwezig is. Ze kunnen elkaar beter helpen bij problemen. Bij de uitvoering kunnen ze in paren aan deeltaken werken. Het nijkwerk en de besprekings tijd voor de docent wordt minder.

Introductie naar leerlingen, de informatie die gegeven wordt, dient zeer zorgvuldig samengesteld te worden. In het begin worden hier best fouten mee gemaakt, maar het introduceren van een technisch profielwerkstuk is een proces van ervaringsleren, net als het leren ontwerpen zelf. Zoals leerlingen aarzelend een technisch profielwerkstuk maken en zodoende een eerste stap zetten bij het leren ontwerpen, zo zullen wij als docenten ook voorzichtig het profielwerkstuk invoeren. Stap voor stap, niet te hoog grijpend in het begin, gebruik makend van de ervaringen van collega's in de buurt. Door elkaars onderwerpen over te nemen en uit te breiden, elkaars materiaal te bewerken voor de eigen situatie en dat weer aan anderen ter beschikking te stellen. Door problemen met elkaar te bespreken. Net zoals in deze bijeenkomst.

Een technisch profielwerkstuk maken is ontwerpen. Wat we hier doen is ontwerpen van een stuk onderwijs. Als we daarover wat doorfilosoferen, doen we eigenlijk hetzelfde als onze leerlingen.

Studievaardigheden in de natuurkundeles

Werkgroep 23

H. Bruijnesteijn

APS/De Nieuwe School

Inleiding

In deze werkgroep vulden de deelnemers bij onderstaande opdracht de tabel individueel in. Het ruwe gemiddelde van alle deelnemers is nu in de tabel opgenomen.

Opdracht:

Denk even terug aan uw middelbare schooltijd. U hebt toen ongetwijfeld veel geleerd. Probeer in onderstaand schema voor elk facet 100% te verdelen over of u dat facet impliciet op school hebt geleerd en of u dat facet expliciet op school geleerd hebt.

	impliciet	expliciet
Kennis	20%	80%
Studievaardigheden	80%	20%
Attitude	70%	30%
Leervermogen	80%	20%

De teneur is duidelijk. Kennis kwam veel meer expliciet aan bod dan de andere facetten van het leren. Bij jongere collega's waren de percentages in de onderste drie vakjes van de linker kolom vaak lager.

Aandacht voor studievaardigheden

In de tweede fase is één van de veranderingen het meer expliciet aandacht besteden aan leren leren, o.a. studievaardigheden. Het werken aan verbeteren van studievaardigheden in de contacturen leidt wellicht tot effectiever werken in de Z-uren. Vooral de minder goede leerling is op de langere termijn meer gebaat bij onderwijs in studievaardigheden dan bij meer uitleg van de vakinhoud. De betere leerling hanteert meestal de studievaardigheden al impliciet. Hem of



haar dat gebruik van studievaardigheden bewust maken, leidt tot het beter hanteren van deze vaardigheden.

Kennis over studievaardigheden

Om beter studievaardigheden als oriënteren, plannen, paragraaf-aanpak, 'schematiseren en reflecteren te kunnen toepassen, moeten leerlingen kennis over deze vaardigheden aangereikt krijgen. Wat voor soorten schema's zijn er? Hoe ziet een stappenplan oriënteren eruit? Welke tekst is geschikt om te schematiseren en welke niet? Hoe pak je een paragraaf aan? Wat zijn goede reflectievragen?

Stappenplan aanleren (studie)vaardigheden

Bij het bewust in de les met studievaardigheden bezig zijn, kan het volgende stappenplan gehanteerd worden.

1. Introductie:

- waarom, waarvoor en wanneer gebruiken
- kenmerken, argumenten
- beschrijving werkwijze

2. Modelleren:

- stap voor stap voordoen
- laten zien van kenmerken

3. Laten oefenen:

- leerlingen verfijnen aanpak, 'shaping'
- docent geeft (ongevraagde) feedback

4. Uitbreiden en wendbaar maken:

- laten oefenen bij andere, moeilijker opdrachten
- toepassen bij andere vakken

5. Reflecteren:

- feedback geven, in toets opnemen
- bijstellingen aangeven/bespreken
- leerresultaten terugvoeren op manier van aanpak

Net zoals bij het maken van vraagstukken is het belangrijk dat de docent de 'vaardigheid' voordoet en daarbij duidelijk, hardop vertelt welke stappen zij/hij daarbij onderneemt. (Stap 2)

Stappenplan schematiseren

Tijdens de werkgroep werd in tweetallen een tekst geschematiseerd. Daarbij maakte de één een schema, terwijl de ander observeerde en de stappen noteerde die de schematiseerder na elkaar ondernam. Daarna werd in viertallen met behulp van de genoteerde stappen een stappenplan voor het schematiseren van leerboekteksten gemaakt, dat in het lokaal aan de wand gehangen kan worden.

Deze werkwijze is ook goed toepasbaar in de les, waarbij leerlingen dan een studievaardigheid aan-

pakken. Leerlingen, trouwens docenten ook, leren dan van elkaars aanpak. In een klasseggesprek worden de verschillen in de diverse aanpakken besproken.

Tijdrovend?

Een verandering in de didactiek van een docent kost altijd tijd. Maar meer door de extra voorbereiding die deze verandering behoeft, dan dat het veel meer lestijd kost. De studievaardigheden worden immers op een vakinhoud losgelaten. Als leerlingen een stuk leerstof schematiseren, hoeven ze waarschijnlijk minder 'vragen en opdrachten' over die leerstof te maken om eenzelfde of beter leerresultaat te bereiken. En op de langere duur ...

Fysica als gezelschapsspel

Werkgroep 24

*M. Beddegenoodts,
M. Heines & J. Hellemans*

Inleiding

Voor leerlingen is het motiverend de studie van fysica onder een andere werkvorm te ervaren. De spelvorm kan een element zijn om hen aan te sporen actief met fysica bezig te zijn en kan tevens helpen bij het ontwikkelen van een aantal sociale vaardigheden. In deze werkgroep werden vier naar de fysica toe uitgewerkte spelen voorgesteld.

Domino

Om het gebruik van eenheden te ontwikkelen werden de vakjes met bolletjes op het klassieke dominospel vervangen door vakjes met telkens een fysische eenheid. Tegen elk vak moet een corresponderend vak worden aangelegd. Wie het eerst al zijn blokjes kwijt is, is de winnaar.

Het spel werd ontwikkeld naar leerlingen die slechts een jaar fysicaonderwijs hadden.

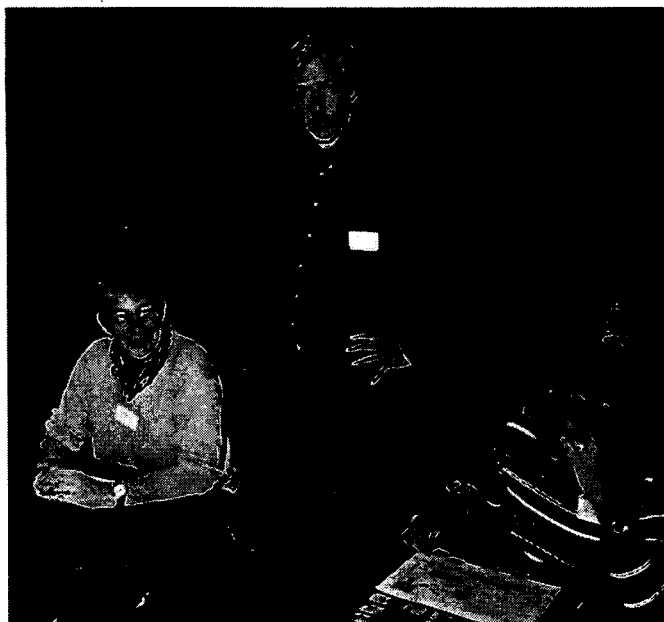
Memory

Voor dit spel werden kaartjes gemaakt waar koppels van fysische begrippen naast elkaar werden gezet. De leerlingen moeten onthouden waar de twee kaartjes van een koppel liggen. Op de kaartjes werden figuren, namen van begrippen, grafieken, apparaten en namen of tekeningen van fysici opgenomen.

Dit spel kan gespeeld worden door leerlingen met twee jaren fysicaonderwijs achter de rug.

Bingo

Voor dit spel werden grote kaarten ontwikkeld met telkens zeven kolommen en vijf rijen vakjes. Acht verschillende combinaties werden aangemaakt. Bij elke grote kaart horen vijfendertig kleine kaartjes. Deze kaartjes corresponderen met telkens juist één begrip op de grote kaart. De spelleider bezit deze kleine kaartjes ook. Hij trekt uit zijn bundel ad random een kaartje en leest dit luidop voor. De spelers zoeken op hun grote kaart de overeenkomende plaats



en leggen het kleine kaartje er op. Wie eerst een horizontale en een verticale rij vol heeft is gewonnen. Het spel werd ontworpen voor leerlingen die bijna klaar zijn met de studie van de natuurkunde.

Mens erger je niet

Dit spel werd ontwikkeld met het jaar 2000 voor ogen en is daarom gebaseerd op de geschiedenis van de fysica. Het klassieke 'mens erger je niet' werd aangepast. Op het speelbord werden de speelvakken in drie categorieën opgedeeld. De eerste categorie bestaat uit de klassieke vakken: wie er op terecht komt, wacht zijn volgende beurt af. Wie op een vak van de tweede categorie komt, neemt een kaartje van een stapel kaartjes. Op het kaartje staat een foto en wat summere informatie over een natuurkundige. De speler moet raden om wie het gaat. Op een antwoordkaart kan nagegaan worden of het antwoord correct is. Is dat inderdaad zo, dan mag de speler nogmaals de dobbelsteen gooien. Komt een speler op een vak van categorie drie, dan neemt een medespeler een kaartje van een andere stapel kaartjes en leest de vraag (een algemene vraag natuurkunde met een historische achtergrond) hardop voor. Ook nu moet de vraag correct beantwoord worden opdat de speler terug de dobbelsteen mag gooien. Het antwoord staat bij deze kaarten onderaan genoteerd.

De speler die voor het eerst zijn pionnen op de correcte plaats krijgt, is gewonnen.

Ook voor dit spel wordt geacht dat de spelers alle topics van de natuurkunde bestudeerd hebben. Door echter een selectie van de kaartjes te maken, kan het spel door jongere leerlingen gespeeld worden.

De vier voorgestelde spelen kunnen door de leraar aangepast worden aan de leerlingengroep voor wie ze bestemd zijn.

'De Trillende Tengel'

Werkgroep 27

J. Buning & P. Dekkers

Vrije Universiteit, Amsterdam

Inleiding

Aan de Vrije Universiteit wordt gewerkt aan het thema 'leren onderzoeken in de Tweede Fase', wat onder andere tot les- en ander materiaal ten dienste van docenten heeft geleid. Twee bundels die op dat gebied zijn ontwikkeld hebben we in deze werkgroep gepresenteerd. We hebben docenten laten ervaren wat de opbrengst kan zijn van het werken met de bundels.

Lesmateriaal

Allereerst is dat de bundel *Leerlingenonderzoek Natuurkunde*, waarin een aantal voorbeelden van leerling-onderzoek, bestaande uit korte starterpakketten voor leerlingen bij het begin van hun eigen onderzoek, met een korte achtergrond voor docenten. De voorbeelden komen uit de praktijk: de bedoeling is, dat wie de bundel afneemt na enige tijd zelf enkele bijdragen levert en er samen met de auteurs nieuwe voorbeelden voor de bundel van maakt. Bovendien bevat de bundel tips en suggesties voor de begeleiding van eigen onderzoek door leerlingen, gebaseerd op de uitgebreide ervaring aan de VU met het begeleiden van het EXO.

Verder is met een groep docenten in het zogenaamde *Bètanetwerk* samengewerkt aan het ontwikkelen van een traject voor 'leren onderzoeken' in de Tweede Fase. Daarin is ervaring opgedaan met het maken en uitproberen van 'onderzoekspractica' die specifiek gericht zijn op het leren onderzoeken. Dit heeft een bundel opgeleverd met bondige adviezen voor het ontwerpen van zo'n traject enerzijds, en een flink aantal voorbeeld-practica anderzijds. De bundel *Onderzoekspractica en Praktische Opdrachten voor Natuurkunde in de Tweede Fase* (afgekort *OP en PO Natuurkunde*) plukt u gratis van het internet (<http://www.ido.vu.nl/>, klik op 'vaknascholing', 'exacte vakken', en 'onderwijsmateriaal' onder het kopje natuurkunde). Voor bestellen van papieren versies van de bundels of voor nadere informatie: bel of email (buning@nat.vu.nl).



Leren Onderzoeken

Het uitgangspunt in ons werk aan 'leren onderzoeken' is dat leerlingen eerst de kans moeten krijgen te *leren* onderzoeken, voordat getoetst wordt of ze *kunnen* onderzoeken. Om te leren onderzoeken is niet voldoende dat leerlingen allerlei onderzoekshandelingen (al dan niet in samenhang) verrichten, ze dienen er *ook* over na te denken waarom die handelingen nodig zijn, en hoe ze zo goed mogelijk verricht kunnen worden. Alleen dan kunnen leerlingen zelfstandig onderzoek van goede kwaliteit (leren) verrichten, denken wij. Het onderzoek doen *zelf* dient dus het onderwerp van een zeker aantal lessen te worden. Dat 'onderzoek doen' zal altijd aan een bepaalde vakinhoud verbonden zijn, maar het is niet die vakinhoud die centraal staat.

Samen met docenten hebben we geleerd dat hier een groot probleem ligt bij het werken aan 'leren onderzoeken'. Vragen die in dat verband spelen zijn:

- Waar moet het dan in de les over gaan?
- Wat doen de docent en de leerlingen in zo'n les?
- Hoe zorg je dat ze iets leren wat de volgende keer ook weer bruikbaar is?
- Hoe krijg je een opbouw in het leerproces?

De bundels die we hebben uitgebracht ondersteunen docenten bij het vinden van antwoorden op deze vragen.

Illustratief voorbeeld van een onderzoekspracticum: *De Trillende Tengel*

Tijdens de werkgroep is het onderzoekspracticum *De Trillende Tengel* uit de bundel *OP en PO Natuurkunde* door de deelnemende docenten uitgevoerd. Ons doel daarmee was dat de deelnemers zouden ervaren, hoe gebruik van de bundel kan helpen bij het vinden van antwoorden op bovenstaande vragen. De docenten bemerkten (uiteraard in een notedop) dat andere aspecten van het vak dan de theorie centraal kwamen te staan. Ze ervoeren wat leerlingen en do-

centen zoal doen in zo'n practicum. Bovendien probeerden we iets over te brengen van onze overtuiging, dat een gefaseerde aanpak van 'leren onderzoeken' uitvoerbaar en bruikbaar is. Een mogelijke uitwerking van die aanpak is in de bundel te vinden.

De situatie die onderwerp is van het practicum *De Trillende Tengel* is eenvoudig en in diverse lesboekjes terug te vinden. Bevestig een liniaal aan een tafel, laat het uiteinde uitsteken en geef het een tik (zie figuur 1). Het uiteinde gaat trillen met een bepaalde trillingstijd: waar hangt die van af? Leerlingen zullen bijvoorbeeld de lengte en massa van de 'tengel' noemen. Al gauw blijkt de tengel langzamer te trillen als hij langer wordt gemaakt. Maar hoe neemt precies de trillingstijd toe als de lengte toeneemt?

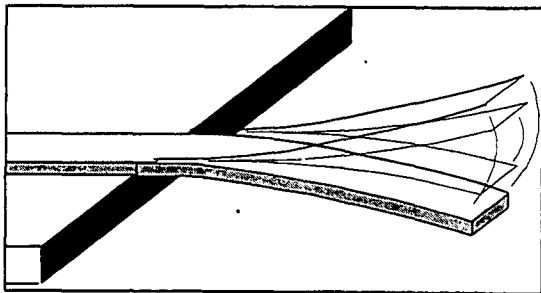


Fig. 1 Trillende Tengel

Tot hier toe is de lesvorm een demonstratie en heeft de klas als geheel samengewerkt. Vanaf dit punt wordt in kleinere groepjes verder gewerkt aan de centrale vragen van het practicum, die draaien om de overtuigingskracht van experimenteel bewijsmateriaal:

- Naar welk type eindantwoord ben ik op zoek, en waarom?
- Als ik op basis van mijn metingen een conclusie heb getrokken, hoe zeker ben ik er dan van dat die conclusie klopt? Wat bepaalt de overtuigingskracht van het bewijsmateriaal?

Leerdoelen – Als leerlingen (begin 4e klas) het verband tussen grootheden O en A moeten onderzoeken, gaan ze vaak als volgt te werk: 'Ik kies en meet een zekere O , en bepaal A ; dan kies en meet ik een andere O en bepaal A nog een keer; ik concludeer dan of O van invloed is op A .' Dat is niet fout. Wel fout is een conclusie van de vorm: 'als O groter wordt dan wordt A groter' (resp. 'blijft A gelijk' of 'wordt A kleiner'). Er is immers alleen een *verschil* bepaald, geen *trend*; daarvoor zijn meer dan twee waarden van O (en dus A) nodig.

Vaak zijn we met een trend nog niet tevreden, en willen we dat leerlingen een (empirisch) *verband* bepalen: een trend die gekwantificeerd is, bijvoorbeeld in de vorm van een grafiek. Soms mag u zelfs van leerlingen verwachten dat ze de *relatie* tussen twee grootheden uit meetresultaten afleiden (of toetsen). Een relatie (of theoretisch verband) is een verband in

de vorm van een formule die een fysische interpretatie heeft.

Als onderzoeker streef je een zo krachtig mogelijk resultaat na. Daarbij is een gemeten verschil het 'zwakste', een gevonden relatie het 'sterkste' resultaat.

In dit practicum wordt duidelijk dat onderzoekers zo te werk gaan, en *waarom* ze dat doen. Daartoe wordt de eerder genoemde eerste vraag over het 'type eindantwoord' beantwoord. De leerlingen zien met het blote oog dat de trillingstijd toeneemt als de lengte toeneemt. Er wordt op gewezen dat die toename op allerlei wijzen kan plaatsvinden, en gesuggereerd dat die verschillende wijzen onderscheiden kunnen worden door metingen te verrichten en ze in een grafiek te brengen (zie figuur 2).

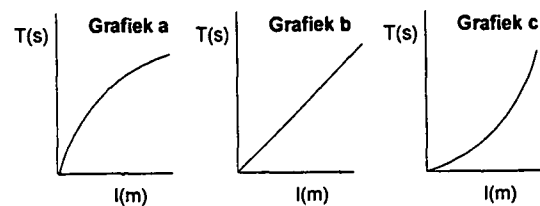


Fig. 2 Wat is het verband tussen trillingstijd T en lengte l van de tengel?

Uitvoering – De leerlingen wordt gevraagd een meetplan te maken om te bepalen op welke manier de trillingstijd in het echt verandert. Maken en uitvoeren van het plan zijn in dit geval eenvoudig. Waar het om gaat is dat bewijsmateriaal wordt verzameld dat zo overtuigend mogelijk de conclusie ondersteunt. Te verwachten is dat sommige leerlingen niet spontaan het herhalen van metingen inplannen, of een te klein bereik kiezen, of niet bedenken hoeveel metingen ze in het bereik gaan doen. In de bedoelde opzet wordt leerlingen gevraagd wat ze van plan zijn en waarom, maar krijgen ze *op dit moment* geen aanwijzingen om tot verbetering te komen. In *dit* practicum is het doel dat ze die problemen zelf ondervinden en leren oplossen.

De bespreking van de grafieken, de conclusies en de overtuigingskracht van de gegevens als ondersteuning van die conclusies zijn *essentieel* in dit practicum. Er ontstaat namelijk typisch een stel meetwaarden van de vorm die in figuur 3 zijn getekend. Grote waarden van T kunnen niet worden gevonden omdat de liniaal niet langer is, kortere waarden niet omdat de trilling te snel wordt om met het oog te volgen. Dan is dus de vraag welke lijn je 'door' de meetpunten dient te trekken. Dat roept een heleboel vragen op: door het stellen en beantwoorden van *die* vragen komt het onderzoeken zelf centraal te staan. De vragen die we bedoelen zijn:

- *Hoe zeker ben je ervan dat de waarde van T bij zekere l de juiste is?* Dus: waarom herhaal je de metingen? Houd je rekening met reactietijd? Zijn de instrumenten goed genoeg? Waarom neem je het ge-

middelde? Zou T anders kunnen zijn als je nog veel meer metingen deed? Etc.

- *Op welk gebied is je conclusie geldig?* Dus: wat is het belang van het meetbereik, in hoeverre mag je interpoleren, in hoeverre mag je extrapoleren? Moet je een zo groot mogelijk meetbereik kiezen? Hoe hangt dat van de onderzoeksvraag, de materialen en instrumenten af? Etc.

- *Onderbouwt je bewijsmateriaal je conclusie optimaal?* Dus: passen er ook andere conclusies bij je metingen? Wat was de winst geweest van meer meetpunten in het meetbereik? Waarom trek je een vloeiende curve langs de meetpunten en geen gebroken lijn van punt naar punt? Etc.

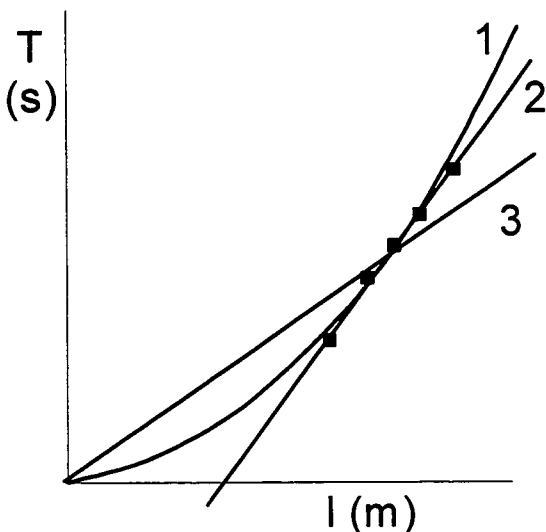


Fig. 3 Past kromme 1, rechte 2 of rechte 3 het best bij de meetpunten?

Leerlingen kunnen zelf een eind komen in het bespreken en beantwoorden van de vragen, maar de docent kan de discussie vaak stimuleren. In dit geval merkte de 'docent' op dat je weliswaar bij heel korte lengtes niet kunt meten, maar toch iets van de vorm van dat deel van de grafiek kunt zeggen. (Immers, je *ziet* bij alle eindige lengtes een zeer snelle trilling, en dus een kleine, positieve waarde van T .) Deze opmerking leverde, samen met de meetresultaten, onder de werkgroepdeelnemers een levendige discussie over diverse van de bovenstaande vragen op.

Doel van het practicum is dat leerlingen leren begrijpen hoe ze de bewijskracht van observaties kunnen optimaliseren, en waarom ze dat dienen te doen. Concreet ging het om:

- het herhalen van metingen
- de keuze van een optimaal meetbereik
- de keuze van een optimale serie meetpunten binnen dit bereik
- het benutten van mogelijkheden tot extra- en interpoleren.

Daarbij hoort dat de leerling leert in welke mate in deze aspecten van het meetplan tijdens de uitvoering van het experiment nog aanpassingen gemaakt mogen of moeten worden.

Hiertoe wordt, na de fase van werken in kleine groepjes, een klassediscussie gevoerd waarin de resultaten, conclusies en onderbouwingen van de conclusies worden vergeleken. Het is daarna tijd voor de docent om de belangrijkste zaken op een rijtje te zetten die aan de orde zijn geweest en in (vrijwel) ieder volgend onderzoek weer terug zullen komen.

Evaluatie

De deelnemers merkten op, het aardig te vinden een flinke periode zinnig met natuurkunde bezig te zijn geweest zonder daarbij fysische theorie nodig te hebben. In dat opzicht was de werkgroep een eye-opener. Diverse docenten hadden een betere of nieuwe visie gekregen op de mogelijkheid om het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden in de klas aan te pakken.

Sommige deelnemers vonden het basisidee van het gebruik van volledige onderzoekjes om leerlingen te leren onderzoeken onvoldoende uitgewerkt. Ze vonden dat er te weinig gebruik was gemaakt van mogelijkheden om leerlingen zelf tot een onderzoeksvraag te laten komen en hen zelf in staat te stellen alle (of meer) facetten van het doen van onderzoek te leren kennen in dit specifieke onderzoek.

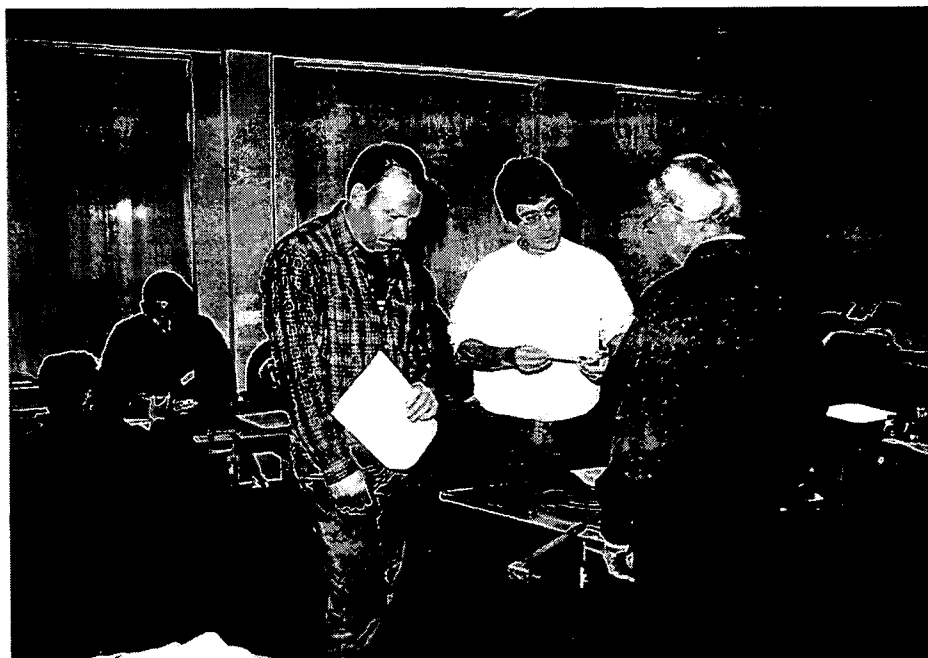
Inderdaad is er in *dit* practicum bewust voor gekozen om het vaststellen van de onderzoeksvraag, het weergeven van meetresultaten etc. behoorlijk te structureren en die aspecten 'gesloten' aan te pakken. Het is namelijk onze ervaring dat dit zowel docenten als leerlingen de broodnodige richting geeft in het leerproces. Als alle aspecten van het onderzoek tegelijk een probleem worden, wordt er immers vaak geen een opgelost. Zaken die in dit practicum zijn gestructureerd, worden in andere practica weer open gelaten. Samen vormen die practica een zorgvuldig traject waarin alle fasen van onderzoek aan bod komen en geleidelijk aan meer geïntegreerd en zelfstandig door leerlingen worden uitgevoerd.

Deze aanpak stelt ons ook in staat gebruik te maken van kortdurende practica, waarin het verschil tussen het werk van verschillende groepjes leerlingen niet al te groot is. Dit type practicum heeft onder de docenten waarmee we samenwerken (in de 4e en 5e klas) de voorkeur boven lang-durend, project-achtig onderzoek door leerlingen.

Dat wil natuurlijk niet zeggen dat onze aanpak de enig mogelijke is. Naarmate leerlingen zelfstandiger werken of meer interesse in het vak hebben, zullen meer vrije en open benaderingen beter mogelijk worden. We denken echter dat onze aanpak voor de gemiddelde docent een werkbare benadering oplevert. Die aanpak bergt weliswaar enige uitdagingen in zich, maar stelt docenten ook in staat een, voor de meesten, nieuw aspect van het vak in hun onderwijs

naar voren te brengen: de wijze waarop natuurkundige kennis in de praktijk tot stand komt.

Jaap Buning en Peter Dekkers
Faculteit der Exacte Wetenschappen
Vrije Universiteit
E-mail: buning@nat.vu.nl
Tel. : 020-4447885



Het profielwerkstuk in de praktijk

Werkgroep 28

J.H. Flokstra & C.M. Drukker

Van Capellen SG, Zwolle
Thomas à Kempiscollege, Zwolle



De meeste scholen in Zwolle zijn in het schooljaar 98-99 begonnen met de Tweede Fase. Daardoor kregen wij dit jaar de eerste groep leerlingen die een profielwerkstuk moeten maken. De Staatssecretaris heeft inmiddels ingegrepen en deze leerlingen hoeven dat werkstuk niet meer te maken, maar de nieuwe lichteningen moeten wel weer een profielwerkstuk maken, zij het nu voor één vak.

Wij hebben met de deelnemers aan onze werkgroep gepraat over de maatregelen die een school eerst moet nemen alvorens de leerlingen kunnen starten. Bijvoorbeeld de begeleiding van de docenten bij het

maken, het aantal leerlingen per docent, de slotbeoordeling enz. Wij hebben een lijst gemaakt van alle punten die van tevoren moeten worden bekeken en de deelnemers hebben daar in groepen over gediscussieerd. In de gesprekken kwamen er nog veel meer gesprekspunten en bleek dat de tijd niet voldoende was om de hele lijst af te werken.

Wij hopen dat onze collega's er ondanks alle wijzigingen voldoende aan hebben gehad om in het nieuwe schooljaar op een goede wijze met hun leerlingen te starten.

Praktische producten voor de tweede fase

Werkgroep 29

S. Buwalda & H. Pol

Rijksuniversiteit Groningen



Inleiding

Tijdens de werkgroep is verslag gedaan van de activiteiten en de organisatie van het netwerk β -blokker/studiestijgers.

Studiestijgers is een netwerk van docenten biologie, natuurkunde, scheikunde, wiskunde en sinds kort ook algemene natuurwetenschappen. Het netwerk wordt geleid door vakdidactici van de disciplines natuurkunde, scheikunde, biologie en wiskunde.

Tijdens de netwerkbijeenkomsten wordt gesproken over de problemen die docenten ondervinden bij de organisatie en vormgeving van de tweede fase. In het afgelopen cursusjaar heeft het netwerk zich vooral bezig gehouden met de organisatie van het profielwerkstuk.

Profielwerkstuk

In de loop van het afgelopen schooljaar zijn op de deelnemende scholen docenten en leerlingen bezig geweest met het uitvoeren van profielwerkstukken. Het product van dat jaar is een bloemlezing van de verslagen van de leerlingen, gekoppeld aan de erva-

ringen van de docenten en TOA's. Het bevat dus rapportages van de problemen die optreden bij het daadwerkelijk uitvoeren van een profielwerkstuk. Onderdelen daarvan zijn de begeleiding, de tijdsinspanning van de leerlingen en de docent, en de beoordeling van het werk.

Binnen het netwerk wordt al enkele jaren gewerkt aan eerst het zelfstandig onderzoek en daarna in het verlengde daarvan het profielwerkstuk. Verschillende problemen bij het invoeren van het profielwerkstuk kwamen tijdens de werkgroep aan de orde. De oplossingen voor de problemen konden voor een gedeelte door de werkgroepeliders worden gegeven, maar ook de deelnemers wisten de nodige oplossingen aan te dragen.

Voor meer informatie over het netwerk en het boekje *Profielwerkstuk*:

Henk Pol,
Vakdidactiek natuurkunde, RuG
Adres: Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen
E-mail: H.Pol@fwn.rug.nl



Naar samenhang in de natuur-profielen

Werkgroep 30

T. van der Valk

Universiteit Utrecht



Inleiding

Een belangrijke vernieuwing die we met de invoering van de Tweede Fase moeten vormgeven betreft de profielen. Het is de bedoeling dat de samenhang tussen de profielvakken voor leerlingen duidelijk is en effectief werkt. Dat gaat niet vanzelf: de samenwerking tussen de β -vakken moet worden uitgebreid om samenhang te brengen in de profielen Natuur en Gezondheid en Natuur en Techniek.

In het project *Bèta Profielen in het Studiehuis* (BPS-project) wordt gewerkt aan de inhoudelijke samenhang tussen de vakken en aan het ontwikkelen van een gemeenschappelijke didactiek voor de β -vakken in het studiehuis. In deze werkgroep is informatie gegeven over het BPS-project en de ervaringen met de β -profielteams in de BPS-scholen. Er is ingegaan op één gezamenlijk aspect van de β -vakken: het rekenen met verhoudingen.

Het Project Bèta Profielen in het Studiehuis

De invoering van de profielen *Natuur en Gezondheid* en *Natuur en Techniek* in de Tweede Fase vormt een uitdaging voor docenten, scholen en didactische instituten om na te denken over de samenhang tussen de β -vakken. Immers, die profielen zijn bedoeld om leerlingen een samenhangend onderwijsaanbod te geven. Wat moeten we dan verstaan onder een samenhangend onderwijsaanbod? En hoe realiseer je dat?

Het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen (CD- β) van de Universiteit Utrecht heeft deze uitdaging aangegrepen om de samenwerking met scholen te verstevigen. Daartoe is het Project Bèta Profielen in het Studiehuis opgezet. Concreet wordt er gewerkt aan het vormen van een β -profielteam op de scholen waarin de secties biologie, scheikunde, natuurkunde en wiskunde met elkaar werken aan onder andere de volgende onderwerpen:

- 'leerlingen doen onderzoek'
- ICT en Internet in de klas

- afstemming van Praktische Opgachten, uitmondend in het Profielwerkstuk
- een samenhangend leerplan voor 4, 5 en 6VWO
- discussie over gemeenschappelijke begrippen (gebruiken we begrippen als *verhouding*, *energie*, *kans*, *gas* wel op dezelfde manier?)
- 'zelfstandig leren': gemotiveerd door leerstof, samenwerkend én reflecterend op inhoud en werkwijze.

Het project is gestart in 1997 en loopt tot tenminste 2001. De scholen de Breul en Brokledde zijn er vanaf het begin bij betrokken. In 1998 is er een tweetal scholen bijgekomen en in 1999 nog eens twee. Nader informatie kan verkregen worden bij het Centrum voor β -didactiek, Postbus 80 000, 3508 TA Utrecht, t.a.v. dr. A.E. van der Valk. Home page van het BPS-project: <http://www.fi.uu.nl/bps>.

Waarom een β -profielteam

We zien vier argumenten voor het samenwerken in een β -profielteam:

- inhoudelijke afstemming
- afstemming van vaardigheden
- een samenhangende didactiek
- samenwerking inspireert.

Inhoudelijke afstemming is nodig omdat wiskunde, natuurkunde, scheikunde en biologie inhoudelijk veel raakvlakken hebben. Ze kunnen eigenlijk niet zonder elkaar. Tot nu toe is die samenhang weinig zichtbaar geweest en de leerlingen konden er bij het leren dan ook geen gebruik van maken. Hét obstakel vormde de grote variatie in vakkenpakketten in de bovenbouw van HAVO en VWO. Door de invoering van de profielen in de Tweede Fase is die situatie veranderd. In de profielen Natuur en Gezondheid (N&G) en Natuur en Techniek (N&T) kunnen we nu gebruik maken van de samenhang. Met als gevolg dat de β -vakken interessanter kunnen worden en wellicht ook

makkelijker. Door het vermijden van onnodige overlap en door ervoor te zorgen dat een onderwerp bij het ene vak is behandeld vóóordat het bij het andere vak aan de orde komt, kunnen de vakken efficiënter gegeven worden. Daar schortte het in de oude situatie nog wel eens aan. Een berucht voorbeeld is de differentiaalrekening. Als de wiskundedocent toe was aan dit onderwerp hadden de leerlingen de regels voor differentiëren bij natuurkunde vaak al gehad, en meestal op een andere manier dan bij wiskunde.

Afstemming van vaardigheden is mogelijk en wenselijk omdat de profielvakken volgens het examenprogramma moeten zorgen voor een goede variatie in praktische opdrachten en presentatievormen. Daarbij komt dat het domein 'vaardigheden' voor de verschillende natuurwetenschappelijke vakken vrijwel identiek geformuleerd is en veel overeenkomsten heeft met het domein 'vaardigheden' van het wiskundeprogramma.

Het lijkt voor de hand te liggen de vaardigheden over de vakken te verdelen, maar dat is zeker niet ónze aanpak. Veel beter lijkt het ons dat elk vak de vaardigheden in de specifieke vakcontext aanleert, maar daarbij wél gebruik maakt van wat al bij andere vakken is geleerd. Een voorbeeld: de leerlingen leren bij biologie hoe ze een verslag van een biologisch onderzoek moeten maken. Ook bij natuurkunde moeten ze een verslag maken dat ongeveer dezelfde opzet heeft. Dus brengen ze het maken van een verslag nog eens in praktijk, maar nu in een natuurkundige context. Zo bereiden we de leerlingen gezamenlijk voor op het uitvoeren van praktische opdrachten en het maken van een profielwerkstuk.

Een samenhangende didactiek is nodig voor het bevorderen van zelfstandig leren in het studiehuis. Voor zelfstandig leren in de β -vakken is de begeleiding van ons, docenten, hard nodig. Maar binnen een β -profielteam bestaan soms verschillen van opvatting over wat zelfstandig leren is en zijn geen kant-en-klare oplossingen beschikbaar. Het gevaar bestaat dat een docent of sectie op een manier aan het werk gaat die haaks staat op wat een andere docent of sectie doet. Bijvoorbeeld: bij een docent die de nadruk legt op zelfstandig *werken*, mag je meteen in het uitkomstenboek kijken als je niet uit een opgave komt. Maar een docent die zelfstandig *leren* wil, en samenwerken een belangrijk element daarvan vindt, wil dat een leerling eerst in de groep overlegt. In het uitwerkingenboek kijken mag dan pas als de groep er ook gezamenlijk niet uitkomt. In zo'n geval ervaren leerlingen geen samenhang in het zelfstandig leren tussen verschillende vakken. Het ontwikkelen van zelfstandig leren wordt niet bevorderd: de docenten profiteren niet van elkaars inspanningen. Door een gezamenlijke didactiek voor de β -vakken te ontwikkelen willen we dit probleem ondervangen en daar slagen we voor ons gevoel al redelijk in.

Tenslotte, *samenwerking inspireert* en motiveert ook onszelf. Het is prettig te merken dat je er niet alleen voor staat, dat je ook de specifieke β -problemen met elkaar kunt bespreken en samen tot oplossingen kunt komen. Die inspiratie heb je erg nodig in deze hecatische periode van de invoering van de Tweede Fase! Het samenwerken blijkt al snel in de praktijk vruchten af te werpen. Als je een les voorbereidt, realiseer je je meer dan vroeger dat je ervan op de hoogte moet zijn hoe ze bij een ander vak vaardigheden die je wilt gebruiken geoefend hebben. Dat geldt ook voor zaken die in de basisvorming behandeld zijn. Je praat veel meer met elkaar over de inhoud van de vakken en tot je verrassing merk je dat leerlingen in jouw les dingen gaan gebruiken die ze elders hebben geleerd.

Verhoudingstabellen

In het BPS project is, als voorbeeld van inhoudelijke samenwerking en afstemming, een uitgebreid rekenmodel voor verhoudingen ontwikkeld in samenspraak met de BPS-docenten van de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde van de projectscholen de Breul en Brokdele. We lichten onze verhoudingstabel toe aan de hand van de uitwerking in stappen van de volgende eenvoudige opgave:

Een marathonloper legt 9 km in een half uur af. Hoe groot is zijn snelheid in m/s?

De eerste stap bestaat uit het maken van een basistabel voor het verhoudingsprobleem. Daartoe is het natuurlijk nodig dat leerlingen een samengestelde grootheid (hier: snelheid) kunnen interpreteren als een verhouding. Dit is een voorwaarde voor het kunnen werken met het gepresenteerde model, maar natuurlijk ook een voorwaarde voor het kunnen oplossen van het gestelde probleem.

Die basistabel is de verhoudingstabel uit de onderbouw wiskunde, bestaande uit de twee rijen met opschrift in de gegeven eenheden, zodat de gegeven verhoudingsgetallen direct kunnen worden ingevuld. Aan de oorspronkelijke tabel is een cel toegevoegd met de natuurwetenschappelijke interpretatie van het verhoudingsgetal in de context van het probleem: de samengestelde grootheid (hier: snelheid) – zie figuur 1.

In deze tabel ontbreken de eenheden die voor *het gevraagde*, de snelheid in m/s, nodig zijn. Om die te kunnen invullen is een volgende stap nodig: het uitbreiden van de tabel met twee extra rijen met de eenheden waarin het antwoord moet worden gegeven (namelijk meter en seconde) – zie figuur 2. Tevens kan alvast de 1, waar naar toe wordt gewerkt, in de onderste rij worden gezet. Het is mogelijk om ter wille van het rekengemak meer rijen met tussenliggende eenheden toe te voegen. Hier zou dat bijvoorbeeld een rij met tijd in minuten kunnen zijn. Om de extra rijen toe te kunnen voegen moet de leerling in staat

zijn vast te stellen dat de gevraagde snelheid in m/s geïnterpreteerd moet worden als het aantal meter dat in 1 seconde wordt afgelegd. Als de leerling deze 'vertaling' niet kan maken, is het probleem voor hem/haar, met en zonder tabel, onoplosbaar.

De dikke lijn in de tabel scheidt de gegevens over afstand van die over tijd. Tussen elke twee rijen in de tabel bestaat een vaste verhouding. In het dubbelomrande deel wordt met onbenoemde getallen gerekend. De grootheden en eenheden, nodig voor de (natuurwetenschappelijke) interpretatie, staan buiten dat kader.

In de volgende tabel zijn een aantal oplossingsstappen gezet, die een voorbeeld geven van wat een mogelijke oplossingswijze is – zie figuur 3.

De 9 km wordt meteen omgezet in 9000 meter en dat wordt er in de eerste kolom bij gezet. Tegelijk wordt er naar hele uren gerekend (dus de eerste kolom 'maal twee', en de resultaten invullen in tweede kolom).

De volgende stap kan nu zijn om 3600 bij tijd in seconde in te vullen. De manier van noteren toont deels de chronologie van het invullen, namelijk in de opvolging van de kolommen. Uitzondering daarop vormt echter het invullen van 9000 meter en 3600 seconde, dus het omrekenen van de eenheden. Dat gebeurt beide keren in de al deels gevulde tweede kolom. Dit is gedaan om duidelijk te maken dat de overgang van bijvoorbeeld 9 km naar 9000 m niet via

een horizontale stap (dat is een bewerking als vermenigvuldigen, delen of kolomsgewijs optellen of aftrekken) in de verhoudingstabel kan gebeuren. Die omrekening gebeurt verticaal via de vaste verhouding die bestaat tussen meter en kilometer.

Nu kan er in een aantal stappen verder gerekend worden. Dit kan met alleen de bovenste en onderste rij. Daarin staan immers de gevraagde meter en seconde.

Natuurlijk kan een ervaren leerling met minder stappen toe dan hierboven getoond worden. Het is echter belangrijk deze verkorting niet af te dwingen.

De laatste stap, het bepalen van het antwoord op de gestelde vraag, is eigenlijk een interpretatiestap. Het resultaat: een afstand van 5 meter bij een tijd van 1 seconde moet geschreven worden als: 'de snelheid is 5 m/s'. Deze interpretatie is echter, zoals eerder opgemerkt, niet pas hier nodig maar al bij het aanvullen van de tabel met extra rijen. Hoewel die interpretatie in feite in de structureringsfase en buiten de tabel plaatsvindt, kan de tabel (met daarin de gegevens uit de opgave) hierbij wel steun bieden.

In onze discussies met docenten is het nuttig gebleken dat de wiskundeleraars hun collega's van de natuurwetenschappelijke vakken (onder- en bovenbouw) informeren over de verhoudingstabel zoals die bij wiskunde wordt gebruikt. Dit versterkte het streven naar samenwerking in een profielteam.

Snelheid	afstand (km)	9				
	tijd (uur)	0,5				

Fig. 1

snelheid	afstand (meter)					
	afstand (km)	9				
	tijd (uur)	0,5				
	tijd (seconde)					1

Fig. 2

Snelheid	afstand (m)	9000	18000	180	30	5
	afstand (km)	9	18			
	tijd (uur)	0,5	1			
	tijd (s)		3600	36	6	1

Fig. 3

Een leermethode waardoor meisjes natuurkunde leuker vinden. En jongens ook

Werkgroep 31

E. Boltjes



Inleiding

Bij de opleiding tot software engineer wordt het vak informatieanalyse gegeven. Onderzocht wordt of deze methode geschikt is als leermethode bij de verschillende vakken op school. De methode gaat uit van het leren aan de hand van voorbeelden. Verwacht wordt dat meisjes met andere voorbeelden leren dan jongens.

Tijdens de werkgroep werd de informatieanalyse-methode besproken, gevolgd door de resultaten van een pilot-studie om aan te tonen dat deze methode een leermethode is. Verder werden voorbeelden gegeven waaruit blijkt dat meisjes aan de hand van andere voorbeelden natuurkunde leren dan jongens.

Informatieanalysemethode

Informatieanalyse is een methode om de grote lijnen uit informatie te halen. De methode is te gebruiken voor het analyseren van iedere vorm van informatie. De verwachting is, dat een methode die computers kunstmatig intelligent maakt, te gebruiken is om je eigen intelligentie beter te kunnen benutten.

Aan de hand van de uitleg van een docente tijdens de eerste les Ikebana (Japans bloemschikken) werd de methode voorgedaan. Eerst door het analyseren van de uitgesproken tekst van de les door de Ikebana-docente. Als tweede voorbeeld werd de door een wiskundige gemaakte samenvatting van die les geanalyseerd.

De methode bestaat uit de volgende stappen:

- Verzamel minstens twee concrete relevante multimediale voorbeelden van hetgeen men leren wil. Een van de uitgangspunten van de methode is dat men leert aan de hand van voorbeelden.
- Verwoord de verzamelde voorbeelden. Een ander uitgangspunt van de methode is dat alles is te verwoorden in taal die we allemaal spreken.

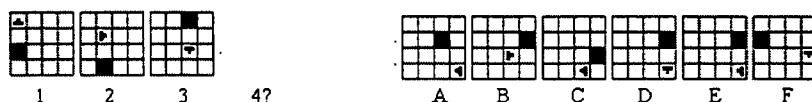
- Deel de verwoording op in elementaire zinnen: de kleinst mogelijke bouwstenen van de informatie.
 - Geef met behulp van de elementaire zinnen de structuur. Benoem alle gebruikte zinnen, de uitleg van de begrippen en de namen die daarbij horen.
 - De structuur wordt weergegeven in een diagram, waaruit de grote lijn en de samenhang blijkt van de te leren informatie.
 - Aan het diagram worden de voorbeelden toegevoegd, want een voorstelling maken en onthouden doet men aan de hand van voorbeelden.
 - Uitzonderingen en verschillen worden ontdekt en weergegeven in het diagram door discussie met medeleerlingen en/of docent door het diagram uit te breiden met beperkingsregels van wat wel en niet mag. Door deze verduidelijkingsdialoog begint de verwerking van de leerstof.
 - Evaluatie vindt plaats met behulp van de zinnen uit het diagram door andere voorbeelden te zoeken, bijvoorbeeld op het internet.
- Uit literatuuronderzoek is gebleken dat Informatieanalyse een taakgerichte multi-mediaal uitbreidbare, universele, en door de verduidelijkingsdialoog sociale leermethode is die, uitgaande van voorbeelden, met toepassing van subsumption begrippen en feiten ordent, gebruik makend van iemands hele kennis- en ervaringsveld.

Leermethode

Een pilot-studie werd uitgevoerd onder de eerstejaars studenten informatica op een HBO-opleiding om te onderzoeken of deze methode als leermethode kan worden gebruikt. En of de studenten inderdaad beter gebruik maakten van hun eigen intelligentie.

CASE "Analyse maakt intelligent"

Gegeven: de figuren 1 t/m 3. Slechts één van de figuren A t/m F past als figuur 4.



Van de 89 studenten hadden 72 al bij het begin van het tentamen de goede oplossing. Slechts 2 studenten bleven na analyse bij een fout antwoord. En 7 studenten switchten van fout naar goed antwoord tijdens het gebruik van de methode. De opmerkingen van de studenten daarbij waren:

- Niet moeilijk, alleen D was een beetje een instinker en ik ben er ingestonken.
- Na analyseren waren er meer redenen voor E.
- Toen ik fig. 1 t/m 3 had verwoord zag ik vrij snel dat ik het goede antwoord had gegokt.
- Door structuur in de figuren aan te brengen kom je zomaar tot de goede oplossing.
- NIAM heeft me niet geholpen bij het oplossen van de test. Waarschijnlijk komt dat omdat dit een te simpel voorbeeld is en zal NIAM met ingewikkelder problemen wel helpen.
- Dat je met het analyseren van een vraagstuk meer tijd kwijt bent, maar wel meer tot inzicht komt. Eventuele fouten op een antwoord zijn dan te herstellen (bij gebruik maken van een diagram).

Uit de opmerkingen van de studenten valt op te maken dat bij een moeilijker opgave de methode inderdaad als leermethode gebruikt zou kunnen worden. Hetgeen verder onderzocht gaat worden.

Lerende meisjes

Het uitgangspunt van de informatieanalyse methode is dat je de grote lijnen vindt aan de hand van minstens twee concrete relevante voorbeelden. Bij het mannelijke vak natuurkunde worden vaak voorbeelden gegeven die meisjes minder aanspreken. Meisjes zullen aan de hand van andere voorbeelden leren dan jongens. Bij gebruik van deze leermethode kunnen meisjes met andere voorbeelden de lesstof beter begrijpen en hun gevoel laten meespreken. Dan gaan de abstracte formules meer voor hen leven. Ook worden ze er toe aangezet niet een formule van wat letters uit het hoofd te leren om zich zeker te voelen, maar te vertrouwen op het onzekere gevoel dat ze lang niet alle mogelijke voorbeelden kunnen uitbeelden en toch de formule doorzien.

Tijdens de werkgroep werden dezelfde vragen gesteld als aan een groep studenten van de intensieve cursus natuurkunde van het HBO-onderwijs. De eer-

ste vraag ging over schatten en de 'fout' daarbij, de tweede vraag ging over het geven van voorbeelden bij de leerstof.

Zelfvertrouwen

Er werd gevraagd om de eigen lengte te schatten en de lengte van de docent/spreekster.

De fout in de eigen lengte was bij de meisjes gemiddeld 3,5 cm. Bij de jongens is deze fout in hun eigen lengte een stuk lager: 2,7 cm. Jongens zijn een stuk zekerder over de waarde van hun eigen lengte.

Bij de schatting van de lengte van de docente bleken de jongens een grotere 'fout' te nemen dan in de schatting van hun eigen lengte. De meisjes durfden dat niet, bij hen was de 'fout' in de lengte van de docente gelijk aan de 'fout' in hun eigen lengte. Uit de gegeven antwoorden bleek dat slechts 25% van de meisjes en 50% van de jongens 'de fout' als onzekerheid ervaart. De lengte van de docente lag bij de jongens bij allen binnen de foutengrens, bij de meisjes niet. De zekerheid in onzekerheid bij de jongens was dus bij allen correct, bij de meisjes niet.

Leren aan de hand van voorbeelden

De analyse methode gaat uit van leren aan de hand van voorbeelden. De voorbeelden kunnen bij de methode individueel worden gekozen en bij de verduidelijkingsdialoog worden besproken op relevantie. De student kan zijn eigen voorbeelden toevoegen aan het diagram (de grote lijnen), zodat hij zich individueel de juiste ankerpunten/associaties kan voorstellen om zich de leerstof eigen te maken.

Bij de vraag naar voorbeelden over 'potentiële en kinetische energie' werd door de jongens bij 66% een voorbeeld gegeven met motoren of kogels. De meisjes noemden geen van allen deze voorbeelden. De opgave over een leeuwerik is vooral bij de meisjes goed blijven hangen: 66% van de meisjes noemden als voorbeeld het vliegen van een vogel. Geen van de jongens gaf dit voorbeeld.

Bij de vraag over het geven van voorbeelden over 'spanning' en 'weerstand' bleek dat bij de gegeven antwoorden op verschrikkelijke wijze naar voren kwam dat, hoewel in de vraagstelling de studenten toch worden aangemoedigd, de meisjes de gegeven voorbeelden alleen in de natuurkunde zochten en niet

daarbuiten. De jongens noemden nog associaties als sporten, bankrekeningen, wiskundig inzicht, politieke discussies en ziek worden.

Tijdens de werkgroep werd nog gevraagd om, aan de hand van een aantal plaatjes van voorbeelden, aan te geven waarmee men de wet van Ohm associeerde.

Analyse maakt meisjes intelligenter.... en jongens ook

De voorbeelden in de huidige lesstof natuurkunde spreken meisjes minder aan. En jongens hebben meer zelfvertrouwen om analogieën buiten de natuurkunde

te zoeken om de lesstof te begrijpen. Vandaar dat op dit moment de natuurkunde jongens meer aanspreekt dan meisjes. De te verwachten conclusie van het onderzoek is dat het positieve effect van leren met een informatieanalysemethode, aan de hand van zelf gekozen voorbeelden, bij meisjes groter zal zijn dan bij jongens.

De methode maakt eventueel gebruik van een tekstverwerker met multimediale mogelijkheden voor het kunnen uitbeelden van voorbeelden met geluid, plaatjes en/of filmpjes die bijvoorbeeld op het internet zijn gevonden.



Leerlijn technisch ontwerpen

Praktische opdrachten en profielwerkstuk met een technisch accent?

Werkgroep 35

I. Frederik & H. Huijs

TU Delft
SLO



Onderzoeken binnen de natuurwetenschappen is van oudsher zeer belangrijk en blijft dat ook in het nieuwe tweede fase programma voor havo en vwo. **Ontwerpen** is echter nieuw! Nieuw als groep eindtermen in domein A van alle natuurwetenschappelijke vakken en ANW. Nieuw in de aandacht die het in de examenprogramma's havo en vwo heeft gekregen en soms ook nieuw als centrale activiteit binnen (universitaire) vervolgopleidingen! In deze werkgroep worden argumenten voor technisch ontwerpen op een rij gezet. Verder wordt leerlingenwerk getoond dat als voorbeeld gezien kan worden voor de te ontwikkelen leerlijn technisch ontwerpen.

Met technisch ontwerpen leer je:

- Divergent denken
- Hoofd- en bijzaken onderscheiden
- Omgaan met tegenstellingen
- Praktisch technisch denken
- Samenwerken
- Risico nemen
- Omgaan met tegenslagen
- Integratief denken

Ontwerpen moet je net als onderzoeken leren. Het is een gecompliceerde vaardigheid die bepaald wordt door de kennis waarover de ontwerper beschikt. In de voorgestelde leerlijn wordt daarin groei aangebracht door vanaf de basisvorming bescheiden activiteiten te integreren in het reguliere (natuurkunde) onderwijs. Dit kan bijvoorbeeld door:

- *Productonderzoek door demontage*: analyseren van de samenhang van de verschillende onderdelen van een apparaat, functies van deelsystemen. Zo kan 'slopen', beschrijven en benoemen het didactische begin van technisch ontwerpen zijn

- *Oefenen van deelvaardigheden* zoals:
 - Op basis van een probleemstelling ontleend aan een krantenartikel analyseren en beschrijven van een ontwerpprobleem.

Intermediair 9 oktober 1997
33^e jaargang nummer 41

Dit is de 57^e aflevering van een tweewekelijkse serie over technologische vondsten

'Met de ophef rond het gat in de ozonlaag ontstond het idee bij ons', vertelt Ton van 't Hoenderdaal. 'Als mensen zich willen beschermen tegen ultraviolet licht, moeten ze kunnen meten hoe groot de dosis is die ze krijgen.'

Aan deze probleemsituatie worden vragen voor de leerling gekoppeld, waarin hij het technische probleem moet herkennen en specificeren, en het moet herleiden tot een ontwerpopdracht.

- Door het bestuderen van een apparaat of hulpmiddel in de praktijk voorstellen doen voor het verbeteren of optimaliseren van dat apparaat.

- Het gehele ontwerpproces doorlopen binnen een beperkte context.

Het SLO leerplandocument 'Ontwerpvaardigheden' geeft docenten steun bij het ontwikkelen van ontwerpvaardigheden. Korte opdrachten, die in het netwerk TUD-VWO¹ ontwikkeld zijn, worden besproken. Enkele profielwerkstukken – nu nog gemaakt in het kader van het praktisch schoolonderzoek behorende bij het WEN-programma – worden getoond². In deze voorbeelden doorlopen leerlingen een ontwerpproces inclusief het maken van een werkend prototype. Bij de begeleiding heeft Huub Huijs

(SLO) de docent terzijde gestaan met als nevendoeel te komen tot een begeleiders-handleiding voor technisch ontwerpen.

Voor de voorgestelde aanleermodules is nog slechts in bescheiden mate lesmateriaal aanwezig. Techniek 15⁺ heeft het initiatief genomen om samen met scholen, technische universiteiten en hbo's en het bedrijfsleven te komen tot voorbeelden van ontwerp-opdrachten en die te testen.

De stichting AXIS ondersteunt deze aanvraag van Techniek 15⁺. Men hoopt hiermee de technische belangstelling van leerlingen aan te wakkeren, opdat zij

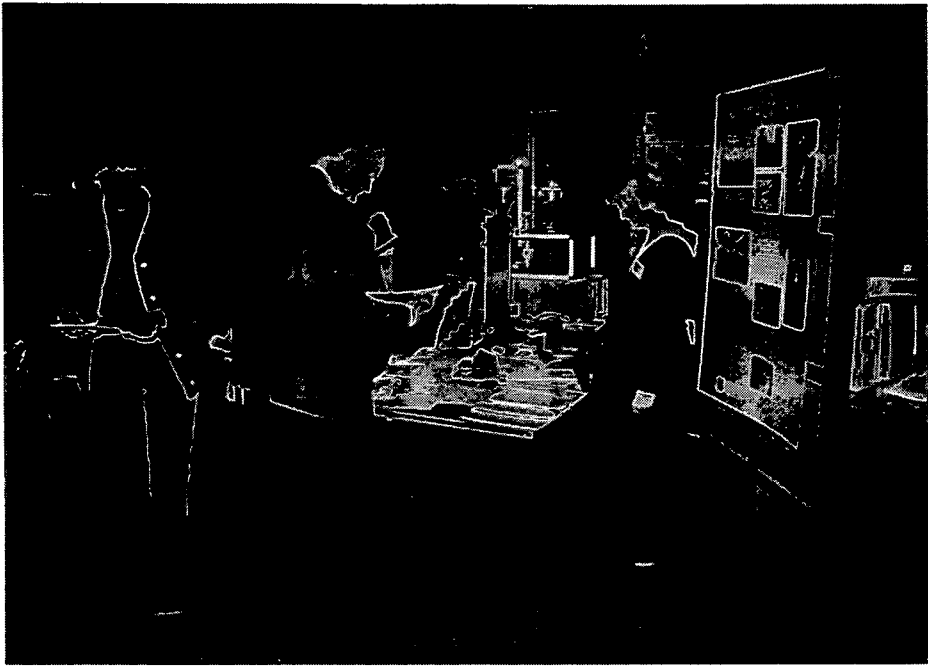
een verantwoorde keuze zullen maken voor een technisch beroep of een beta-technische vervolgopleiding.

Noten

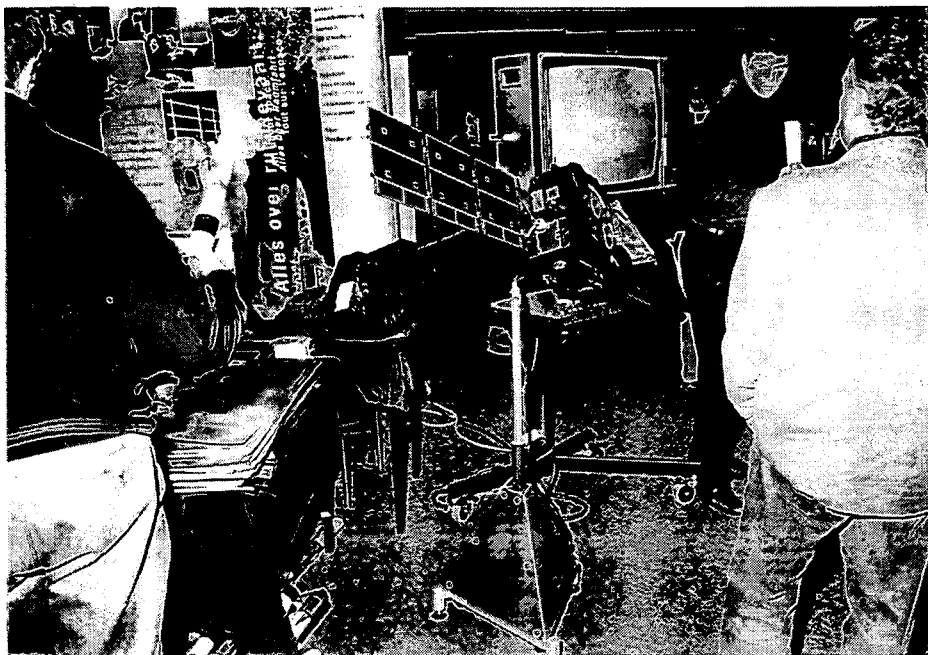
¹ In het netwerk TUD-VWO is tijdens het studiejaar 98-99 lesmateriaal ontwikkeld, verzameld en uitgetest dat bruikbaar is om leerlingen vanaf de basisvorming te oefenen in technische ontwerpvaardigheden. Zie ook: <http://www.tn.tudelft.nl/didactiek.htm>

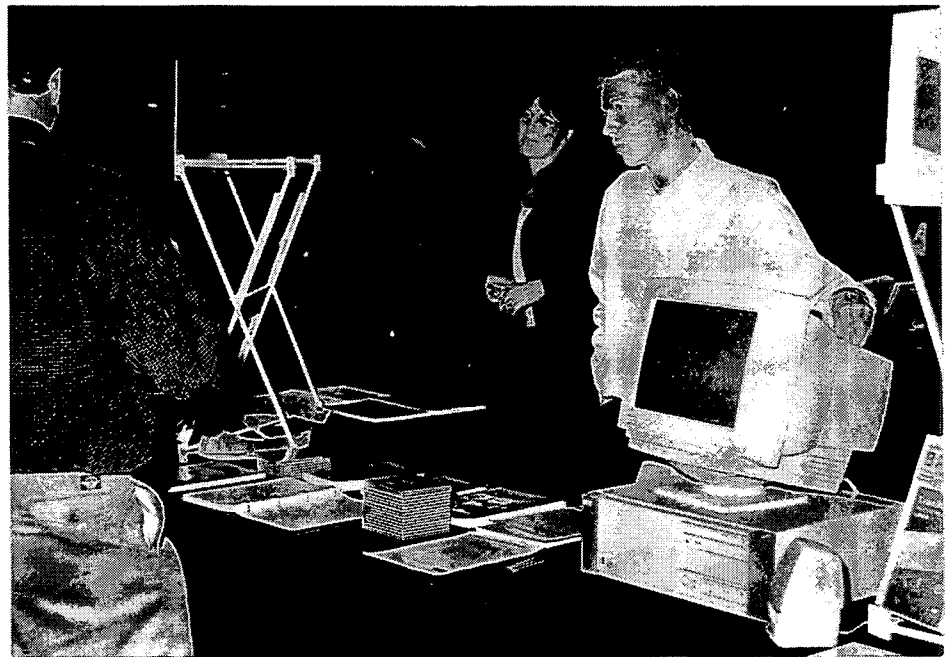
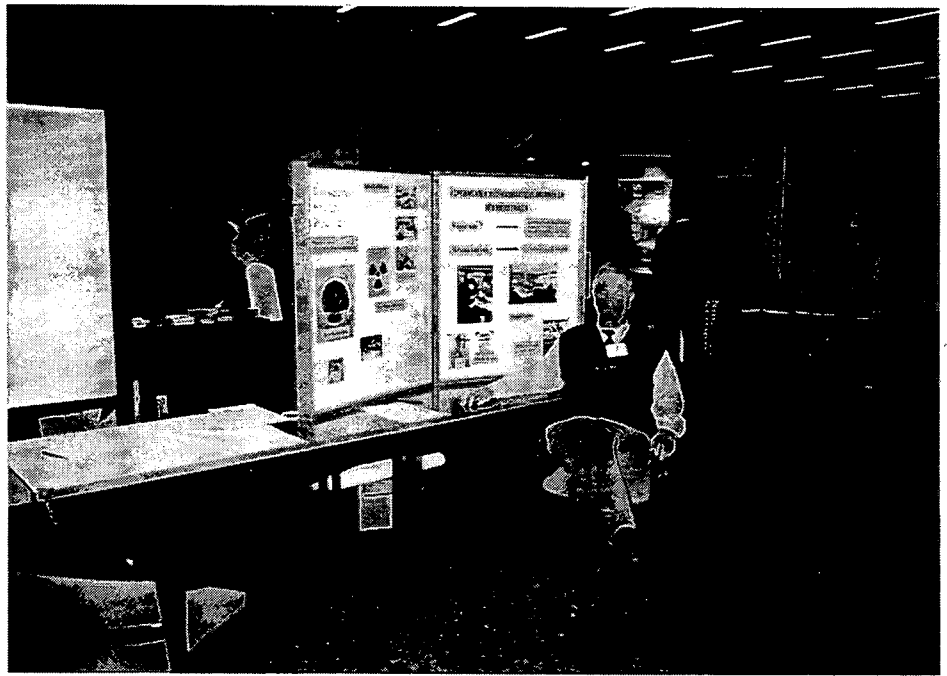
² Een beschrijving van de gebruikte leerlingenopdrachten is te zien op: <http://www.slo.nl>



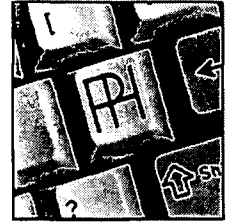


Markt





PHASER automatisering



Staat voor u klaar met vier takken van dienstverlening op automatiseringsgebied:

PHASER hardware

PHASER is een hardwareleverancier die in staat is hardware componenten in een onderwijskundige toepassing te plaatsen. PHASER is onder andere gespecialiseerd in oplossingen op het gebied van koppelen van locaties, het veilig en snel delen van internet verbindingen en het inrichten van mediatheken.

PHASER software

De partner voor uw ondersteuning op het gebied van systeemintegratie. Wij installeren software van derden en leveren educatieve softwareproducten, die als krachtige leeromgeving op scholen geïmplementeerd kunnen worden.

PHASER cursus & advies

Niet alleen onze eigen cursussen op het gebied van systeembeheer kunnen wij u bieden, maar ook cursussen van het NDO (o.a. ICT-coördinator), het FIAC (sociale aspect rond automatisering en beheer) en het totale aanbod van AZLAN, de grootste cursusaanbieder van Europa (met korting). PHASER geeft advies bij het opzetten van een beleidsplan voor ICT. Ook op technisch gebied bij het realiseren van wensen en eisen in een steeds complexer geheel van veranderende mogelijkheden op het gebied van automatisering ondersteunen wij u graag.

PHASER detachering & service

De ondersteuning die u zoekt voor het beheren van uw netwerk, door middel van bij u gedetacheerde netwerkspecialisten. Daarnaast PC-specialisten en natuurlijk onze helpdesk, waar u met alle vragen terecht kunt.

PHASER automatisering

Fransebaan 592a 5627 JM Eindhoven Tel.(040) 2426537 Fax (040) 2423077 Internet: <http://www.phaser.nl>

Coach 5

Simpel te bedienen - uitdagend in gebruik

Leerlingen:

Meten en sturen/regelen, meten aan videobeelden, verwerken en analyseren van data, modelleren en toetsen van hypothesen.

Docenten:

Een complete auteursomgeving voor het maken van computerwerkbladen; beheer van projecten, activiteiten en (netwerk)instellingen per gebruiker.

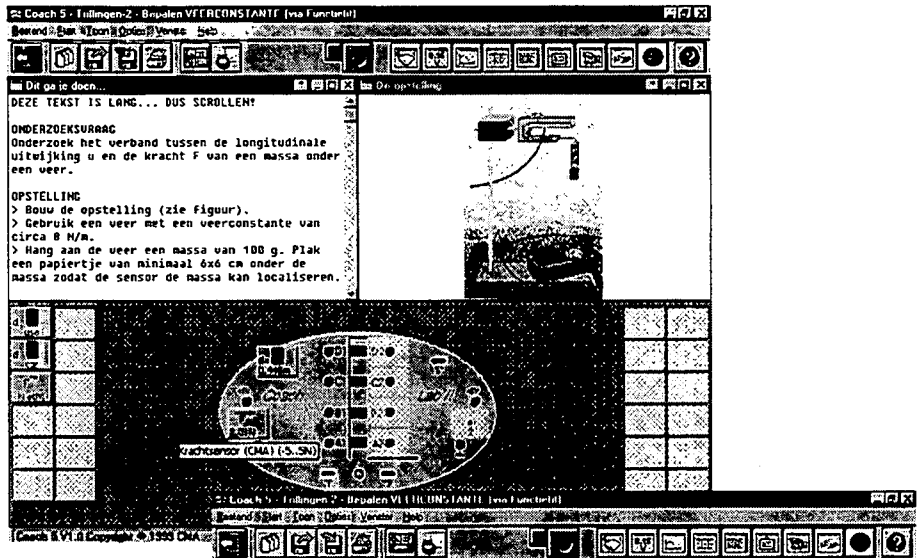
Knoppenbalk voor alle functies.

Vensters (max. 4 gelijktijdig) naar keuze te vullen met uitleg, opdracht, illustratie, animatie, weergave als meter, waarde, grafiek of tabel.

Hardware: u heeft de keuze uit een volledige bibliotheek met sensoren, actuatoren en interfaces.

Sensoren staan klaar inclusief ijking en standaarddiagraminstellingen.

Meetwaarden: sleep met de muis een sensoricoon naar het paneel en de gemeten waarde is al direct zichtbaar.

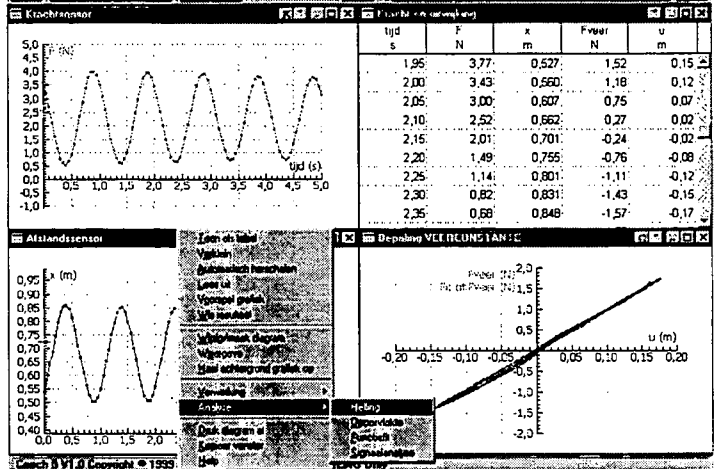


Weergave: grootheden tegen de tijd en tegen elkaar, automatische schaling; handinvoer mogelijk.

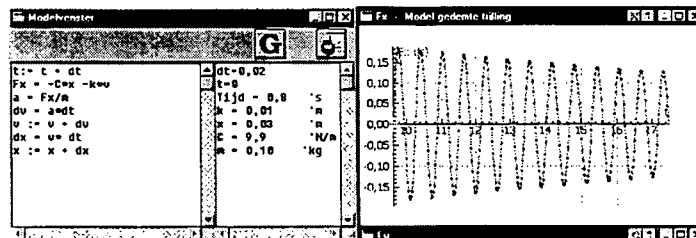
Rekenen: berekeningen met meetwaarden en alle standaardfuncties.

Verwerking: filteren, benaderen, differentiëren, integreren.

Analyse: helling, oppervlakte, functiefit, signaalanalyse (fourieranalyse en lineaire predictie).



Modelleren en toetsen van hypothesen.



Nascholing bij u op school

Bijzonder succesvol blijkt nascholing voor de gezamenlijke secties. Aanschaf van materialen is daarbij mogelijk. Raadpleeg voor meer product-informatie, ondersteuning en voorbeeldlesmaterialen onze website.



Stichting CMA
Kruislaan 404
1098SM Amsterdam
E-mail cma@beta.uva.nl
<http://www.cma.science.uva.nl>



Voor nascholing:
AMSTEL Instituut, UVA
Telefoon 020 5255958
<http://www.science.uva.nl/research/amstel>



Eurofysica

Leermiddelen voor natuurkunde,
scheikunde en biologie.

Ook het gehele PHYWE
assortiment (natuurkunde,
scheikunde en biologie)
behoort tot het leverings-
programma van Eurofysica.

Bel ons voor de nieuwste
Phywe catalogus voor
scheikunde, telefoon

073 - 623 26 22

PHYWE



Postbus 3435. 5203 DK 's-Hertogenbosch, Fax 073 - 621 97 21

CASIO meetapparatuur



Data logger EA-100 met de Casio CFX-9850

Uw partner voor de 2e fase van het Voortgezet Onderwijs.

Nu verkrijgbaar met Nederlandstalig practicum "door docenten voor docenten" ontwikkeld door de lerarenopleiding Natuur- en Scheikunde van de Hogeschool van Utrecht.

Docent en leerling kunnen direct aan de slag, het Practicum geeft een duidelijk inzicht tot het zelfstandig uitvoeren van de meetopdrachten.

Met de Casio Data Logger en de Casio 9850 opent zich een nieuwe wereld van mogelijkheden. Hiervoor kan bij de Hogeschool van Utrecht een nascholingscursus worden gevolgd.

De Casio Data Logger wordt standaard geleverd met: 3 sensoren voor respectievelijk temperatuur-, licht- en spanningmetingen.

Functies: 6 kanalen, - 3 analoge ingangen,
- 1 ultrasoon ingang,
- 1 digitale ingang,
- 1 digitale uitgang.

Opslag van maximaal 512 meetresultaten per kanaal. Mogelijkheid tot het gelijktijdig opnemen van meerdere data.

EA-100 f 605,-

Ook toepasbaar andere sensoren eventueel in combinatie met een DIN-adapter.

Geluid/Afstand/Versnelling/pH/Kracht/Barometerdruk/CO₂. *

* Verkrijgbaar bij o.a.
fa. Vos, Zaltbommel en
fa. Eurofysica, Den Bosch

De Data Logger in de praktijk:

Hogeschool van Utrecht

- Docenten-instructiemap met 20 uitgewerkte praktijkoefeningen, welke door de docent eenvoudig aan te passen zijn voor specifieke opdrachten.
- Bijbehorende software op diskette.
- CASIO software voor het omzetten van IP-coach in Casio databestand, v.v.

De **Data Logger** in de praktijk
f 250,-

PC-Link FA-122

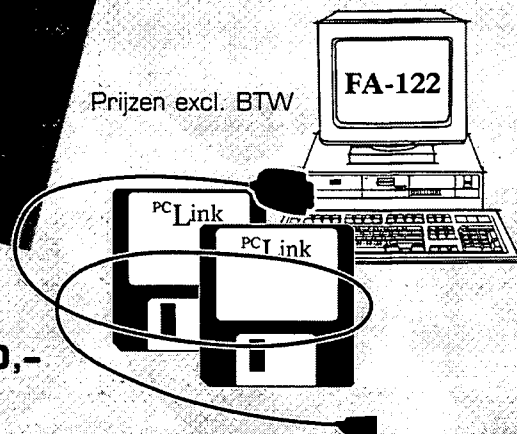
Link interface voor datacommunicatie met PC. Gemakkelijk aan te sluiten, met kabel en softwarepakket met handleiding.

FA-122 f 190,-



CASIO

Prijzen excl. BTW



Importeur: Sanford rotring Benelux b.v.

Postbus 50076 - 1305 AB Almere - Tel. (036) 5471 777 - Fax (036) 5471 700

De heldere structuur en de gedegen theoretische onderbouwing vormen de basis voor het succes van de Tweede Fase-methode...

Systematische Natuurkunde

Naast de bekende (kern)boeken, biedt de methode nu ook leerlingenhandleidingen, uitwerkingenboeken, een docentenhandleiding en een uitstekend simulatieprogramma.



De sterke punten van Systematische Natuurkunde

- heldere structuur en gedegen theoretische onderbouwing
- leerlingenhandleidingen met o.a. opgavenhulp, practica en zelftoetsen
- Interactieve Simulaties bij Systematische Natuurkunde: 30 kant en klare simulaties met werkbladen (Interactive Physics)
- uitgebreide en gratis docentenhandleiding
- docent- en leerlingondersteuning op website
- uitwerkingenboeken met heldere uitleg van alle opgaven

Voor meer informatie kunt u bellen met onze afdeling Voorlichting, telefoon 035 - 548 24 70 of kunt u onze website www.nijghversluys.nl raadplegen.

Uitgeverij Nijgh Versluys
postbus 225
3740 AE BAARN

Nijgh Versluys

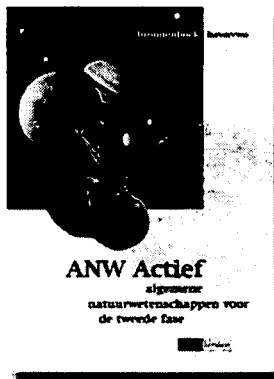
ANW Actief

ANW Actief is een aantrekkelijke en complete methode voor een (bewezen) onmisbaar vak. Met ANW Actief kunnen leerlingen in de Tweede Fase zelfstandig de stof bestuderen, opdrachten maken, hun werkzaamheden plannen en hun vorderingen bijhouden. Er is ondersteuning van divers ict-materiaal waaronder het multimediapakket Leonardo de Uitvinder. Bovendien biedt de website van NijghVersluys zowel de docent als de leerling hyperlinks, actuele informatie en Internetopdrachten.

'Dit soort boeken kan helpen de kloof tussen de alfa- en de bèta-wereld (...) te overbruggen'

(Simon Rosendaal in Elsevier over ANW Actief)

Serie-overzicht ANW Actief, Tweede Fase Havo/Vwo



Docentenhandleiding
ISBN 90 425 08 884
f 87,-

Leonardo de Uitvinder:
- Studiehuispakket
cd-roms met 25
werkboeken
ISBN 90 425 10 331
f 310,-

- Leerlingenpakket
1 cd-rom met 1 werkboek
ISBN 90 425 10 323
f 30,50

Bronnenboek
ISBN 90 429 28 338
f 74,-

Examendossiermap
ISBN 90 425 08 884
f 27,50,-

- Docentenpakket
1 cd-rom met 1 werkboek +
docentenhandleiding
ISBN 90 425 10 34X
f 62,-

De sterke punten op een rijtje

- bronnenboek voor Havo en Vwo-leerlingen
- veel keuzevrijheid: o.a. een mogelijkheid tot kiezen van eigen leerroute
- dossier ANW is een praktisch instrument bij het samenstellen van het examendossier
- een echte Tweede Fase-methode
- aantrekkelijk multimedia-pakket Leonardo
- uitgebreide en gratis docentenondersteuning

Voor meer informatie kunt u bellen met onze afdeling Voorlichting, telefoon 035 - 548 24 70 of kunt u onze website www.nijghversluys.nl raadplegen.

Uitgeverij Nijgh Versluys
postbus 225
3740 AE BAARN

Nijgh Versluys

THUIS IN HET ONDERWIJS

Nova: klaar voor de basisvorming en het vmbo

Uitgeverij Malmberg heeft goed nieuws: niet alleen zijn de drie edities van *Nova* voor de basisvorming verschenen. Ook kunt u beschikken over de twee edities voor klas 3 havo/vwo. Bovendien verschijnt in februari 2000 voor de bovenbouw van het vmbo het eerste deel: *Nova 3 vmbo KGT (nask1)*.

Nova in het kort

- **Stapsgewijze aanpak van vaardigheden**
Nova traint algemene en praktische vaardigheden via een helder stappenplan en een overzichtelijke vaardighedenbijlage.
- **Praktische leerlingendisk**
De handboeken van iedere editie bevatten een leerlingendisk met o.a. diagnostische toetsen met feedback, tips bij opdrachten in het werkboek en een uitgebreide begrippenlijst.
- **Zelfstandig leren**
Zelfstandig werken ontwikkelt zich tot zelfstandig leren door o.a. een duidelijk onderscheid tussen basisstof en extra stof, een vaste indeling met kennisvragen, toepassingsvragen en (facultatieve) thuisopdrachten.
- **Maatwerk voor iedere leerling en schoolsituatie**
U kunt voor leerjaar 3 havo/vwo kiezen uit aparte edities voor natuurkunde en natuur-/scheikunde. Verder biedt *Nova* naast de basisroute volop keuzestof. Ten slotte hebt u aan het einde van ieder hoofdstuk de keuze uit vele practica.



Bel de afdeling Klantenservice VO voor meer informatie of een beoordelingsexemplaar, telefoon (073) 6 288 766.

MALMBERG UITGEVER
POSTBUS 308 5201 AH 'S-HERTOGENBOSCH
e-mail: voorlichting.vo@malmberg.nl

Speuren naar olie en gas,
alternatieve energiebronnen,
nieuwe recyclmethoden,
ondergrondse bouwtechnieken...

De wereld ontdekken, de aarde verkennen

Maak van jouw studie
een wereldreis.

Een Wereldstudie

voor een avontuurlijke toekomst

Technische
Aardwetenschappen
brengt de nieuwste
technieken en geologie
samen: jouw garantie
voor een avontuurlijke
toekomst!

*Technische
Aardwetenschappen,
dat kan alléén in Delft!*



Aanvraagbon

Ja, ik wil meer informatie over de
opleiding Technische Aardwetenschappen
in Delft.

Stuur mij

de brochure

de gratis cd-rom *Expeditie*

Achternaam

Voorletters

Roepnaam

Straat

Postcode en plaats

Geboortedatum

Telefoon

Naam en plaats school

TU Delft

Technische Universiteit Delft

Internet
www.ta.tudelft.nl/pr

E-mail
wereldstudie@ta.tudelft.nl

Je kunt de gegevens ook e-mailen:
wereldstudie@ta.tudelft.nl

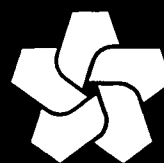
Stuur deze bon in een envelop
zonder postzegel naar
TU Delft, Subfaculteit TA
Antwoordnummer 10191
2600 VB Delft

De Nederlandse Aardolie
Maatschappij (NAM), is een
opsporings- en winnings-
bedrijf van aardolie en aardgas.
Haar activiteiten leveren een
belangrijke bijdrage aan de
energievoorziening van Nederland.



Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Postbus 28000, 9400 HH Assen

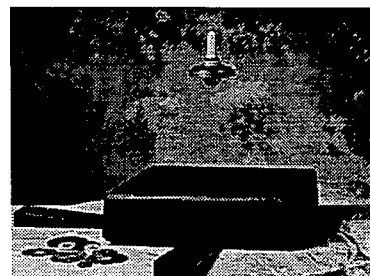


NAM

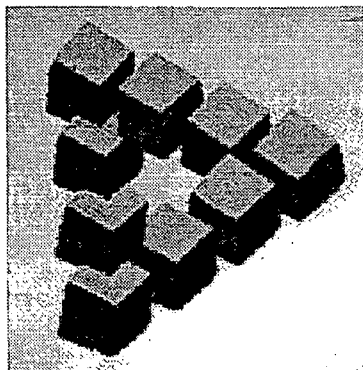
ARABESK

puzzles, games and objects
related to
physics, mathematics and logic

ARABESK verkoopt artikelen waarbij kunstenaars en ontwerpers zich hebben laten inspireren door natuurkunde, wiskunde en logica. De resultaten zijn zeer verrassende puzzels, spellen en objecten, soms ingewikkeld, soms eenvoudig, maar altijd intrigerend en altijd mooi in hun verschijningsvormen.

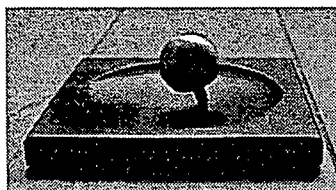


super levitron

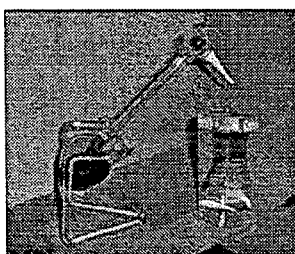


onmogelijke 3-D driehoek

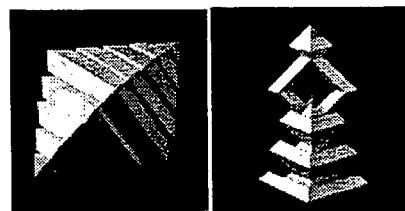
ARABESK wil de plek zijn waar iedereen voor puzzels, spellen en objecten in ons genre uit de hele wereld terecht kan, bekende en onbekende, oude en nieuwe. Wij hebben niet alles in voorraad, maar weten wel vaak de weg er naar toe. Daarnaast weten wij vaak het hoe, wat en waarom. U kunt dus altijd bij ons met vragen terecht als U naar iets bijzonders op zoek bent.



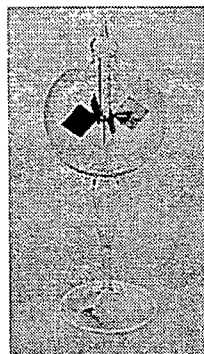
aluminium tippetop



glazen dippybird (Kny)

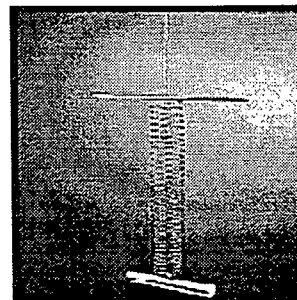


diamant (Naef)



lichtmolen

Jan L. Grashuis
Avenue Concordia 17 B
3062 LA Rotterdam
Nederland
Tel: +31.10.2140361
Fax: +31.10.2140390
Email: arabesk@arabesk.nl
Catalogus: www.arabesk.nl



dubbel-slinger (Valett)