

WOUDSCHOTEN

'93

NATUURKUNDE

uit de kunst

WIND

werkgroep
natuurkunde
didaktiek

**VERSLAG
WOUDSCHOTEN CONFERENTIE
1993**

WERKGROEP NATUURKUNDE-DIDACTIEK

**Ornsteinlaboratorium
Princetonplein 1
3584 CC Utrecht
Tel.: 030-531179**

Bestuur:	
Voorzitter:	H.M.C.Eijkelhof
Penningmeester:	J.Kortland
Leden:	M.Bollen
	F.Budding
	J.Hellemans
	J.W.Lackamp
	G.Munters
	T.Solomaniuck
	P.J.Wippoo

Verslag	
Redactie:	H.M.C.Eijkelhof, J.W.Lackamp, G.Munters
Typewerk/layout:	J.Andriese
Omslag:	O.M.I.-Utrecht
Foto's:	G.Veenstra, P.J.Wippoo

Voorwoord

Het was toch wel een beetje gewaagd, zo'n thema 'Natuurkunde uit de Kunst'! Al voor de conferentie kregen we heel wisselende reacties, variërend van "ik heb genoeg aan mijn hoofd om me met zo'n onderwerp te gaan bezig houden" tot "wat een schitterend idee". Velen hebben zich niet laten afschrikken door het thema en zijn toch gekomen (445 in getal, een nieuw record). Het programma was breed samengesteld, met relatief veel sprekers en werkgroepeliders van buiten het natuurkunde-onderwijs: beeldend kunstenaars, een vioolbouwer, een ontwerper van concertzalen, een musicoloog, een bruggebouwer, een lichtkunstenaar, een literair criticus, een dansdocent, een wetenschapshistoricus, e.d..

De reacties van de deelnemers na afloop was vrijwel unaniem positief. De enige klacht die we hoorden was dat de keuzelezingen en werkgroepen zo interessant waren dat de keuze wel erg moeilijk werd gemaakt. Sommigen wilden voor het volgend jaar dezelfde conferentie, zodat ze ook andere activiteiten konden meemaken. De plenaire sprekers moesten maar doorgaan waar ze gebleven waren..

Daar beginnen we natuurlijk niet aan: er moet afwisseling zijn in de thema's van de Woudschotenconferentie en voor dit jaar zal daarom een heel ander onderwerp centraal staan. Een troost is dat u in dit verslag veel kunt nalezen over wat u heeft moeten missen. Het verslag is weer een boeiend document geworden waar u hopelijk wat aan heeft bij de voorbereiding van uw onderwijs. Want natuurkunde, kunst en cultuur blijken vele raakvlakken te hebben die tot inspiratie kunnen dienen.

Aan het eind van de conferentie hebben we afscheid moeten nemen van Anne Holvast die 10 jaar lang op bekwame wijze de financiën van de Werkgroep heeft beheerd en verantwoordelijk was voor de logistiek van de conferentie. Het Bestuur van de Werkgroep is hem veel dank verschuldigd.

Onze dank gaat tevens uit naar het IVLOS (Universiteit Utrecht) en de Stichting Physica, die met hun financiële bijdragen de drempel voor deelname laag hielpen houden. Die drempel moet helaas wat hoger worden, omdat we nog maar in beperkte mate gebruik kunnen maken van de universitaire nascholingsgelden. Reserveert u dus alvast op uw school een deel van het nascholingsbudget. Graag zie ik u weer op de Woudschotenconferentie 1994.

Harrie Eijkelhof
voorzitter WND

Inhoud

Voorwoord
Inhoud
Programma

Lezingen

De "Mona Lisa" doorgelicht <i>M. van Woerkom</i>	1
Het Elektrisch Zwaai Orkest en de Krachtgever <i>P. Bosch & S. Simons</i>	7
Erasmusbrug, Symbiose van techniek en vormgeving <i>K. Noorlander</i>	13
Achter de frontpijpen van het orgel <i>J. Oomkes</i>	21
Lichtkunst/kunstlicht <i>P. Struycken</i>	27
Van eenvoud in de natuur tot unificatie in de natuurwetenschap <i>H.A.M. Snelders</i>	31
In het spoor van Aphrodite - herkomstbepaling van wit marmer gebruikt voor Griekse en Romeinse kunstwerken <i>L. Moens</i>	37
Goethe contra Newton - Een controverse over waarnemingen en werkelijkheid <i>R. van Renesse</i>	43
Muziek en natuurkunde - de aardse kanten van een hemelse kunst <i>C.A.G.M. Tempelaars</i>	49
'Langzaam ging de zon onder in het oosten' - natuurwetenschap en literatuur <i>J.A. Dautzenberg</i>	53
Artifauna <i>Th. Jansen</i>	61
De akoestiek en de architectuur van concertzalen <i>R.A. Metkemeijer</i>	65

Werkgroepen

1. Dans en Natuurkunde <i>L. Schuurmans</i>	77
2. Beeldige fysica <i>S. Daems</i>	79
4. De bredere cultuurcontext in de lessen fysica; voorbeelden en een discussie <i>G. Dejonghe</i>	81
5. Boven tonen in contexten <i>B. Vrolijk</i>	83
6. Lessen met licht en fotografie voor de onderbouw; m.n. het maken van fotogrammen <i>L. van Baar</i>	85
8. Klap-, flap- of klepzeiler <i>A. Roskam</i>	86
11. De basgitaar en de akoestische gitaar in de klas. Frequentieanalyse van de menselijke stem <i>P.P.M. Molenaar & A. Pollman</i>	88
12. Vioolbouw <i>M. Besseling</i>	90
13. "Meten aan spraak" <i>L.C.W. Pols & A. van Wieringen</i>	92
15. Natuurkunde Overal uit de kunst <i>P.G. Hogenbirk & K.W. Walstra</i>	94
17. Natuurwetenschap, kunst & cultuur <i>M. ten Oever & L. Knol</i>	96
20. BAVO-materiaal, K.U.-Nijmegen <i>P.v.d. Hurk & J. van Lieshout</i>	98
21. DBK-na. Klaar voor de basisvorming <i>J. Frankemölle & R. Koot</i>	99
24. De 'kunst' van het experimenteren met de computer <i>C.de Beurs & A.N.H. Ockhuijsen</i>	101
26. Elektronische bouwstenen samenvoegen tot een werkend systeem <i>R.J. van Os</i>	103
27. Practicum en onderzoek: in basisvorming en WEN <i>E.v.d.Berg & J. Buning</i>	104

28. Werken in natuurkundeonderwijs in ontwikkelings-landen	
<i>E. v.d.Berg, P. Dekkers & J. Ruijschoot</i>	109
29. Interactieve video in de natuurkundeles	
<i>T. Ellermeijer & W. van Elsacker</i>	116
30. Docenten Informatie Systeem (DIS)	
<i>H.A.J. Verstappen</i>	117
31. Toetsing in de basisvorming <i>H. Bruijnesteijn</i>	118
33. Drie basisvormingsmethoden Natuur- en Scheikunde: Direkt, Mix en Scan	
<i>H. v.d.Veen</i>	123
Lijst van deelnemers	125



PROGRAMMA

28e "WOUDSCHOTEN" CONFERENTIE

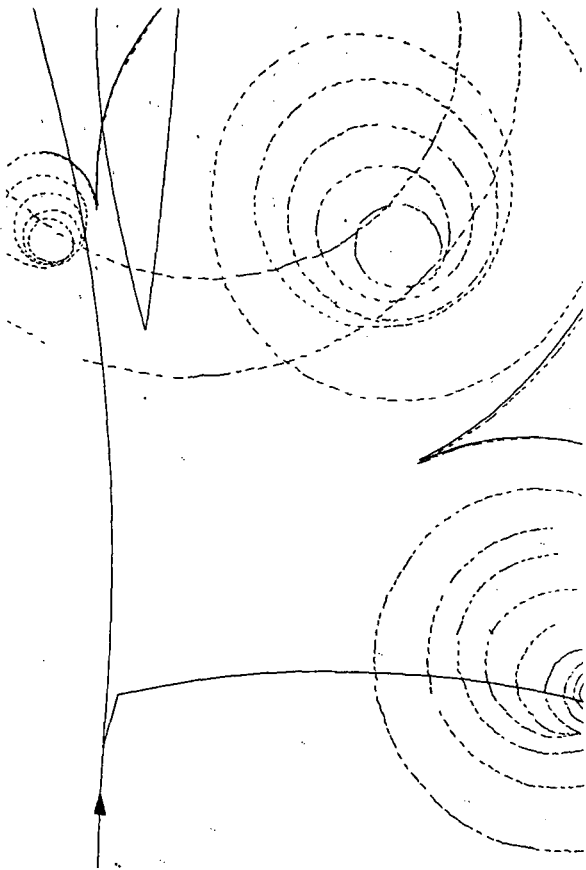
Vrijdag 10 december

- 13.30 - 14.40 uur** Ontvangst
- 14.40 - 14.50 uur** Opening van de conferentie door de
voorzitter van de Werkgroep
Natuurkunde-Didactiek,
Dr. H.M.C.Eijkelhof
- 14.50 - 15.00 uur** Informatie over de conferentie door
de conferentievoorzitter,
Rob Knoppert
- 15.00 - 15.50 uur** Lezing door **Brian Davies**: Physics
and Fine Art
- 15.50 - 16.10 uur** Lezing door **Maarten van**
Woerkom: De "Mona Lisa" doorge-
licht
- 16.10 - 16.40 uur** Thee
- 16.40 - 17.30 uur** Keuze uit drie lezingen:
- **Peter Bosch & Simone Simons**:
 Het Elektrisch Zwaai Orkest en
 de Krachtgever
- **Ir.K. Noorlander**: Erasmusbrug,
 Symbiose van Techniek en
 Vormgeving
- **Johan Oomkes**: Het orgel van
 binnen
- **Peter Struycken**: Lichtkunst/
 Kunstlicht
- 17.30 - 18.00 uur** Aperitief
- 18.00 - 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** Lezing door **Prof.dr.H.A.M. Snelders**: Van eenvoud in de natuur tot unificatie in de natuurwetenschap
- 9.55 - 10.45 uur** Keuze uit drie lezingen:
- **Prof.dr. L.Moens**: In het spoor van Aphrodite - herkomstbepaling van wit marmer gebruikt voor Griekse en Romeinse kunstwerken
 - **Ruud van Renesse**: Newton en Goethe - Fysica en Muze, een historische omzwerving door de kleurenleer
 - **Drs. C.A.G.M. Tempelaars**: Muziek en natuurkunde - de aardse kanten van een hemelse kunst
- 10.45 - 11.10 uur** Koffie
- 11.10 - 12.35 uur** Werkgroepen
- 12.40 - 13.40 uur** Lunch
- 13.45 - 14.35 uur** Keuze uit drie lezingen:
- **J.A. Dautzenberg**: 'Langzaam ging de zon onder in het oosten' - natuurwetenschap en literatuur
 - **R.A. Metkemeijer**: De akoestiek en de architectuur van concertzalen
- 14.40 - 15.00 uur** Thee
- 15.00 - 15.40 uur** - **Theo Jansen**: Kunstmatig leven: computerwormpjes en strandbeesten
- 15.40 uur** Sluiting conferentie

Lezingen



Afbeelding 2: de relevante sporen

Afbeelding 1 toont de betreffende foto.

Afbeelding 2 toont alleen de sporen die hier van belang zijn.

Afbeelding 3 toont deze sporen nog eens, maar de grote spiralen die door de elektronen en de positronen gevormd werden zijn weggelaten.

Ten slotte toont afbeelding 4 hoe de diverse sporen met elkaar samenhangen door met stippelijntjes de banen van de neutrale deeltjes aan te geven.

Diverse details van deze figuur zal ik bespreken.

► In punt 0 vindt een botsing plaats tussen een deeltje dat het vat in komt en een proton uit het vat.

Bij deze botsing wordt in een "sterk" proces onder andere het Ω^- gevormd. Dit proces behandel ik zo dadelijk. (Zie afbeelding 10.)

Dat Ω^- -deeltje verval vervolgens "zwak" in drie stappen:

► in punt 1 start het verval, er ontstaat dan onder andere het Ξ^0 . Ook dit proces komt zo dadelijk aan de orde. (Zie afbeelding 13.)

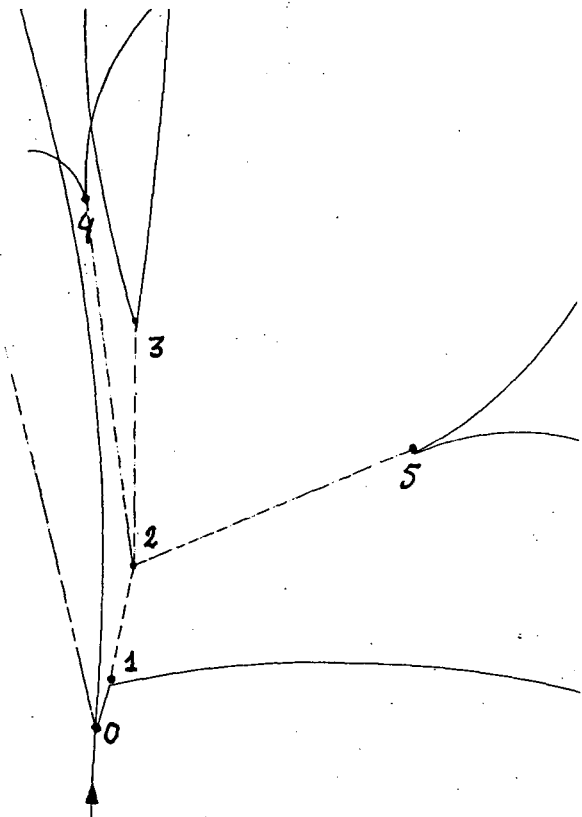
► in punt 2 vindt een vervolproces plaats; daar ontstaat onder andere het Λ^0 ;

► bij punt 3, tenslotte, verval ook dit deeltje.

Op de foto is nog een ander soort proces te zien dat ik zal bespreken:

► in de punten 4 en 5 vindt een elektromagnetische wisselwerking plaats, namelijk: de paarcreatie van een elektron en een positon. (Zie afbeelding 6.)

Afbeelding 3: elektronen en positronen weggelaten

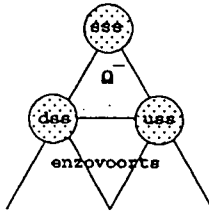


Afbeelding 4: de banen van de neutrale deeltjes aangegeven

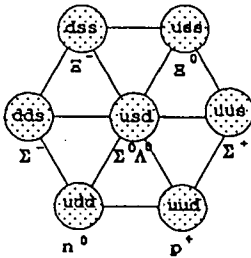
De soorten deeltjes

(Tijdens de presentatie beschikte ik over een houten standaard waarop een viertal grote, ruimtelijke, kartonnen modellen stonden. Op die modellen kon ik de verschillende soorten deeltjes en hun onderlinge samenhang *aanwijzen*. Het was een soort toren van deeltjes. In dit verslag moet ik *beschrijven* wat er aan die modellen te zien was. Maar afbeelding 5, die ook uit vier onderdelen bestaat, geeft een indruk van de vier modellen.)

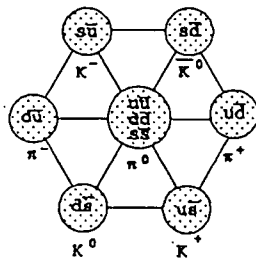
BARYONEN spin 3/2



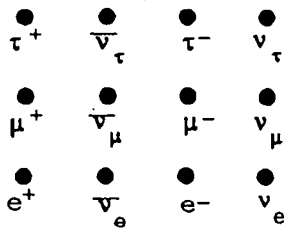
BARYONEN spin 1/2



MESONEN



LEPTONEN



► Op het onderste van de vier modellen staan drie generaties leptonen en anti-leptonen.

Op de drie modellen daar boven staan de drie soorten deeltjes afgebeeld die uit quarks zijn opgebouwd.

Van onder naar boven:

► de mesonen met spin 0;

Mesonen zijn opgebouwd uit quarks en anti-quarks. Met drie soorten quarks, u-, d- en s-quarks kan een aantal mesonen gevormd worden die in een zeshoek gegroepeerd kunnen worden.

Met vier soorten quarks, de genoemde en het c-quark kunnen mesonen gevormd worden, die gegroepeerd kunnen worden in een cuboctaëder: vier in elkaar geschoven zeshoeken.

Daarboven:

► de baryonen met spin 1/2;

En helemaal bovenaan:

► de baryonen met spin 1 1/2.

Baryonen zijn opgebouwd uit drie quarks. Met drie soorten quarks, u-, d- en s-quarks, kunnen baryonen gevormd worden, die in een zeshoek of een driehoek gegroepeerd kunnen worden. De zeshoek en de driehoek staan in afbeelding 5.

Met vier soorten quarks, de genoemde en het c-quark kunnen veel meer baryonen gevormd worden. Voor spin 1/2 zijn de mogelijkheden in een afgeknotte piramide weer te geven en voor spin 1 1/2 in een gelijkzijdige piramide.

(De cuboctaëder, de afgeknotte piramide en de gelijkzijdige piramide stonden in de houten standaard. In de handleiding zijn bouwplaten van deze ruimtelijke modellen opgenomen.)

De soorten wisselwerkingen

Elementaire deeltjes kunnen diverse processen ondergaan:

- ze kunnen gecreëerd worden;
- ze kunnen vervallen;
- ze kunnen botsen, elastisch maar ook inelastisch.

De diverse processen die elementaire deeltjes kunnen ondergaan, worden veroorzaakt door de fundamentele wisselwerkingen.

Aan deze wisselwerkingen ligt de uitwisseling van een ander type fundamenteel deeltje ten grondslag: het zogenaamde wisselwerkingsdeeltje.

Die wisselwerking wordt in feynmandiagrammen uitgebeeld.

In afbeelding 6 staat een soort basistekening van wisselwerking: twee personen die een bal overgooien en daarmee elkaar beïnvloeden.

Hier laat ik door middel van een paar korte voorbeelden de drie fundamentele wisselwerking aan de orde komen:

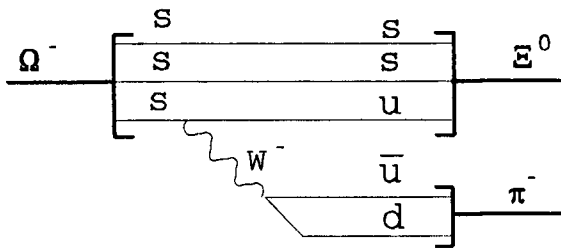
- de elektromagnetische wisselwerking;
- de sterke wisselwerking;
- de zwakke wisselwerking.

Aan elk van deze wisselwerkingen wordt een hoofdstuk besteed.

Afbeelding 5: de toren van deeltjes

Tenslotte is in afbeelding 15 weergegeven volgens welke wisselwerking het verval plaatsvindt: het is via de zwakke wisselwerking. Hierbij wordt een W^- -deeltje uitgewisseld; dat deeltje wordt, net als het foton, uitgebeeld door een slingerlijntje.

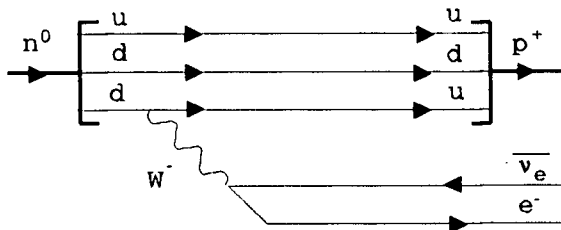
Net als bij het vorige proces, hoeft de wisselwerking volgens het *ingekorte* WEN-programma niet gekend te worden.



Afbeelding 15: de zwakke wisselwerking

Het β -verval

Als laatste voorbeeld toon ik nog het feynmandiagram van het β -verval. Dat is het proces dat vermoedelijk door de meeste docenten behandeld zal worden. In de handleiding wordt veel ruimte besteed aan dit proces.



Afbeelding 16: β verval

Nawoord bij dit schriftelijke verslag van de presentatie

De uitgave van het boek: *'Elementaire deeltjes en fundamentele wisselwerkingen'* is gedeeltelijk gesubsidieerd door de Nederlandse Natuurkundige Vereniging. Alle onderwerpen uit het WEN-programma voor het VWO worden er uitvoerig in behandeld.

Bij het boek hoort een diaserie van 15 dia's met onder andere bellenvatfoto's. In een van de hoofdstukken worden de dia's uitvoerig besproken en voorzien van een aantal vragen en opdrachten.

Boek en dia's zijn te bestellen bij de NVON-ledenservice. (De dia's worden op bestelling aangemaakt. Wanneer U de dia's voor eind februari 1994 bestelt, gelden onderstaande prijzen; daarna kan, afhankelijk van het aantal bestellingen een prijsverhoging nodig zijn.)

Het boek alleen (bestelnummer 29): f 23,50;

de dia's alleen (bestelnummer 31): f 22,50;

boek en dia's samen (bestelnummer 29-31): f 41,50.

De bedragen zijn inclusief porto- en administratiekosten. U bestelt door het betreffende bedrag over te maken op postgiro 619809 t.n.v. NVON-Ledenservice Prinsenbeek met vermelding van het bestelnummer.

De Krachtgever en het Elektrisch Zwaai Orkest

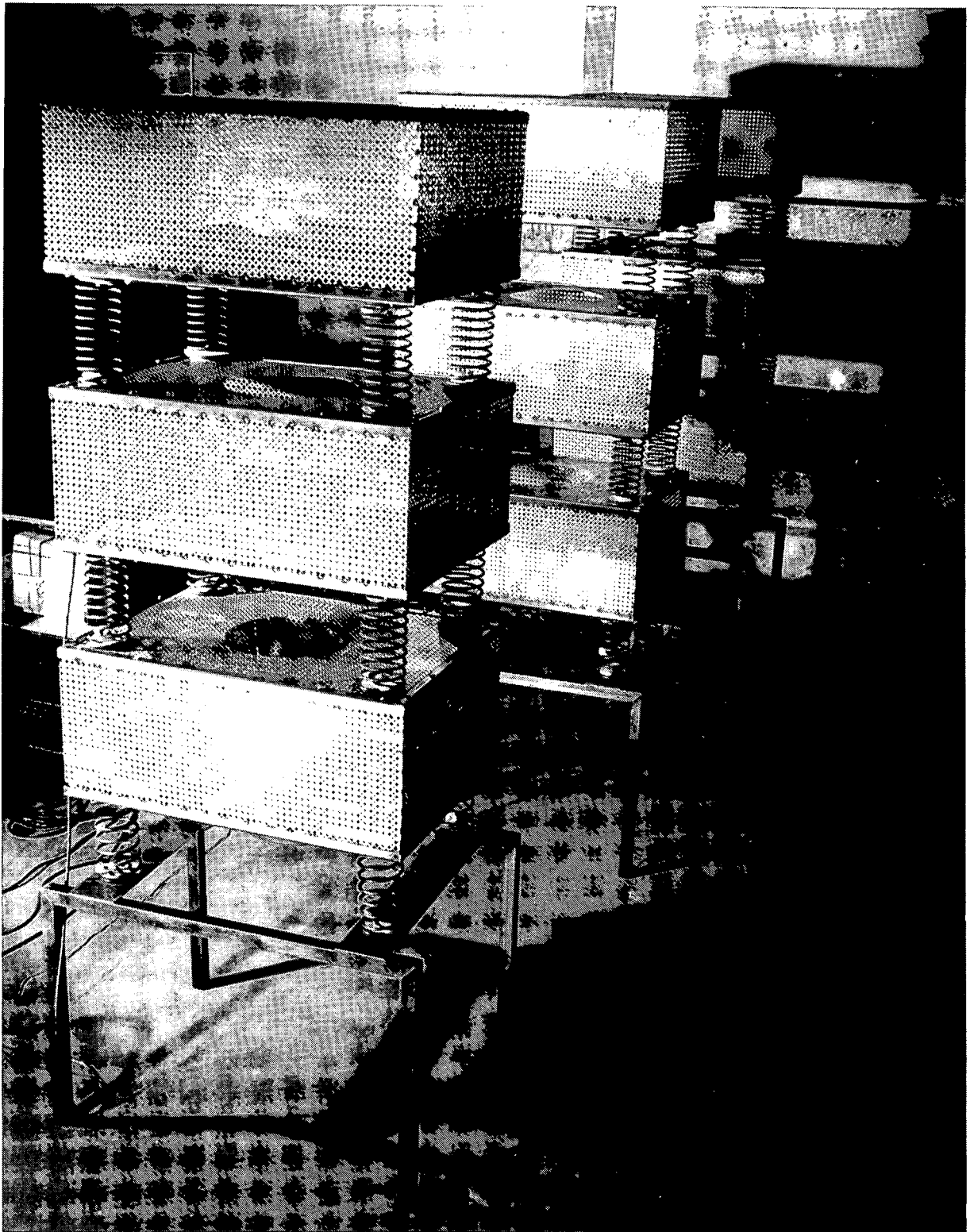
P. Bosch & S. Simons

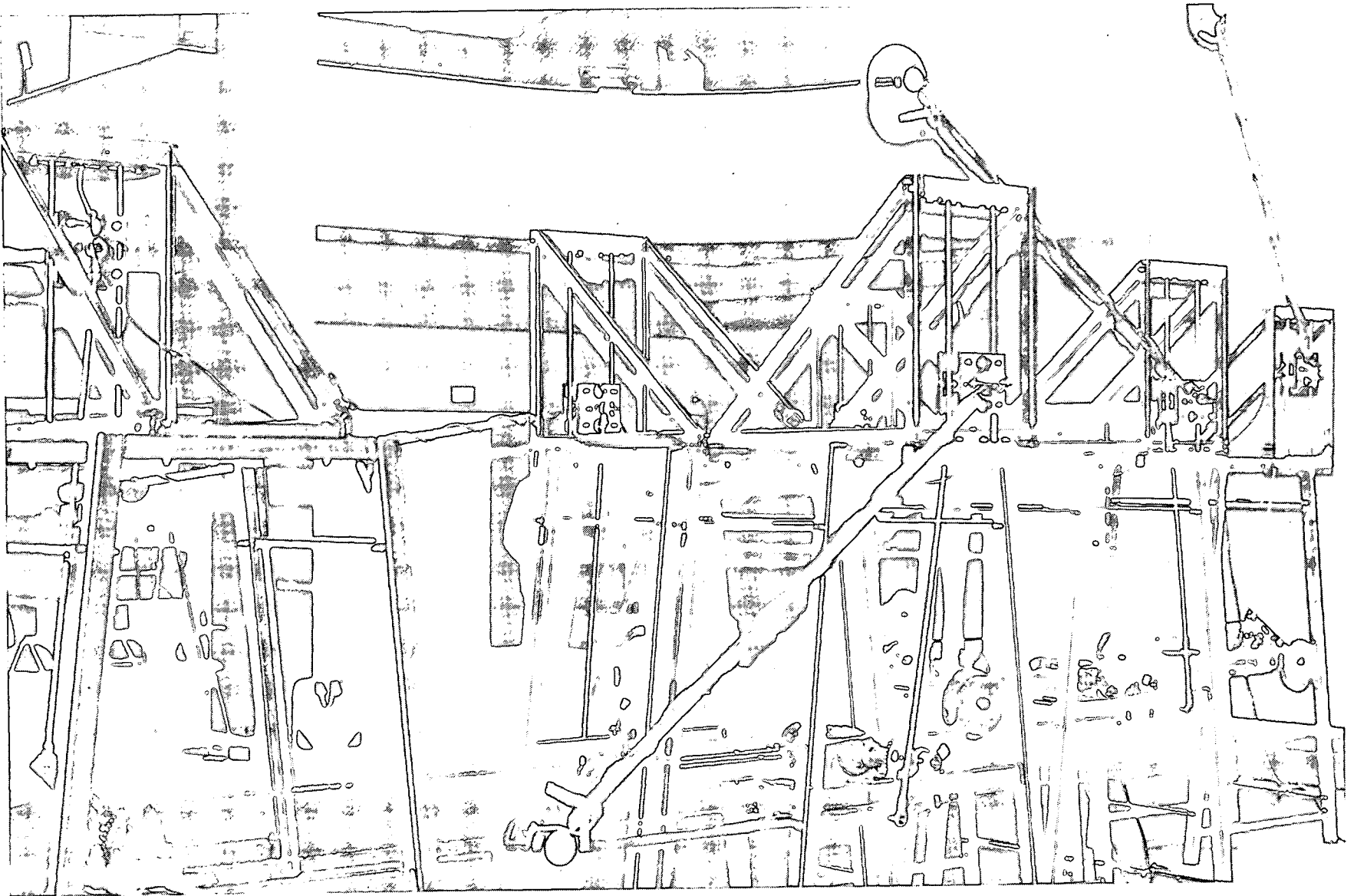
Reeds in 1896 toonde Nikola Tesla de kracht aan van mechanisch opgewekte trillingen. Hij bevestigde een kleine excentrisch draaiende motor aan een balk van zijn laboratorium in Manhattan. Dit veroorzaakte zo'n sterke resonantie in het gebouw en de grond dat het een aardbeving tot gevolg had in twaalf huizenblokken. Gebouwen schudden, glaspanelen braken en stoompijpen sprongen. Een slag met een voorhamer was nodig om de motor tot zwijgen te brengen. Tesla beweerde dat hij de eigenfrequentie van de aarde kon berekenen en deze in sterke trillingen zou kunnen brengen mits de frequentie, kracht en plaatsing van de trillingsbron juist zijn gekozen¹. Op de Krachtgever (1993) zijn deze veronderstellingen nog altijd van toepassing. In de uitwerking van het thema - resonanties, opgewekt door mechanische trillingen - zijn wij echter niet alleen geïnteresseerd in het versterken van één aanwezige frequentie, maar meer nog in het creëren van een complex systeem, waarbinnen verschillende aanwezige resonanties elkaar beïnvloeden. Zo ontstaan labiele evenwichten, die door zeer kleine veranderingen in de situatie verstoord kunnen worden, wat tot onvoorspelbare uitkomsten leidt. Net als in het "Elektrisch Zwaai Orkest" (1991/92) worden aandrijffrequenties en eigenfrequenties van lichamen - toen slingers, nu verende constructies - zo op elkaar afgestemd dat de bewegingen en geluiden die de installaties voortbrengen bijna onmerkbaar kunnen overgaan van orde in chaos en vice versa. De computer vervult een paradoxale rol. Hij oefent macht uit over het mechanische gedeelte, de besturing van elektromotoren, maar hij kan de natuurkundige gevolgen van zijn beslissingen slechts ten dele voorzien. Naast labiele evenwichten, orde en chaos is er nog een belangrijk element aanwezig: Geluid. De pure kracht van geluid en de pure aanwezigheid van geluid (of muziek) openbaren is telkens weer een belangrijk gegeven van al onze installaties: Het medium geluid om macht uit te oefenen op een plek, een plaats te "bezitten", de "Begeisterung" van ruimte. In ons trilproject wekken we trillingen op om vervolgens de hele ruimte te vullen met trillingen, immers geluidsgolven zijn trillingen!

De aarde is een golfsysteem van trillingen. De stabiliteit waarop ik leef, beweegt altijd. Heel weinig, Heel langzaam. Hoe stil ik ook zit, ik zit nooit stil.

Gerrit van Bakel²

De "Krachtgever" werd ontwikkeld in samenwerking met studenten werktuigbouwkunde aan de Universiteit Twente te Enschede in het kader van TART'93. Op de eerste presentatie, november 1993, werden drie manshoge stapelingen van drie stalen kisten per toren en één stapeling, bestaande uit acht houten kisten, getoond. De kisten zijn door spiraalveren met elkaar verbonden. Aan elke stapeling zijn één of meer excentrisch draaiende elektromotoren bevestigd. Deze trilmotoren worden bestuurd door een computer, die de draaisnelheid van een motor zodanig varieert dat er interessante interferenties ontstaan tussen de opgelegde trillfrequenties en resonantie-frequenties van een stapeling. Dit maakt het mogelijk een kist gescheiden van de andere kisten in trilling te brengen, dan wel de hele stapeling in eenzelfde trilling. Ook combinaties van verschillende trillingen die tegelijkertijd plaats vinden op de drie niveaus van een stapeling kunnen worden opgewekt. Het project zal in de toekomst worden uitgebreid. Immers, hoe meer kisten met elkaar verbonden worden door spiraalveren, des te complexer zal het systeem zich gedragen. In de kisten zit materiaal dat "geschud" wordt. Dit materiaal, verschillend in volume, gewicht en klank heeft ook weer eigen tril-eigenschappen. Het samenspel van de opgelegd trillingen aan alle elementen, van trilmotor naar spiraalveer, naar kist, naar materiaal in de kist en dit nog enkele malen op elkaar gestapeld, levert een buitengewoon complex geheel op. Ondanks deze complexiteit is de relatie tussen alle visuele en auditieve elementen van de installatie eenduidig. Het geluid is puur, onversterkt en rijk aan details, zoals ook in de installatie "Was der Wind zum klingen bringt" (1989/90). Dit in tegenstelling tot ons eerste TART-project, het "Elektrisch Zwaai Orkest" (1991/92), waar de muzikale uitkomst eveneens 'line' wordt beïnvloed door bewegingen van de installatie, maar door tussenkomst van computer en sampler elektronisch wordt opgewekt. Deze digitalisering





maakt het mogelijk melodische structuren een belangrijke rol te laten spelen in de muziek van het E.Z.O.. Het geluidsrepertoire van de "Krachtgever" kan daarentegen het best worden omschreven als klankstapelingen, die zowel in sterkte, timbre en ritmiek variëren van subtiel tot zeer krachtig, van ordelijk tot chaotisch. *De Krachtgever, gever met grote energie.* (uit 'Symbolen voor de elektrotechniek, 1963).

Elektrisch Zwaai Orkest (1991/92)

In 1968 schreef Steve Reich het muziekstuk 'Pendulum Music'. Vier of meer microfoons hangen aan hun kabel boven een luidspreker. De versterker is zo afgesteld dat wanneer een microfoon zich recht boven zijn luidspreker bevindt er een rondzingsignaal klinkt. Aan het begin van het stuk trekken de performers de microfoons naar zich toe en laten los. De microfoons slingeren heen en weer over de luidsprekers. Op het eind hangen de microfoons stil boven de luidsprekers en er klinkt een continue rondzington. Einde muziekstuk.

Niet iedereen die het 'Elektrisch Zwaai Orkest' ziet zal onmiddellijk aan 'Pendulum Music' denken, maar toch zijn deze projecten zeer verwant aan elkaar. In beide projecten bepalen wisselende afstanden tussen geluidsonnemers en geluidsweegevers de muzikale uitkomst. De performers van 'Pendulum Music' zijn vervangen door motoren, de analoge feedback door digitale feedback. Was bij Reich de uitdampingstijd de onvoorspelbare factor, bij E.Z.O. zijn het parametrisch aangedreven slingers. De parametrisch aangedreven slinger is een intrigerend onderwerp uit de natuurkunde binnen het kader van orde en chaos theorieën. Zoals ook bij eerdere projecten van Bosch en Simons (o.a. 'Bamboe-lucht', 1986/87, i.s.m. H. van Koolwijk en 'Was der Wind zum klingen bringt, 1990) spelen onvoorspelbare labiele evenwichten een zeer belangrijk rol in het concept. Door situaties waarin complete controle onmogelijk is ontstaan muziekstukken die in elke uitvoering uniek zijn. Bamboe-lucht, een dertig minuten durend concert van klankstapelingen, is afhankelijk van de hoeveelheid lucht die opgeslagen wordt in reusachtige ballonnen. Bij Was der Wind zum klingen brengt bepaalt een zichzelf genererend computerprogramma, gebaseerd op het principe van 'cellulaire automaten', het verloop.

Het Elektrisch Zwaai Orkest maakt gebruik van zes slingers, die in tegenstelling tot de in de geschiedenis gebruikte tijd en ritme scheppende slingers, nu chaos brengen. De slingers worden aangedreven door het ophangpunt mechanisch op en neer te bewegen. Het bewegingsgedrag van zo'n slinger hangt af van de bewegingsfrequentie van het ophangpunt. Een elektromotor met variabele snelheid zorgt voor de aandrijving. De slingers kunnen een groot scala aan bewegingen voortbrengen, variërend van de bekende regelmatige slingerang tot onvoorspelbaar, onregelmatig bewegingsgedrag, wat uiteindelijk kan leiden tot vervaarlijk rondzwaaien. Aan

het uiteinde van een slinger bevindt zich een microfoon of een luidspreker. Over de luidsprekers zijn elektronische klanken hoorbaar. De computer bestuurt de elektromotoren en het muzikale proces. Enerzijds wordt hij ingezet als een middel om macht uit te oefenen over het systeem, anderzijds heeft hij de gevolgen van zijn beslissingen slechts ten dele in de hand. Hij interpreteert de geluiden die de drie slingerende microfoons opvangen uit de drie slingerende luidsprekers en speelt op grond daarvan nieuwe noten over die luidsprekers. Deze live geïmproviseerde muziek is afhankelijk van de onvoorspelbare bewegingen van de slingers en van wisselende "luister-" en compositieregels voor de computer. Dit proces blijft zich eindeloos herhalen. In feite luistert de computer voortdurend naar zichzelf.

Wij hebben gekozen voor uitvoeringen van zeven minuten, die door een druk op een voetschakelaar in gang kunnen worden gezet. De computer speelt gesampled blazersklanken. De stukken bestaan uit een deel van drie en een deel van vier minuten. Bij aanvang van een deel kiest de computer één van de vier luisterregels. Zo ontstaan twee delen met een duidelijk verschillend karakter, wat bij menige toeschouwer het vermoeden van reproductie oproept. In feite echter is elke uitvoering uniek in beweging en geluid door de complexiteit en onvoorspelbaarheid van het systeem.

Relevante literatuur

Dynamische Systemen en Chaos, een revolutie vanuit de wiskunde. Redactie: H.W. Broer en F. Verhulst, Epsilon Uitgaven, Utrecht 1990.

Met name: Hoofdstuk 6, Orde en Chaos in de parametrisch aangedreven slinger, J.P. van der Weele en T.P. Valkering

Noten:

1. uit John J.O'Neill (1944). *Prodigal Genius, The life of Nikola Tesla*, New York, Ives Washburn Inc., p.159-162.
2. uit catalogus 'Gerrit van Bakel 1943-1984', Rijksmuseum Kröller-Müller, Otterlo, 1992, p.59.

PENDULUM MUSIC

FOR MICROPHONES, AMPLIFIERS SPEAKERS AND PERFORMERS

Three, four, or more microphones are suspended from the ceiling on from microphone boom stands by their cables so that they all hang the same distance from the floor and are all free to swing with a pendular motion. Each microphone's cable is plugged into an amplifier which is connected to a loudspeaker. Each microphone hangs a few inches directly above or next to its speaker.

Before the performance each amplifier is turned up just to the point where feedback occurs when a mike swings directly over or next to its speaker, but no feedback occurs as the mike swings to either side. This level on each amplifier is then marked for future reference and all amplifiers are turned down.

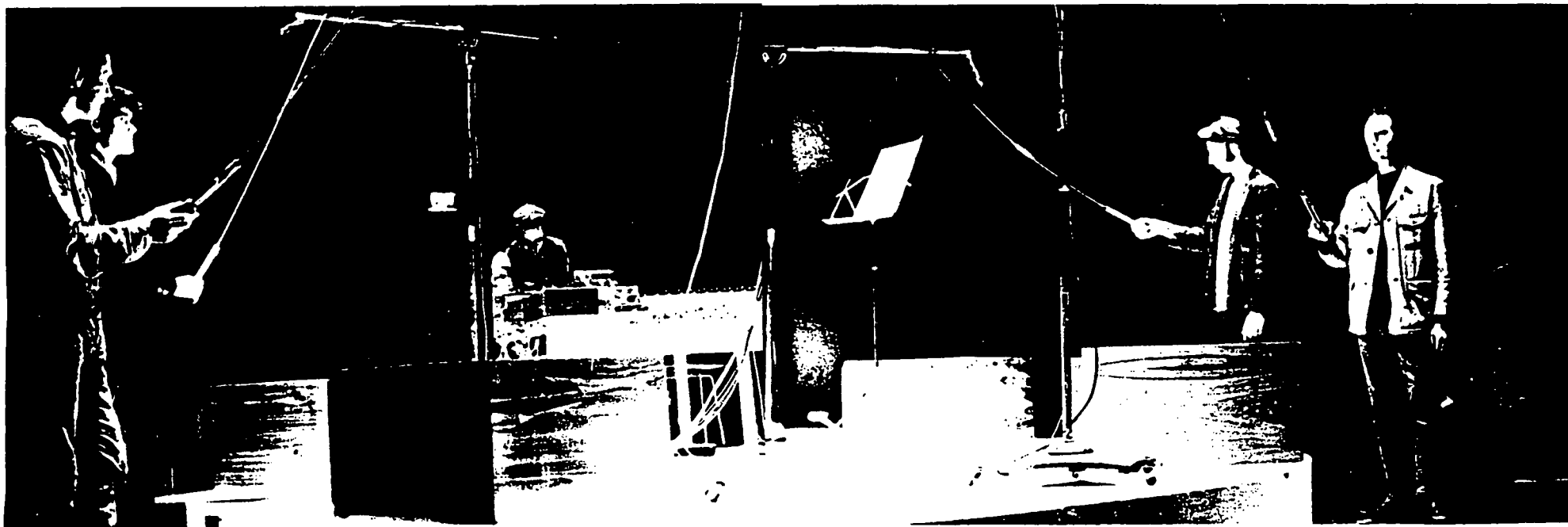
The performance begins with performers taking each mike, pulling it back like a swing, and then holding them while another performer turns up the amplifiers to their pre-marked levels. Performers release all the microphones in unison. Thus, a series of feedback pulses are heard which will or be all in unison or not depending on the gradually changing phase relations of the different mike pendulums.

Performers then sit down to watch and listen to the process along with the rest of the audience.

The piece is ended sometime shortly after all mikes have come to rest and are feeding back a continuous tone by performers pulling out the power cords of the amplifiers.

Steve Reich 8/68
revised 4/79

tekst: Steve Reich, 1968



Pendulum Music (8/68) Performed at the Whitney Museum of American Art on May 27, 1969.

from L. to R.: Richard Serra, James Tenney, S.R., Bruce Nauman, Michael Snow.

Erasmusbrug

Symbiose van techniek en vormgeving

K. Noorlander

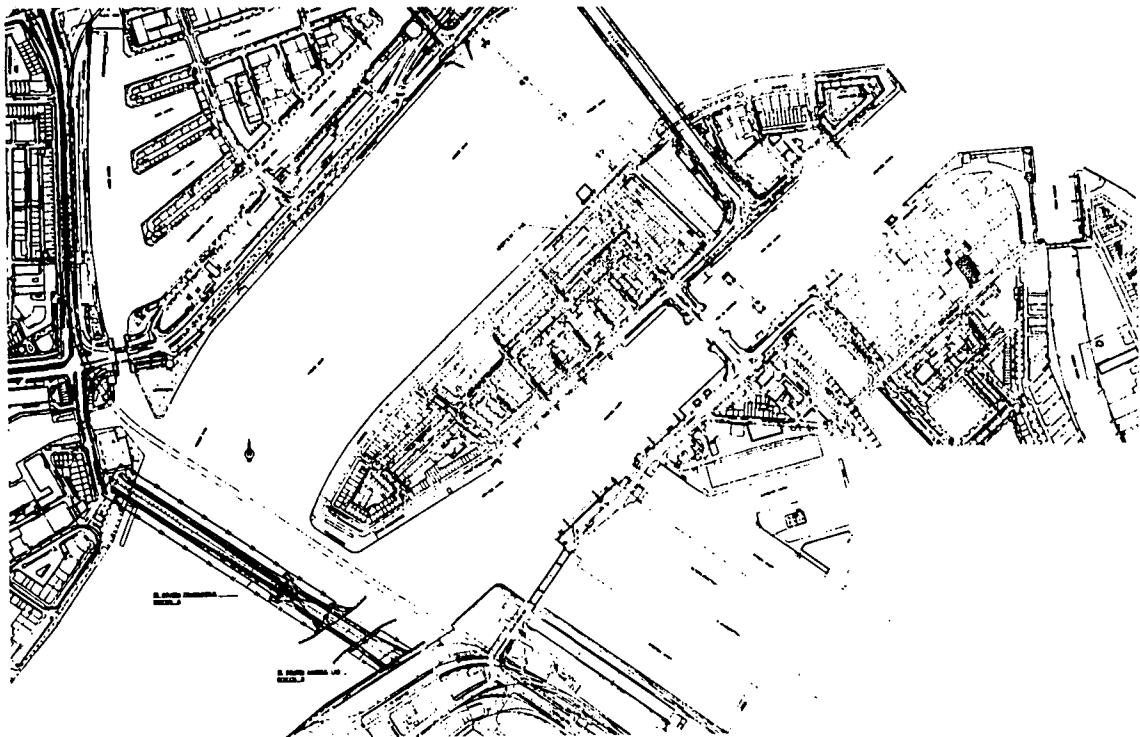


Geschiedenis

De groei van de hedendaagse Rotterdamse haven is in de vorige eeuw begonnen met het graven van de Nieuwe Waterweg en de aanleg van de havens aan de Zuidelijke oever van de Nieuwe Maas. Tot ver in deze eeuw zijn deze havenbassins in gebruik gebleven.

Met het voortschrijden van de techniek en met de schaalvergroting van het scheepvaartverkeer zijn de havenactiviteiten steeds meer naar het westen verplaatst. Deze oude havens waren daarom alleen nog maar geschikt voor binnenvaart en kleine handelsvaart (kustvaarders). De faciliteiten van deze havens waren verouderd. Het gebied en ook de woonomgeving waren aan het verpauperen.

Het gebied, bekend als de "Kop van Zuid" is hemelsbreed gezien zeer dicht bij het stadscentrum gelegen. In dit centrum is een gebrek aan bouwgrond voor kantoren, woningen en recreatieve voorzieningen. Het ligt dus voor de hand om dit gebied hiervoor te bestemmen. Verbindingen zijn er weliswaar (Maastunnel, Willemsbrug en Metro, maar deze zijn bepaald niet optimaal. Wil deze uitbreiding van het centrum optimaal gebruikt kunnen worden dan moet ook de verbinding met het centrum zo goed mogelijk zijn. Niet alleen uit oogpunt van verkeerstechniek maar ook als symbolische band tussen beide gebieden. De verbinding moet het stedenbouwkundig concept uitstralen.

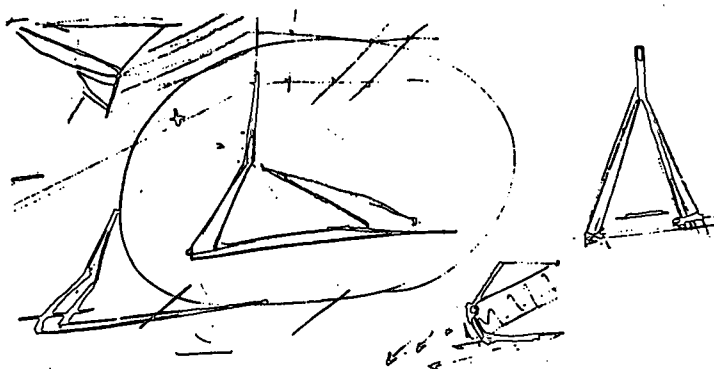


Afbeelding 1: situatie

Als symbool is een brug dan ook de enige oplossing die dit in zich heeft.

De meest eenvoudige oplossing zou een herhaling van het ontwerp van de Willemsbrug zijn. Technisch gezien een uitermate efficiënt ontwerp. Maar ook qua vormgeving een geslaagd ontwerp. De nieuwe brug moest echter een duidelijke band vormen tussen de "Kop van Zuid" en het centrum. De nieuwe brug mocht dus niet een van de velen zijn. De vormgeving moet een uitstraling hebben die de kwaliteiten van het nieuwe gebied representeert.

In de loop van het ontwerpproces zijn vele ontwerpen gemaakt, van zeer sobere met aan weerszijden pylonen, tot dramatische met aan één zijde een zeer hoge pyloon. Het probleem is dat een brugontwerper altijd min of meer rationeel blijft denken met in zijn achterhoofd de gedachte dat de kosten zo laag mogelijk moeten zijn. De ontwerpen bleven dan ook een min of meer technische uitstraling vertonen.



Afbeelding 2: schetsontwerp Ben van Berkel

In deze fase werd Ben van Berkel bij het proces betrokken. Uitgaande van de randvoorwaarden van het ontwerp, zoals vrije overspanning, positie van de pijlers, breedte van de brug, kwam hij tot een ontwerp dat, zonder het principe van de tuibrug geweld aan te doen, een beeld oproept dat duidelijk een symbool is voor de ontwikkeling van dit gebied en de verbondenheid van de stadsdelen aan weerszijden van de Nieuwe Maas. Qua oplossing zeker niet het meest efficiënt. Een scheefstaande pyloon is uit oogpunt van krachtwerking, vooral door eigen gewicht, niet de goedkoopste oplossing, ook al geeft de knik wel enige compensatie.

De zware ligger aan de achterzijde is nodig om de horizontale krachten die de pyloon, ten gevolge van zijn scheefstand uitoefent, inwendig in de brugconstructie op te nemen. Hierdoor wordt voorkomen dat de pijlers door grote horizontale krachten belast worden.

Beschrijving ontwerp

De essentiële onderdelen van de oeververbinding worden gevormd door de vrije doorvaart van de rivier met een breedte van 284 m¹ en de doorvaart van de Koningshaven met een breedte van 50 m¹. De doorvaart ter plaatse van de rivier moet een vrije hoogte hebben op Rijnvaartheog-

te, deze wordt gerelateerd aan een veel voorkomende hoogste waterstand. De doorvaart van de Koningshaven moet in principe onbeperkt zijn in hoogte in verband met de passage van hoge schepen en drijvende bokken.

Om aan deze randvoorwaarden te voldoen is een drietal bruggen nodig, een vaste brug over de Nieuwe Maas, een beweegbare brug aan in de monding van de Koningshaven en een aanbrug aan de Zuidelijke oever.

De tuibrug die de rivier overspant is zonder twijfel het belangrijkste deel. Deze bestaat uit een hoofdoverspanning van 284 m¹ een aanbrug aan de noordzijde van 51.5 m¹ en een achteroverspanning aan de zuidzijde van 80 m¹ ter verankering van de tuen die de achterzijde van de pyloon steunen.

De doorvaart in de Koningshaven wordt overspannen door een beweegbare brug, uitgevoerd als basculebrug. Zowel de vorm als de afmetingen zijn bijzonder. In plattegrond heeft deze brug de vorm van een parallellogram. Dit is een gevolg van de scheve kruising van doorvaart en brug. Een rechthoekige plattegrond zou tot gevolg hebben gehad dat de brug veel langer zou zijn geworden waardoor het gewicht en de kosten aanzienlijk hoger zouden zijn uitgevallen. In open stand zullen de reusachtige afmetingen van deze constructie opvallen. Verkeer dat voor de slagbomen aan de zuidzijde staat te wachten kan de pyloon niet eens zien!

Tussen de doorvaart en de zuidelijke oever bevindt zich verder een aanbrug. In tegenstelling tot de andere bruggen, die geheel van staal zijn is deze brug uitgevoerd in een combinatie van stalen liggers en een gewapend betonnen dek. Deze constructie is gekozen in verband met de gecompliceerde plattegrond.

Constructie details

Brugligger

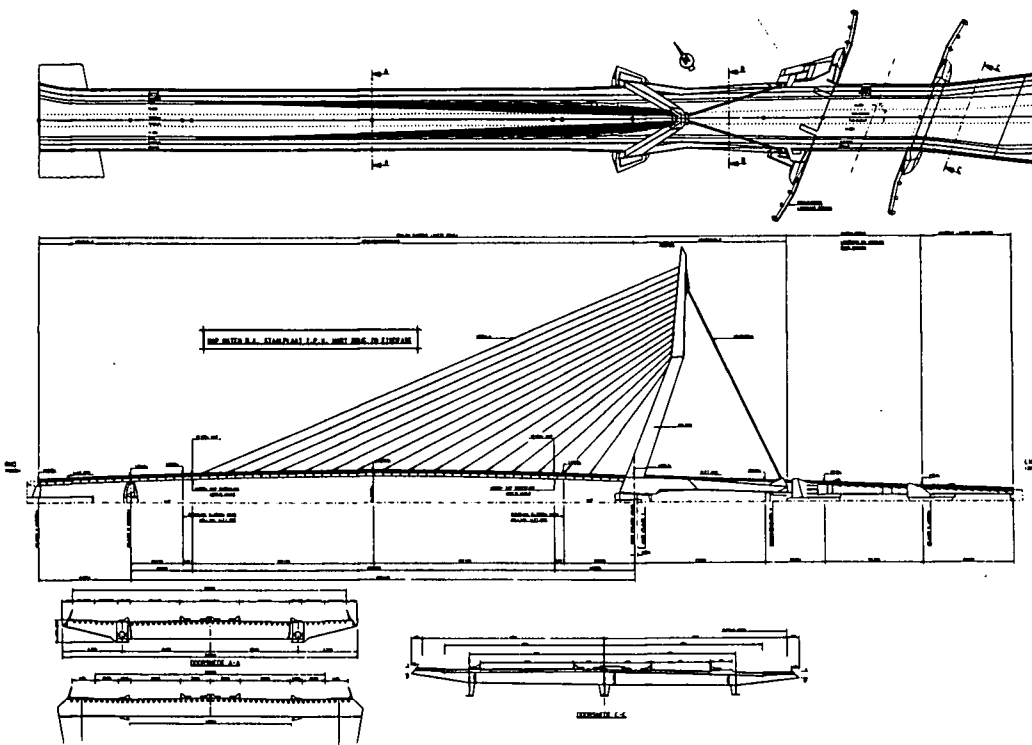
De brugligger bestaat uit een stalen plaat met aan de bovenzijde een dunne slijtlaag en aan de onderzijde verstijvingen.

Het verstijvingspatroon bestaat uit twee U-vormige liggers (hoog 2.250 m¹ en breed 1.250 m¹) die 20 m¹ uit elkaar liggen. In dwarsrichting is het brugdek verstijfd door ribben bestaande uit een omgekeerde T (hoog 2.000 m¹). Tussen de kokervormige hoofdliggers heten dit downwardragers aan de buitenzijde heten dit consoles. De plaat tussen de dwarsribben is verstijfd door, in langsrichting van de brug lopende langliggers. Dit zijn U-vormige ribben met een hoogte van 350 mm¹ en een breedte van 300 mm; de onderlinge afstand bedraagt 600 mm¹.

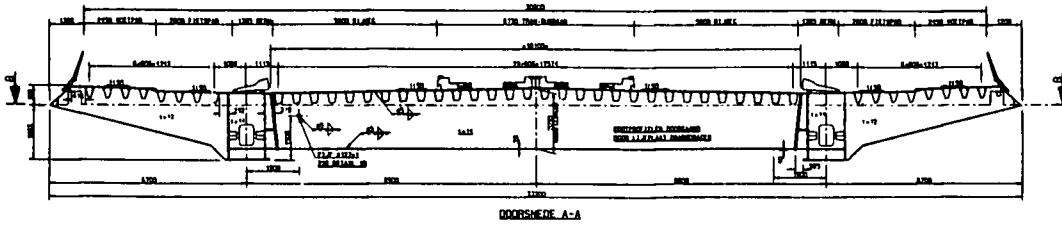
In de hoofdliggers is om de 15 m¹ een tui verankerd.

Pyloon

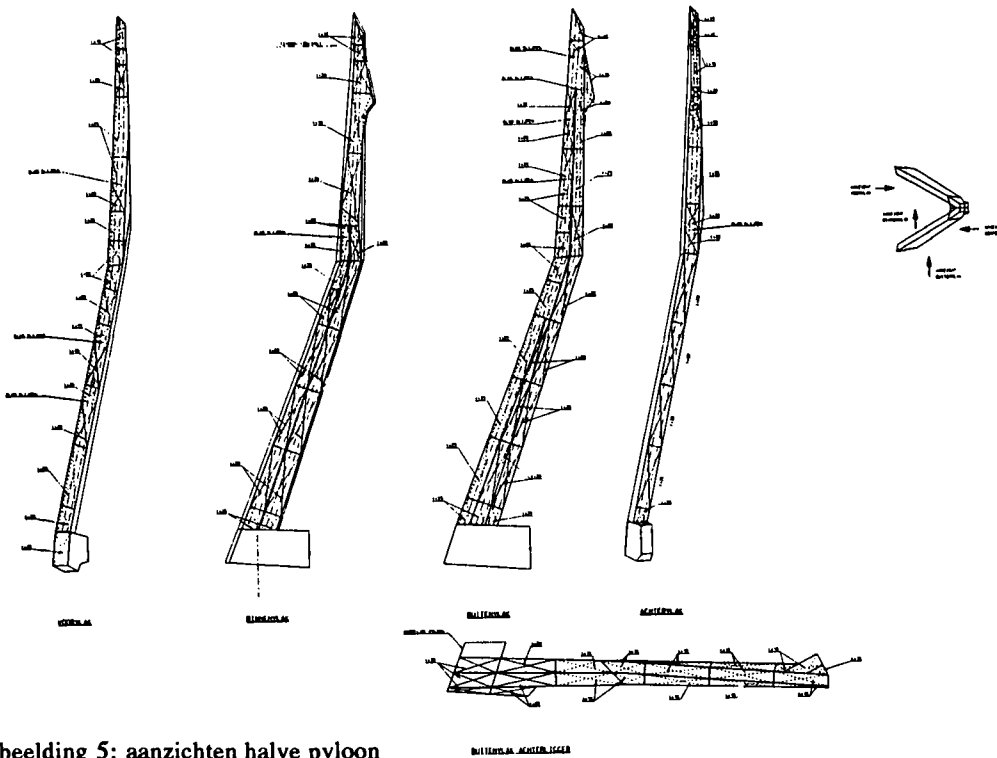
De pyloon heeft een omgekeerde V-vorm. In zijaanzicht is deze op ongeveer 90 m +NAP geknikt. Het hoogste punt is op 139 m¹ +NAP gelegen. Voor de constructie is een stalen doosconstructie gekozen. Deze wordt uit stalen platen opgebouwd. Door de grote afmetingen van de gebruikte platen is niet mogelijk deze in één stuk te fabriceren. De plaatvelden zijn daarom door lassen opgebouwd



Afbeelding 3: uitgewerkt ontwerp



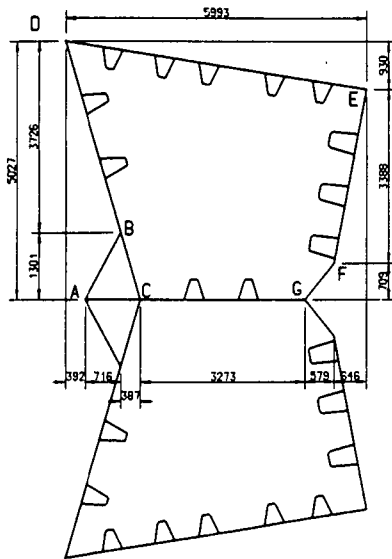
Afbeelding 4: dwarsdoorsnede brug



Afbeelding 5: aanzichten halve pylon

uit kleinere platen die door de walsen geleverd zijn. Inwendig zijn de plaatvelden van de pyloon verstijfd door ribben en vloeren.

In de pyloon zijn schotten aangebracht die de verankering van de tuien vormen. Verder bevinden zich in de pyloon de nodige trappen en vloeren om alle onderdelen te kunnen bereiken. In een van de poten is een lift aangebracht.

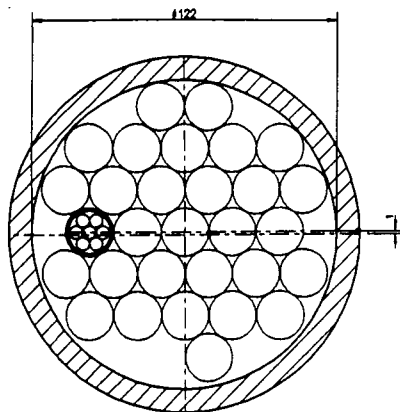


DOORSNEDE 93220+

Afbeelding 6: doorsnede pyloon

Tuien

De tuien vormen het meest kenmerkende onderdeel van een tuibrug. In principe kan hiervoor iedere voor het opnemen van trekkrachten geschikte constructie worden gekozen. Historisch gezien ziet men dan ook vele varianten van staven met aangesmede ogen tot de moderne constructie met kabels. Ook in de kabelconstructies is er een zeer grote variatie in oplossingen. Paralleldraadoplossingen zoals ook in hangbruggen gebruikt zijn, gesloten geslagen kabels, zoals bij de Willemsbrug toegepast (maar ook als draagkabel bij kabelbanen) of, zoals hier, kabels opgebouwd uit een groot aantal identieke strengen.



30 STRENGEN
IWI 1-2-3

Afbeelding 7: tuidoorsnede

Krachtwerking

De keuze van een draagsysteem is er een voor de interne krachtverdeling. Als men kiest voor een plank over een sloot dan kiest men voor buiging. Kiest men voor een hangbrug dan is het de doorhangende gebogen draagkabel. Indien men voor een tuibrug kiest dan zijn het tuien en de pylo(o)n(en). Systemen die evenwicht suggereren geven geen goed beeld van de werkelijkheid, zeker als dit betrekking heeft op het eigen gewicht. Een brug wordt uiteindelijk gebouwd in verband met zijn functie en dat is niet een beeldhouwwerk, maar het dragen van het verkeer. En dat kan al dan niet aanwezig zijn en op willekeurige plaatsen staan.

Uitgangspunt moet zijn dat er een evenwicht van krachten is en niet van constructiemassa's.

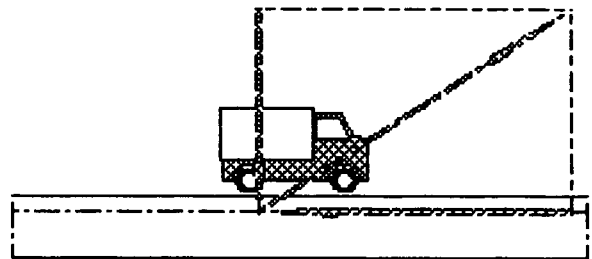
Bij een tuibrug is dus, zoals reeds vermeld, het draagsysteem gevormd door de tuien. Deze dragen de belasting, bestaande uit eigen gewicht en verkeersbelasting.

Het eigen gewicht is het gewicht van het brugdeel dat aan de tui hangt. De verkeersbelasting bestaat enerzijds uit het gewicht en anderzijds uit dynamische effecten ten gevolge van de beweging van de voertuigen.

Al deze krachten zijn te vertalen in een resulterende verticale kracht die aangrijpt ter plaatse van het aangrijppunt van de tui in de brugligger.

Deze kracht is te ontbinden in een drukkracht in de brugligger en een trekkracht in de tui.

De trekkrachten in alle tuien tezamen zijn tot één resulterende kracht samen te stellen op de pyloon. Deze kracht moet in evenwicht zijn met de kracht in de pyloon en de achtertuien.



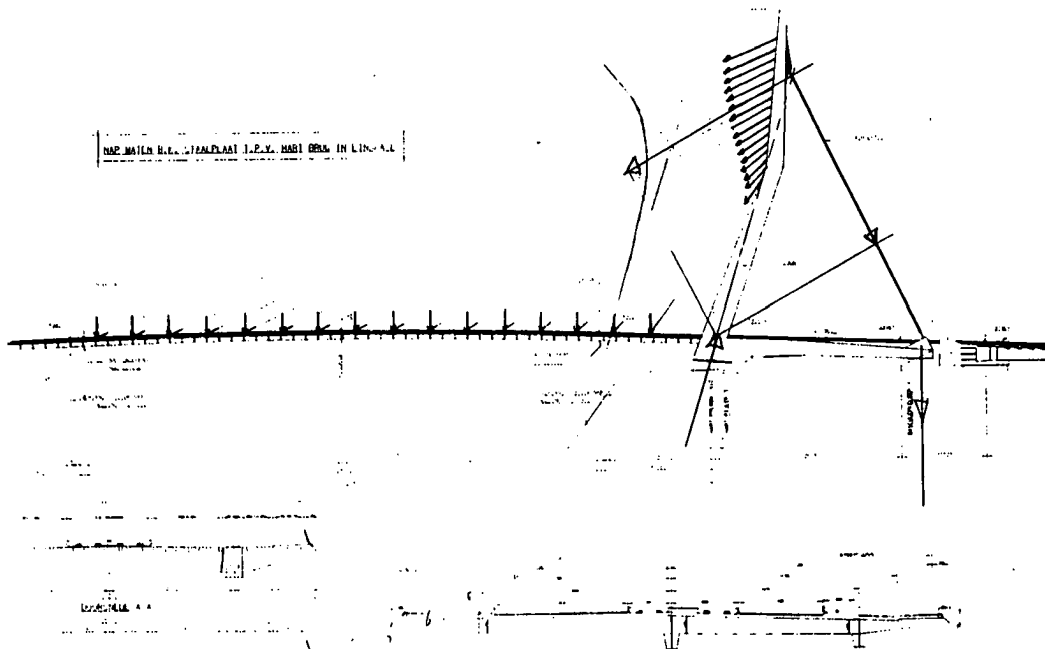
Afbeelding 8: belasting op tui

De pyloonkracht wordt op de pijler ontbonden in een verticale drukkracht naar de fundering en een horizontale kracht in de ligger.

De kracht in de achtertui wordt ter plaatse van de verankering aan de achterzijde ontbonden in een verticale trekkracht op de fundering en een horizontale drukkracht in de ligger.

De horizontale componenten van pyloon- en achtertui-kracht maken evenwicht met de drukkrachten in de ligger aan de voorzijde van de pyloon.

De geschetste werking is de basis voor het ontwerp van de brug. In werkelijkheid spelen de vervormingen ook een belangrijke rol. Voor de eerste aanname is namelijk uitgegaan van een systeem waarbij de gehele constructie opgebouwd wordt gedacht uit kleine onderdelen die met scharnieren aan elkaar bevestigd zijn. In werkelijkheid is



Afbeelding 9: globale krachten op het systeem

dit technisch niet goed uitvoerbaar. De scharnieren moeten dusdanige krachten moeten opnemen dat ze onevenredig groot en kostbaar zouden worden. Verder zijn scharnieren in het brugdek uitermate hinderlijk voor het verkeer dat om een vloeiend verloop van het wegdek vraagt. Om deze reden worden grote delen van de constructie dus continu uitgevoerd. Dit heeft tot gevolg dat deze vervorming buiging in de constructie veroorzaakt. In principe is dat een eenvoudig probleem. Het grote aantal variabelen maakt echter, dat in de praktijk, de oplossing de nodige hoofdbrekens met zich mee brengt. Alleen met behulp van geschikte computerprogrammatuur is dit probleem redelijk snel op te lossen.

De volgende fase is dan ook om de in eerste aanleg gevonden oplossing te toetsen aan een eenvoudig tweedimensionaal rekenmodel; hierbij wordt de ruimtelijke werking van het systeem verwaarloosd. In een volgende fase wordt een ingewikkelder driedimensionaal, dus ruimtelijk, model geanalyseerd. Ook deze analyse geschiedt in een aantal stappen.

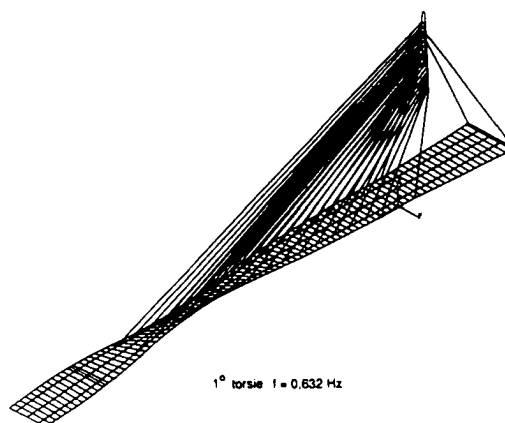
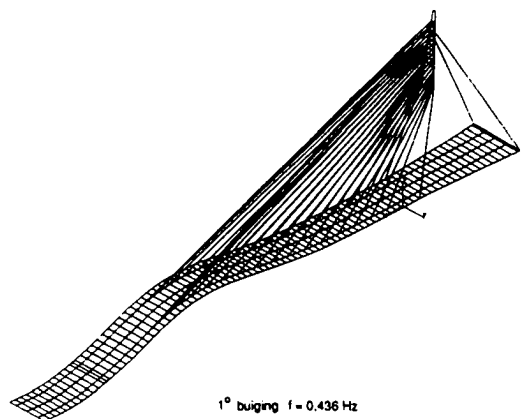
Eerst wordt de constructie opgebouwd gedacht uit lijnvormige elementen, men kan dit het best betitelen als een balkenmodel. In een volgende fase wordt de echte platen waaruit de constructie is opgebouwd in het model ingebouwd.

Deze modellen zijn geschikt om allerlei effecten te onderzoeken, niet alleen de krachtverdeling, maar ook het trillingsgedrag, de stabiliteit en zelfs het bezwijkgedrag kan hiermee worden gesimuleerd.

Windeffecten

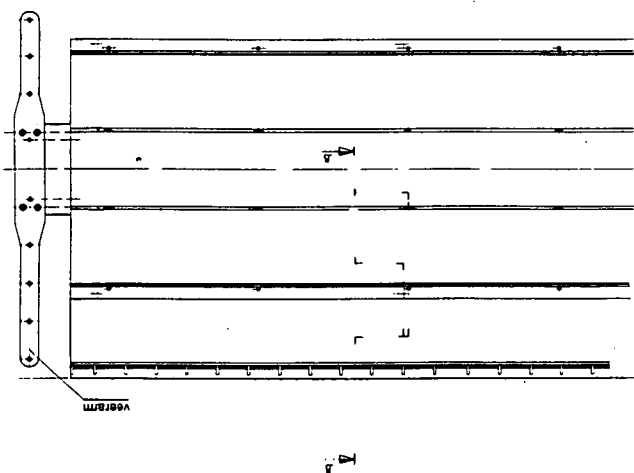
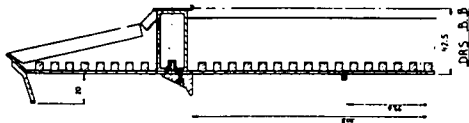
Uit de geschiedenis zijn nogal wat gevallen bekend waarin bruggen ten gevolge van wind ingestort zijn. In de vorige eeuw zijn bekende gevallen geweest het instorten van een brug bij Brighton en de ramp met de Tay-brug. Het recentste geval is de instorting van Tacoma Narrows. In dit geval was er sprake van een lichte zeer flexibele

constructie die door de windkrachten geëxciteerd werd tot een gekoppelde trillingsvorm van torsie en buigtrilling. Alle lichte brugconstructies zijn gevoelig voor dit verschijnsel dat bekend staat als flutter. De vraag of het gevaarlijk is hangt af van de windsnelheid waarbij dit optreedt. Indien dit regelmatig voorkomende snelheden zijn betekent dit dat de constructie onvoldoende veilig is in dit



Afbeelding 10: berekende eigenfrequenties van de brug

opzicht. Aangezien het verschijnsel zowel theoretisch als experimenteel (in de windtunnel) is te onderzoeken, wordt in de praktijk meestal uitgegaan van een theoretische analyse van het probleem waarbij de eigen frequenties van de constructie worden bepaald met daaraan gekoppeld een responsieberekening van de constructie bij toenemende windsnelheden. De, gebruikelijke, windtunnelproeven dienen dan ter verificatie van het theoretisch model. Uit het onderzoek naar dit effect bleek dat de constructie pas bij zeer hoge windsnelheden flutter gedrag vertoont. Deze snelheden liggen echter zo hoog dat deze in de praktijk nooit voor zullen komen.



Afbeelding 11: windtunnelmodel

Uitvoering

De uitvoering van de brug geschiedt in een aantal fasen. Eerst worden de pijlers en landhoofden gemaakt (in vaktermen de onderbouw).

Vervolgens wordt hierop de bovenbouw gemonteerd. Deze wordt in grote delen in de fabriek geprefabriceerd. De totale uitvoering is door een combinatie van Grootint in Zwijndrecht, voor de stalen bovenbouw, en CFE-NBG uit Antwerpen, voor de onderbouw, aangenomen. Voor dit werk hebben deze bedrijven een VOF (Vennootschap Onder Firma) opgericht, waarbij Grootint uit Zwijndrecht de penvoerder is voor deze combinatie.

Onderbouw

De onderbouw omvat niet alleen de reeds vermelde pijlers en landhoofden maar ook werkzaamheden aan kademuuren en enige viaducten op de Noordelijke oever. Het meest interessant zijn de pijlers die de brug dragen.

De meest noordelijke pijler bevindt zich op het land ; wordt ter plaatse gebouwd en rust op een paalfundering. De rivierpijlers worden, met uitzondering van de pijler die de achterzijde van de hoofdoverspanning en de bascu-

lebrug ondersteunt, grotendeels in een bouwdok geprefabriceerd. Dit dok is in de omgeving van Antwerpen gelegen. De pijlers worden daarna drijvend naar hun plaats in Rotterdam gesleept en daar op de juiste plaats afgezonken. Vervolgens worden de pijlers verder opgebouwd. Daarna wordt aan de onderzijde van de pijlers de grond weggegraven. De pijler zakt hierdoor langzaam naar beneden tot de gewenste diepte is bereikt. Dit weggraven geschiedt door arbeiders die zich in het onderste deel van de pijler bevinden. Teneinde deze ruimte droog te houden wordt hierin een verhoogde luchtdruk aangebracht. Als deze werkzaamheden gereed zijn wordt deze ruimte gevuld met beton.

De pijler van de basculebrug wordt ter plaatse opgebouwd. Hiertoe wordt eerst een bouwkuip van stalen damwand in de rivier geheid. In deze kuip worden vervolgens palen geslagen en daarna beton gestort. De kuip kan dan leeggepompt worden waarna de verdere opbouw van de pijler in den droge kan geschieden. Beide funderingsmethoden zijn al oud. De meeste pijlers van de bruggen over de grote rivieren zijn met een van deze methoden gebouwd.

Bovenbouw

De stalen bovenbouw van de brug bestaat uit een drietal delen

- de grote vaste tuibrug
- de basculebrug
- de zuidelijke aanbrug.

De bouw van deze delen geschiedt gedeeltelijk in de fabriek en gedeeltelijk op de bouwplaats. In de fabriek spreken we van fabricage en op de bouwplaats van montage.

Welke werkzaamheden in de fabriek plaats vinden en welke op montage is afhankelijk van de mogelijkheden die enerzijds de fabrikant heeft en anderzijds wat op montage mogelijk is. Als het transport dit mogelijk maakt zal een verschuiving van de werkzaamheden naar de fabriek plaats vinden.

Fabricage

De fabricage in de fabriek vangt aan met het vervaardigen van de zogenaamde werktekeningen. Deze geven tot in het kleinste detail aan hoe de constructie is opgebouwd, hoe groot alle onderdelen zijn, hoe gelast moet worden, hoe vervormingen tijdens de bouw gecompenseerd moeten worden. Deze tekeningen worden gebaseerd op de bestektekeningen waarin de ontwerper heeft vastgelegd hoe de uiteindelijke constructie er uit moet zien, zodat deze voldoet aan de ontwerpberekeningen die hij heeft gemaakt.

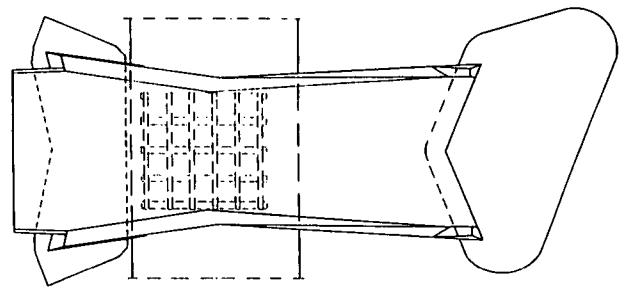
Vervolgens wordt aan de hand van deze werktekeningen vastgesteld wat de afmetingen zijn van de in te kopen materialen, in dit geval dus de staalplaten. De worden dan besteld bij een walserij. Hier worden de bestelde platen in de gevraagde afmetingen geproduceerd.

Nadat de staalplaten bij de constructiewerkplaats zijn aangekomen worden ze eerst met behulp van snijbranden

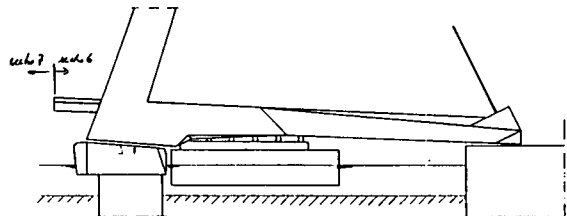
in de gewenste vorm gebracht. Vervolgens worden al deze losse onderdelen samengebouwd tot grotere delen. Deze worden tot nog grotere secties geassembleerd.

Montage

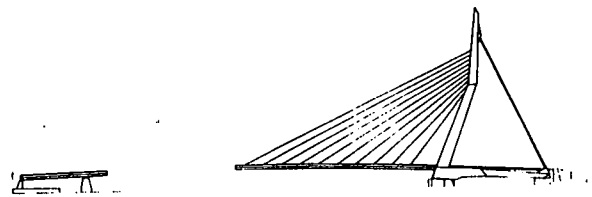
Op de montage worden de in de fabriek gemaakte secties tot een geheel samengebouwd. Afhankelijk van de mogelijkheden van het bedrijf kan de grootte van de te fabriceren secties sterk variëren. Indien, zoals in Nederland meestal gebruikelijk, het fabricerende bedrijf aan het water is gelegen kunnen deze delen zeer groot en zwaar zijn. Een goed voorbeeld hiervan is de tweede van Brienoordbrug, deze is in zijn geheel aangevoerd. Voor de Erasmusbrug is gekozen voor een montage waarbij in de fabriek de achteroverspanning en de pyloon wordt gefabriceerd. De rivieroverspanning wordt in de werkplaats tot lengten van 15 m geassembleerd. Pyloon en achterligger worden vervolgens naar het Caandkanaal in het Europoortgebied gebracht. Daar wordt de pyloon op de achterligger geplaatst en vastgelast. Door de grote massa (1800 ton) van de pyloon is dit beslist geen eenvoudige opgave. Alleen het zwaarste materieel is geschikt voor deze operatie. Aangezien de aannemer, Grootint een deel vormt van het Heeremaconcern kan zij dankbaar gebruik maken van het hijsmaterieel dat deze ten behoeve van de off-shore activiteiten bezit. In dit geval zal naar alle waarschijnlijkheid gebruik worden gemaakt van het hefschip DB 102 dat een hefcapaciteit heeft van circa 100 MN en een hijshoogte van ongeveer 150 m. Vooral dit laatste is van doorslaggevend belang geweest bij de keuze; de pyloon heeft immers een hoogte van 139 m¹.



RIVAREN EN AFZINKEN
ACHTERLIGGER EN PYLOON



Afbeelding 13: plaatsen achterligger met pyloon

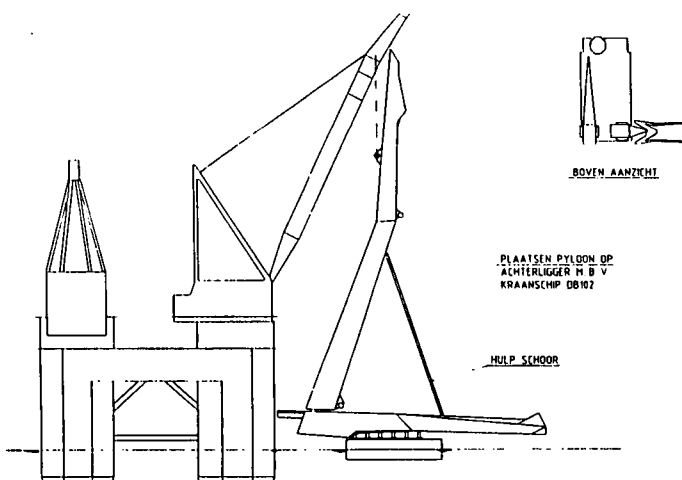


Afbeelding 14: uitbouw brugligger

Vervolgens wordt een sectie met een lengte van 15 m¹ aangevoerd aan de brug bevestigd. Eerst wordt de volledige verbinding tussen deze sectie en de achterligger gelast. Daarna worden de tuen waarmee dit deel aan de pyloon is opgehangen aangebracht. Hierna kan de volgende sectie aangevoerd, vastgemaakt en gelast worden, waarna ook de tuen van dit deel kunnen worden aangebracht.

Deze wijze van monteren staat bekend als vrije uitbouw. Deze cyclus wordt herhaald tot de laatste sectie en tuen aangebracht zijn.

De brug is dan nog niet gereed. Aan de noordzijde ontbreekt nog een deel. Dit deel, bestaande uit de noordelijke overspanning en een uitkringend deel wordt in zijn totaal aangevoerd en op de desbetreffende pijlers geplaatst. Wat dan nog rest is de verbinding tussen dit deel en het uitgebouwde deel. Door verschillen in temperatuur zal de spleet tussen de beide delen regelmatig veranderen. Bij het koppelen van delen moet daar dan ook terdege rekening mee worden gehouden. Daarom zal dit koppelen bij voorkeur geschieden in een periode dat de omgevingstemperatuur weinig varieert, dus bij voorkeur 's nachts. Zodra er gekoppeld is moeten de beide bruggen zich als een geheel kunnen gedragen. De uitzetting en verkorting zullen dan aan de noordzijde plaats vinden.



BOVEN AANZICHT

PLAATSEN PYLOON OP
ACHTERLIGGER N B V
KRAANSCHIP DB102

HULP-SCHOOR

Afbeelding 12: montage pyloon

De complete pyloon en achterligger worden daarna naar hun definitieve bestemming gevaren. Door de ponton waarop zij zich bevinden te laten zakken (hetzij door ballasten of met laagwater), wordt het geheel op zijn plaats gezet.

Stand van zaken

Nadat in het voorjaar van 1993 de aanbesteding heeft plaats gevonden en daarna het werk gegund is aan de laagste inschrijver, is de voorbereiding van de werkzaamheden gestart. In september 1993 zijn de werkzaamheden officieel gestart.

Eind 1993 is de fabricage in de fabriek aangevangen.

Begin 1995 zal de pyloon op de achterligger worden geplaatst en op de pijlers worden geplaatst. In de rest van dat jaar zal de brug verder worden uitgebouwd.

Medio 1996 zal de brug worden geopend voor het verkeer.

Besluit

De vormgeving van een kunstwerk in de klassieke zin van het woord (in het frans "ouvrages d'art " = iets kunstmatig, door mensenhanden gemaakt) is op zich ook kunst.

In het totale proces gezien is dit echter slechts het, weliswaar zichtbare, topje van de ijsberg. Alles wat zich onzichtbaar onder water bevindt vormt het draagvlak voor het zichtbare.

Achter de frontpijpen van het orgel....

J. Oomkes



Voor de jaartelling al lieten keizers en andere vorsten zich vermaken met orgelmuziek. In de middeleeuwen namen monniken het orgel in gebruik ten behoeve van hun zangonderwijs en bereidden daarmee de weg voor de kerkelijke functie. Toen zich in de 18e eeuw naast de kerk en het hof een nieuw muziekpodium ontwikkelde in de vorm van concertzaal kreeg ze ook daar een (bescheiden) plaats.

Eerste verkenning

Evenals andere instrumenten stelt een orgel ('werktuig') de speler in staat om op gezette tijden bepaalde geluiden te maken (kunst!).

Het geluid ontstaat als gestuwde lucht (organisten: 'wind') door één of meer pijpen stroomt. De veelzijdigheid van het orgel komt voort uit de grote diversiteit aan klanken die verschillende pijpen afzonderlijk en combinaties van verschillende pijpen kunnen voortbrengen .

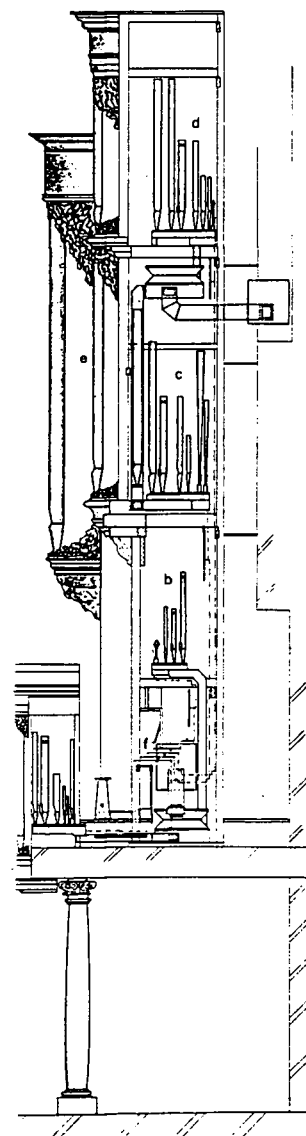
In het orgel zijn alle pijpen op 2 manieren geordend en moeten door de speler ook 2 keer worden geselecteerd:

1. op klankkleur (timbre), oftewel de karakteristieke boventonen, bepaald door het materiaal, soort pijp, pijpvorm en mensuur;
2. op frequentie van de grondtoon, bepaald door de pijplengte;

Deze indeling is zichtbaar in:

- de opstelling van de pijpen: in de breedte varieert alleen de lengte van de pijpen (toonhoogte, toets), in de diepte varieert de vorm van de pijp. De pijpen staan dus in registerrijen parallel aan de muur.
- de indeling van de speeltafel: klaviertoetsen die corresponderen met de toonhoogte, en daarboven de registerknoppen (timbre).

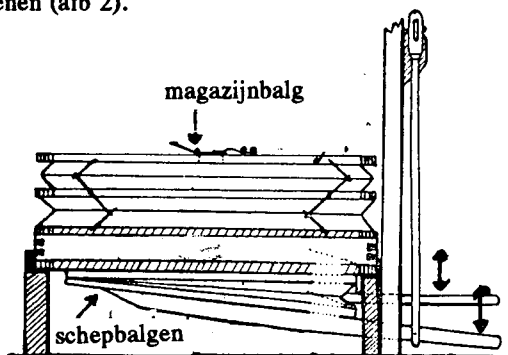
Grotere orgels bestaan uit afzonderlijke 'werken'. Ieder werk is een zelfstandig en compleet orgeltje met eigen pijpen, registers en toetsenbord (afb 1). Het is mogelijk om bij de speeltafel de toetsen te koppelen zodat het werk ook op ander klavier kan worden bespeeld.



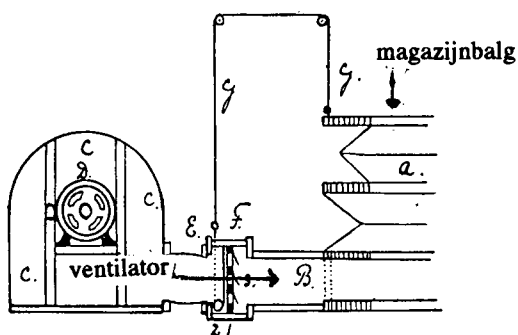
Afb.1: dwarsdoorsnede van een orgel met vier manualen en pedaal. Men bemerkt duidelijk de verticale opstelling: a. rugpositief; b. borstwerk; c. hoofdwerk; d. bovenwerk; e. pedaal; f. klaviatuur.

Lucht wordt wind

Tot in de vorige eeuw werd de benodigde wind verkregen door 'calcanten' (balgentreders) schepbalgen te laten bedienen (afb 2).



Tegenwoordig voorziet een elektrisch aangedreven ventilator hierin (afb 3).

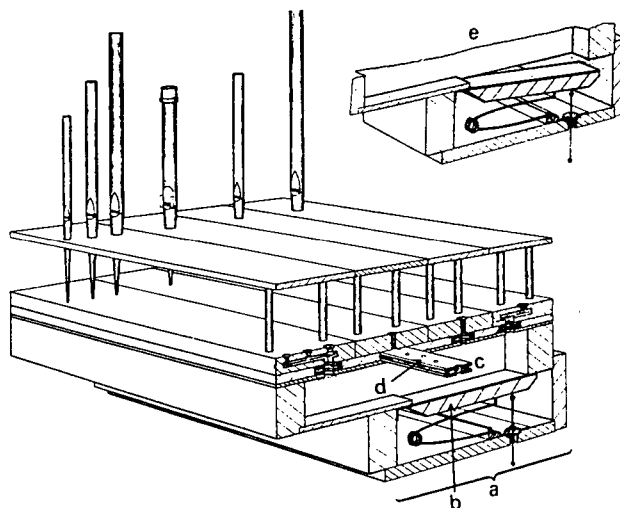


Om een egale en zuivere toon te krijgen moeten windvraag en -aanbod goed op elkaar afgestemd zijn. Omdat tijdens het spelen de windvraag voortdurend varieert wordt er een voorraad aangelegd in een magazijnbalg (soort drukvat). De winddruk wordt bepaald door het bovenblad van de balg van voldoende gewicht te voorzien (vaak stenen).

De aansluiting van de ventilator (c) op de balg (a) is van leer om te voorkomen dat motortrillingen worden doorgegeven. De mate van luchtinstroom wordt geregeld door de magazijnbalg middels een rol Gordijntje in de luchtsluis: bij geringe windvraag wordt de balg groter en het rol Gordijntje afgerold (dankzij staaldraad g), bij toenemende vraag zakt de balg en gaat het rol Gordijntje open.

Wind wordt verdeeld

Via vierkante houten kanalen bereikt de wind één of meerdere platte houten kasten ('lade') waar de pijpen op staan (afb 4). De lade bestaat uit 2 lagen, waarvan de onderste slechts een groot vak is waarin de aangevoerde lucht zich verzamelt. De bovenzijde van dit vak bestaat uit repen hout die naar onderen kunnen scharnieren, 'ventielen' (afb 4e). Ieder ventiel is verbonden met een toets (plm. 54), en voorzien van een veer zodat ze in ruststand gesloten is. Als een toets wordt ingedrukt, wordt het ventiel geopend en stroomt de lucht door naar de bovenstaande laag van de lade. Selectie op toonhoogte.



Afb.4: a. ventiel- of windkast; b. speelventiel; c. cancel; d. de geopende sleep; e. geopend ventiel

De 2e laag is door middel van verticale tussenschotjes ingedeeld in evenveel kamertjes ('cancellen') als er ventielen (en toetsen) zijn. De bovenzijde van ieder kamertje heeft meerdere gaten waar de lucht door kan uitstromen. Deze gaten komen ook voor in de er boven liggende 'slepen': lange, smalle houten latten. De lengterichting van de slepen staat haaks op die van de onderliggende kamertjes. De slepen zijn stuk voor stuk verbonden met een registerknop bij de speeltafel en kunnen enkele centimeters in de lengterichting worden verschoven zodat de wind al of niet kan doorstromen naar de bovenstaande pijpfamilie (register).

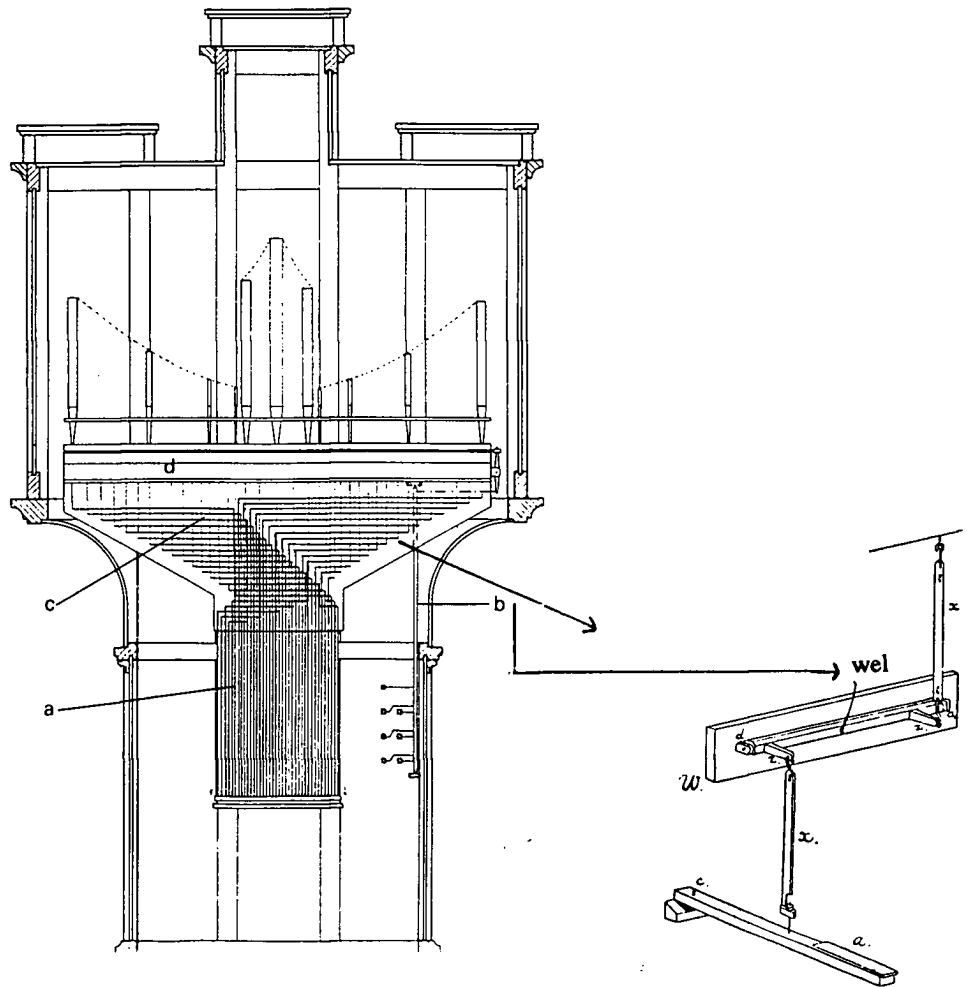
Een goed functionerende windlade is een technisch hoogstandje: het geheel moet perfect winddicht (m.b.v.leer) en drukbestendig zijn, en de inwendige bewegende delen (ventielen) worden van buitenaf bediend waarbij de wrijving zeer gering en onderling gelijk dient te zijn.

De verbindingen tussen de toetsen/ventielen en registerknoppen/slepen zijn mechanisch, pneumatisch of elektro-pneumatisch. In afbeelding 5 is weergegeven hoe mechanische verbindingen hun weg vinden van de speeltafel naar de ventielen en slepen. Letter c duidt op het 'wellenbord', (wel=golf) een grote trekvrije plaat waarop verticale verbindingen worden omgezet in horizontale en vervolgens weer verticale om het breedteverschil tussen toetsenbord en windlade (ventielen) te overbruggen. De kwaliteit van het mechaniek (wrijving) is zeer bepalend voor de speelaard van het instrument.

Wind wordt toon

De meest bekende pijpen zijn de labialen' (labium=lip), de 'omgekeerde blokfluit zonder gaatjes' (afb 6 t/m 10). De lucht bereikt via de conische pijpvoet een nauwe opening ('kernspleet') en wordt tegen de scherpe rand (lip) geduwd, zodat er een bepaalde trilling (toon)

Afb.5



Afb.6: Prestant 4'



Afb.7: Holpijp 8'



Afb.8: Gemshoorn 2'



Afb.9: Houten Gedekt 8'



Afb.:10: Roerfluit 8'



Afb.11: Trompet 4'
(uit de stevel genomen)



Afb.12: Dulciaan 8'



Afb.13: Vox Humana 8'



ontstaat. De lengte van het pijplichaam (boven het labium) bepaalt de toonhoogte. Als het een open pijp betreft ontstaat er als grondtoon een staande golf buik-buik, als de pijp aan de bovenzijde is afgedekt (met 'hoed') wordt de toon een octaaf lager vanwege buik-knoop. Orgelbouwers maken gretig gebruik van dit verschijnsel want het is een directe kosten- en ruimtebesparing. De labialen worden gestemd door de pijplengte te variëren (diverse mogelijkheden).

Daarnaast zijn er 'lingualen', in de volksmond 'tongwerken' (afb 11 t/m 13). In dit type pijp brengt de aangevoerde wind een koperen tong in trilling waardoor een toon ontstaat die vervolgens wordt versterkt en gekleurd door de er op staande 'beker'. Zowel de toonvorming als de klankkleur komt overeen met die van een klarinet en saxofoon (nasaal). Door met een verschuifbare klem het 'vaste' einde van de tong te verplaatsen wordt de lengte van de tong gewijzigd en zodoende de toonhoogte aangepast. Ten opzichte van de labialen leveren tongwerken een groot volume bij gering windverbruik. Het volume neemt echter af naarmate de toon hoger wordt, en echt hoge tonen zijn alleen voor labialen weggelegd.

Kleuren en mengkleuren

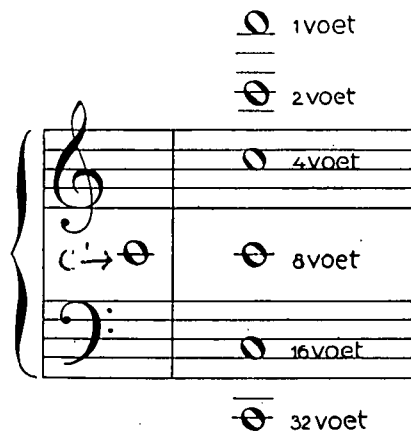
Een register is een reeks pijpen met dezelfde klankkleur.

Die klankkleur wordt bepaald door de mate waarin welke boventonen voorkomen, en hierbij speelt het materiaal (hout en/of metaal), de vorm van de pijp (cilindrisch, conisch, trechtervormig) en de mensuur (breedte in verhouding tot lengte) een grote rol.

Enkele voorbeelden:

- * een fluitregister is grondtoniger dan een prestant omdat de pijp in verhouding breder, wijder is (beide cilindrisch);
- * een conische pijp (afb. 8) is boventoonrijker dan een cilindrische;
- * in de hoed van een roerfluit (afb.10) is een luchtdoorlatend buisje aangebracht waardoor de 5e boventoon (terts) de totaalklank meer helderheid verschaft (duits Das Rohr=buis);
- * Een quintadeen is een gedekte pijp, relatief smal (eng), die veel wind krijgt zodat de grondtoon zwak wordt en dreigt over te slaan naar de derde harmonische (gedekt!); het duodecime, oftewel octaaf + quint.
- * helaas biedt een gesloten pijp (klinkt octaaf lager) voor half geld niet de kwaliteit van een open: in het geluid van een open pijp kunnen alle boventonen voorkomen, in een gesloten slechts de oneven.

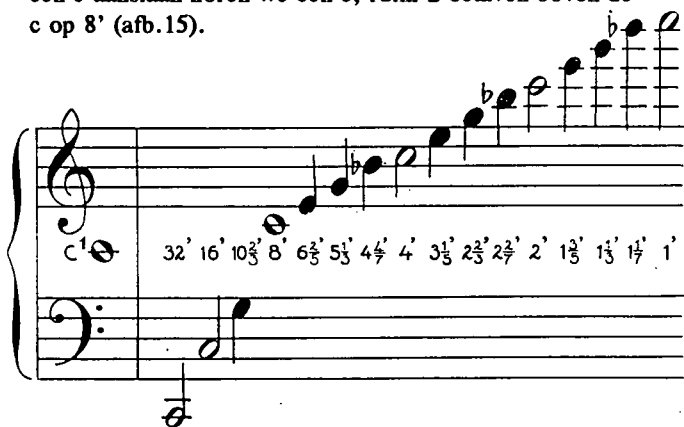
Naast een naam heeft een register ook een cijfer. Om tot een goede klankopbouw te kunnen komen geeft één en dezelfde toets bij verschillende registers een andere toonhoogte. Uitgaande van de toets a' krijgen we bij een 8'-register een grondtoon van 440 Hz ('normaal'). Dezelfde toets geeft gecombineerd met een 16'-register 220 Hz (octaaf lager), met een 4' 880 Hz, een 2' 1760', een 1' 3520 Hz. Eén toets kan zodoende een breed klankspectrum ten gehore brengen (afb.14).



Afb.14: klinkende tonen bij gekozen voethoogte op toets c'

De registercijfers 16, 8, 4, 2 enz. zijn afgeleid van de lengte (eenheid voet) van de langste pijp, waarbij verondersteld wordt dat het een open, cilindrische pijp betreft. De langste pijp van een (open) Prestant 8' is dus 8 voeten lang, plm. 2.40 meter. Een subbas 16' (octaaf lager) zou een lengte van 4.80 m doen verwachten, maar de pijp is gedekt en heeft aan 2.40 m genoeg. Een konische open pijp klinkt lager dan een evenlange cilindrische. De langste pijp van een open konische 8' is dan ook slechts 2.25 m.

Maar hoe klinkt de Quint $2 \frac{2}{3}$ ' ?? Het systeem werkt als volgt: $2 \frac{2}{3} = \frac{8}{3}$ en duidt op de derde (noemer) harmonische van de 8'(teller). Als we dus als we een c aanslaan horen we een g, anderhalf octaaf boven de c op 8'. De terts $1 \frac{3}{5}$ ' (=8/5) laat de 5e harmonische horen, als we een c aanslaan horen we een e, ruim 2 octaven boven de c op 8' (afb.15).



Onvolkomen

Uit de boventoonreeks van een willekeurige toon (c in afb. 16) kunnen we de frequentieverhoudingen van intervallen afleiden. Al voor de jaartelling bleek dat de natuur



Afb.16: boventoonreeks op C

ons in de steek laat als we zoeken naar een volkomen sluitend systeem. Een eenvoudig proefje in de klas: Laat een toongenerator een 'prettige' toon produceren (tussen 300 en 500 Hz). Neem deze toon over met een 2e generator, en zoek met een 3e de reine (zuivere) eerstbovenliggende quint, $\frac{3}{2}$ * beginfrequentie (kan met ieder oor). Zoek vervolgens met generator 2 de reine quint boven de verkregen toon. Maak dan met 3 een toon die een octaaf onder 2 klinkt. Herhaal deze procedure 5 keer, en ga tenslotte nog één keer een octaaf omlaag. In totaal dus 12 quinten naar boven en 7 octaven omlaag. Vergelijk de eindtoon met de begintoon.

Klaarblijkelijk overspannen 12 reine quinten een grotere afstand dan 7 reine octaven. Pythagoras ontdekte dit verschil waarvan de frequentieverhouding 524288:531441 (24 cents) bedraagt.

Muziektechnisch gezien zijn de tonen ook niet gelijk: stel de begintoon is een a, dan is de eindtoon een gisis. Voor muzikanten die zelf de toonhoogte bepalen (zangers, violisten) is dit geen probleem: hun gisis is ook werkelijk hoger dan een a, maar toetsinstrumenten hebben slechts één en dezelfde toets voor beide tonen.

Het zal duidelijk zijn dat bovenstaande 'pythagoreïsche komma' verstrekkende gevolgen heeft voor de algehele stemming van een toetsinstrument, een bepaald interval kan niet rein worden gestemd zonder een ander te benadeln. Tot in de 17e eeuw waren er diverse karakteristieke stemmingen (zie tabel), men koos de bij de te spelen muziek meest reine stemming en accepteerde de onzuivere intervallen (afb 16). In de 17e eeuw ontstond de nu gebruikelijke 'gelijkzwevende temperatuur' waarbij de komma van Pythagoras evenredig is verdeeld over alle intervallen (enigszins vals) behalve de octaven (volledig rein).

Stemming

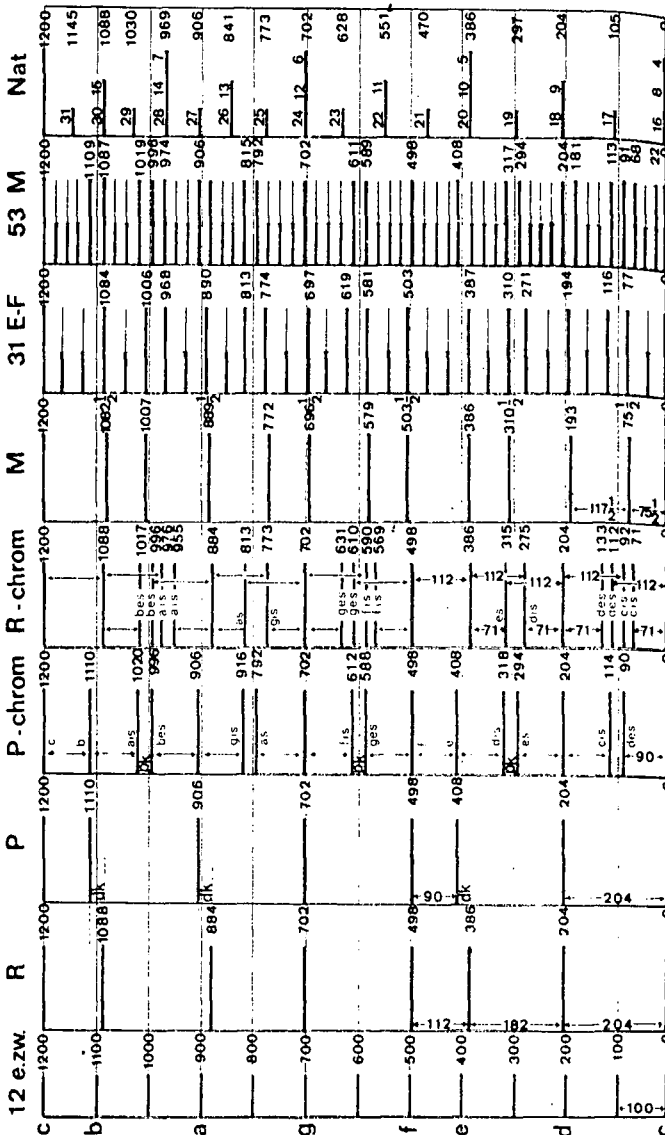


Fig. 157. Stemming. Een vergelijking tussen een negental belangrijke stemmingsystemen. Uiterst links de namen van de stamtonen. Alle getallen geven de waarden in Δ cents

menten de enige handige methode: e, a en b wijken belangrijk af (14, 16 en 12 cents te laag), maar de kwart en kwint (f, g) zijn met slechts 2 cents verschil 'zuiver'.

Kolom 2 (R): de reine stemming; maakt gebruik van zoveel mogelijk reine tonen (= boventonen; vergelijk de laatste kolom): d, e, g en b zijn volmaakt zuiver; ook de f (de f is echter geen boventoon; de f is derhalve dissonant - oude naam: 'quarta dissonans'! -; maar een dissonant kan daarom wel 'zuiver' gestemd worden...); een probleem is de toon a; stemt men hem 'natuurzuiver' dan krijgt hij 906 cents en is dan onzuiver (hinderlijk onzuiver) t.o.v. de toon e; stemt men hem zuiver t.o.v. e dan krijgt hij 884 cents, is dan niet langer 'natuurzuiver' en is (hinderlijk) veel te laag t.o.v. d. In de praktijk komt het erop neer dat men de a nu eens hoog en dan weer laag intoneert; in de tabel is de meest voorkomende, lage, intonatie weergegeven.

Kolom 3 (P): de stemming van Pythagoras; alle grote secundes gestemd als Δ grote hele tonen. Het onderscheid tussen de grote hele toon (204 cents) en de kleine hele toon (182 cents) dat de reine stemming kent wordt hier niet erkend. Het gevolg is dat slechts twee tonen echt zuiver zijn (d en g); de overige tonen zijn vaak belangrijk te hoog. Het verschil tussen e-rein en e-pythagoreisch noemt men het Didymische komma (komma = klein interval); in de tabel aangegeven met dk. Een belangrijk voordeel van deze stemming is het bestaan van slechts twee secundes: de hele toon (8:9 = 204 cents) en de halve toon (243:256 = 90 cents); een bezwaar daarentegen is weer de onstembaar ingewikkelde intervalverhouding van die halve-toonsafstand!

Kolom 4 (P-chrom): het Pythagoreïsche stemmsysteem uitgebreid met de voornaamste chromatische halve toonsafstanden; er ontstaat een overzichtelijk geheel, waarbij de enharmonisch gelijke tonen steeds 24 cents verschillen; dit interval heet het komma van Pythagoras (524.288:531.441 = 23,5 cents), op de tabel aangegeven met pk; let erop dat de verhogingen van de stamtonen hier hoger klinken dan de verlagingen binnen datzelfde toengebied!

Kolom 5 (R-chrom): wanneer nu binnen het minder schematische stemmsysteem van de reine stemming chromatiek wordt toegepast, ontstaat een zeer ingewikkelde situatie. Op de tabel is een deel weergegeven van wat er aan toonmateriaal te voorschijn komt! Zoals dit systeem twee hele toonsafstanden kent, kent het ook twee halve toonsafstanden, beide ontleend aan de natuurtonenreeks; het zijn de grote halve toon (15:16 = bijna 112 cents) en de kleine halve toon (24:25 = bijna 71 cents); samen vormen deze de kleine hele toon (bijna 112 cents + bijna 71 cents = 182 cents). Deze enharmonisch gelijke tonen verschillen hier maar liefst 40 cents (de zgn. kleine diesis); bovendien zien we - in tegenstelling tot de chromatiek bij Pythagoras! - binnen het

zelfde toengebied hier de verhoogde stamtoon lager klinken dan de verlaging! En dan: binnen de grote hele toon is de situatie wezenlijk veel ingewikkelder: het probleem dat zich in de diatoniek voordoet met alleen de toon a (zie commentaar bij kolom 2) herhaalt zich hier met de tonen cis, des, fis, ges, ais en bes (en, ringt of speelt men de a hoog (906 cents) dan ook weer met de tonen gis en as - op de tabel niet ingetekend). Toch wordt dit intens ingewikkelde stemmsysteem in de praktijk tot op de dag van vandaag toegepast - niet op toetsinstrumenten, wel in de (goede, zuivere) koorzang, in de (strijk-)orkestmuziek e.v.a. Kolom 6 (M): voor toetsinstrumenten zocht men eeuwenlang naar een eenvoudige oplossing (ingewikkelde oplossingen te over: zie de ill. bij 'Mersenne'). Een ervan is deze - een zgn. middentoonstemming. Men stemde de grote tertis zuiver (386 cents), nam de secunde daar tussenin (193) en verdeelde de overige intervallen zo dat met een minimum aan afstanden, een maximale benadering van de ideale zuiverheid verkregen werd. Maar in het hier afgebeelde systeem is de gis/as bijna een derde deel van de kleine secunde te laag! (772).

Kolom 7 (31 E-F): Euler stelde een verdeling van het octaaf in 31 gelijke delen voor (31-toonsorgel). Niet van alle 31 tonen werden in de tabel centiswaarden opgenomen (afstand tussen twee elkaar in hoogte opvolgende tonen, 1200:31 = 38,7 cents). Alleen van die tonen waarvan de vergelijking met de voorgaande kolommen interessant materiaal geven, werden de strepen doorgetrokken en de centiswaarden vermeld. De zuiverheid van de (natuurlijke) grote tertis is opvallend. Maar de (grote) hele toon laat ernstig verstek gaan - ernstig is vooral dat de kwint, waaraan namelijk onzuiverheid wel erg snel is waar te nemen, de 'boot mist', alleen de getekende middentoonstemming maakte het nog wat bonter. Geweldig is echter weer de fraaie benadering van de natuurlijke kleine septiem (zevende harmonische, 968 cents in het systeem van Euler, 969 in de vrije natuur!).

Kolom 8 (53 M) Mercator bepleitte een verdeling van het octaaf in 53 komma's van elk 22,64 cents - daarmee is een voor alle tonen bevredigende stemming realiseerbaar - maar men moet niet denken aan de klaviatuur voor zo'n stemming!

Kolom 9 (Nat) geldt de natuurtonen van 4 (in 31) in cents; de rangnummers van deze natuurtonen staan links, de centis-waarden rechts.

Voor de gehele tabel geldt: ten gevolge van afrondingen kunnen steeds kleine verschillen ontstaan zijn, bij het sommeren van bepaalde intervallen treden die aan het licht; op het opvallendste verschil (71 - 112 = 182) werd reeds gewezen in het commentaar bij kolom 5.

Stemming

Lichtkunst/kunstlicht

P. Struycken



Kleur maakt de zichtbare wereld voor ons toegankelijk. Kleur die bij iedere oogopslag overal en altijd in onze alledaagse werkelijkheid te zien is.

Kleur maakt verandering waarneembaar. Niet alleen veranderingen van de kleur zelf, maar ook die van haar schijn gestalten: vorm en beweging. Immers, wat geen kleur heeft is niet te zien.

Onder kleur versta ik hier de kleinst zichtbare eenheid van kleur: een punt in de ruimte. Overal om ons heen zien we die punten versmolten tot grotere gehelen; als steentjes in een gigantisch, genuanceerd, ruimtelijk mozaïek.

Toch zijn er, ondanks de miljoenen kleuren die we kunnen onderscheiden, maar twee wezenlijk verschillende betrekkingen daartussen: kleuren stemmen overeen of ze verschillen. Als kleuren verschillen, dan zien we op de plaats van het kleurverschil een grens. Afhankelijk van de ruimtelijke context interpreteren we die grens als een contour van een twee of drie-dimensionale figuur. Zo zien we vorm.

Als kleuren overeenkomen, dus gelijk zijn of nuances van elkaar, dan zetten ze zich grenzeloos voort. Zo krijgt een vorm zijn afmeting.

Alweer afhankelijk van de ruimtelijke context, herkennen we in die afmeting een vlak of een volume.

Verandering en beweging ontstaan op soortgelijke wijze. Bij beweging is sprake van verplaatsing van kleur in de ruimte. Bij verandering krijgt kleur ter plaatse een andere gedaante.

Mij boeien deze werkingen van kleur in ruimte en tijd. Vooral om de onwaarschijnlijke afwisseling waarin ze voorkomen in onze alledaagse omgeving. Een willekeurige oogopslag vat duizenden van die werkingen samen. Een weelde die de chaos nadert.

In mijn werk zoek ik naar maatregelen die kleuren ordenen en veranderen zodat iets van die luister, die in ruimte en tijd steeds wisselende werking van kleur, gestalte krijgt. Veelheid, verscheidenheid, wisselwerking en verandering van kleur moeten dan beheersbaar worden en tot

voorstellingen gevormd. Orde geeft daaraan helderheid, afwisseling geeft vertier. Samen bepalen ze het karakter van een visueel beeld. Een beeld dat dus feitelijk neerkomt op een verzameling kleuren. Kleuren die in ruimte en tijd hun gedaante en onderlinge afstemming krijgen. Het geheel van die afstemming en verandering is het resultaat van de gekozen ordening; van de structuur. Bij het ontwerpen van een kleurstructuur gaat het mij uitsluitend om haar visuele eigenschappen en hecht ik geen waarde aan de metafysica van de betrokken kleuren. Ik hecht aan geen betekenis van kleur vooraf, noch aan haar symboliek, associaties of psychologie. Ik heb zelfs geen voorkeur voor enige kleur. Met andere woorden, ik voel mij aangesproken door de zinnelijke werking van alle kleuren en niet door de bovenzinnelijkheid van een uitverkoren groep. Ik kies niet. Voor mij zijn kleuren waardenvrij. Ik heb aan hun gedaante en verschil genoeg. Veelheid, verscheidenheid, wisselwerking en verandering bepalen het wezen van de kleur. Daarvoor een passende structuur te vinden in ruimte en tijd zie ik als een opgave voor mij als beeldend kunstenaar. Een opgave die ik als even uitzichtloos als stimulerend ervaar. Uitzichtloos door haar graad van moeilijkheid, stimulerend omdat iedere poging om haar op te lossen beloond wordt met visuele beelden die mijn verwachting overtreffen.

Ordenen van kleuren om greep te krijgen op haar onbeperkte veelheid is zo oud als het gebruik ervan. In de oudheid en middeleeuwen gebeurde dit door aan afzonderlijke kleuren, een uitverkoren groep, speciale betekenis toe te kennen. Tegen het einde van de 16e eeuw, geïnspireerd door de klank-harmonieën van Pythagoras, ontstonden in Italië, de een-dimensionale ordeningen van kleur. Newton, rond 1700, formuleerde met zijn kleurencirkel de twee-dimensionale ordening. In 1772 geeft de filosoof en natuurkundige Lambert een eerste aanzet tot het ruimtelijk ordenen van kleuren. Maar het is de kunstenaar Runge die in 1806 als eerste een bolvormige kleurruimte construeert waarin, in principe, alle kleuren in alle intensiteiten en helderheden hun plaats hebben. Sinds Runge, zijn tientallen verschillende oplossingen voor het ordenen

van kleuren bedacht; drie-dimensionale modellen met daarin alle kleuren in een vaste orde.

De meest kenmerkende eigenschap van alle bestaande kleurruimten is dat de kleuren in alle richtingen met kleine stapjes in elkaar overgaan. De consequentie hiervan is dat overeenkomstige kleuren, ruimtelijk gezien, dicht bij elkaar liggen en dat ze, naarmate ze meer van elkaar verschillen ook verder van elkaar verwijderd zijn. Bij het ontwerpen van mijn eigen kleurruimten, sinds begin jaren '80, bind ik mij niet aan het functionele karakter van de bestaande kleurruimten. Daarin komen immers de gebruikte kleuren maar eenmaal voor; in vaste volgorde, onveranderlijk en besloten binnen een beperkte ruimte. Voor het scheppen van een kleurbeeld van de alledaagse wereld is die orde te rigide. Daarom komen in mijn kleurruimten dezelfde kleuren vaker voor en zonder vaste plaats. Het aantal mogelijke ordeningen wordt hierdoor onbeperkt en is er geen grens aan de omvang van de ruimten. Daarbij ontwikkelt de kleur zich als proces waardoor die ruimten ook nog permanent in tijd veranderen.

De structuur van mijn kleurruimten is als volgt: Ik gebruik drie kleuren, rood, groen en blauw; de primaire lichtkleuren. De intensiteiten van ieder van die kleuren laat ik periodisch verlopen tussen haar minimale waarde; zwart; en haar maximale waarde; de hoogste kleurintensiteit. De intensiteiten variëren voor ieder van de drie kleuren in een verschillend tempo, over een verschillende afstand en in een verschillende richting in de ruimte die zich onbegrensd voortzet. Maar op ieder punt in de ruimte, vastgelegd met behulp van de x-, y- en z-coördinaten, vind ik een intensiteit voor rood, voor groen en voor blauw. Tezamen vormen ze de mengkleur op dat ruimtepunt.

In een kleurruimte waarin de kleuren procesmatig veranderen en hun intensiteit wordt gemoduleerd door lopende golven, veranderen het rood-, groen- en blauw voortdurend. En als gevolg daarvan de mengkleur op ieder ruimtepunt. Zo wordt de structuur van de veranderende kleurgradaties bepaald als functie van ruimte en tijd.

In de op deze wijze massief met kleuren gevulde, onbegrensde ruimte, kunnen zowel twee- als drie-dimensionale objecten, bijvoorbeeld een blad papier of een gebouw worden geprojecteerd. Ieder kleurpunt uit de kleurruimte dat samenvalt met het twee- of drie-dimensionale object geeft daaraan zijn kleur.

In het geval van een dynamische kleurruimte, veranderen de kleuren in de tijd. Toegepast in architectuur, zou een dergelijke dynamische lichtstructuur de ruimten voortdurend anders kleuren. In feite gebeurt dit, zij het natuurlijk met veel minder spectaculaire kleurveranderingen, ook onder invloed van daglicht. Het wisselende en verlopende karakter van daglicht verleent een levendigheid aan ruimten die door geen statisch kunstlicht is te evenaren. Wat

wij bij de veranderende daglichtverlichting in feite zien is dat de pigmentgekleurde wanden van een ruimte veranderen onder invloed van de veranderende lichtintensiteit, schaduw en de veranderende lichtkleur. Maar ook met dynamisch kunstlicht kan men deze kwaliteit bereiken. Veranderende kleur ontstaat dan door van kleur veranderende lichtbronnen.

Het bepalen van dynamisch veranderende kleurruimten voor kunst, architectuur en theater was voor de komst van de computer niet mogelijk. Dankzij de computer kunnen miljoenen kleuren in een ruimtelijk verband geordend worden en programmatisch gemanipuleerd. Voor ieder werk dat ik maak gebeurt dat opnieuw en verschillend. Voor ieder werk wordt een kleurruimte dus opnieuw gedefinieerd; wordt opnieuw een structuur gekozen en berekend. De reden hiervoor is, dat de gewenste afwisseling en nuancering van kleuren voor ieder werk verschillend is. Het gaat soms om drie-dimensionale werken, soms om twee-dimensionale en al of niet in de tijd veranderend.

Om maar een voorbeeld te noemen: het spreekt vanzelf dat een twee-dimensionaal fotowerk dat ik als een fragment van kleurruimte vastleg met een miljoen kleurpunten om een andere nuancering en inrichting van de kleurruimte vraagt dan een werk waarvoor maar 48 kleuren nodig zijn. Zo geven nuancering en aantal kleuren die voor een werk gewent is, aanleiding tot een verschillende structurering van de kleurruimte en kies ik uit de oneindige mogelijkheden die liggen tussen de eenkleurige repetitieve en de veelkleurige, chaotisch gestructureerde ruimte.

Zoals ik al zei, streef ik in mijn werk naar visuele afwisseling en nuancering. Ik beoog daarmee steeds dichter te naderen tot wat mij in de alledaagse werkelijkheid het meest aanspreekt en bekoort: de op iedere plaats en op ieder tijdstip waarneembare, steeds wisselende werking van kleuren.

Om deze afwisseling praktisch te realiseren, probeer ik de structurele variatie binnen mijn kleurruimten steeds uit te breiden en op te voeren. Ook hiervoor is de computer onontbeerlijk. Maar het gebruik van een computer heeft naast het beheersbaar maken van gevarieerde kleurstructuren nog een interessante consequentie.

Zoals U weet, moeten alle voorwaarden voor de kleurverhoudingen en veranderingen in de kleurruimte, in de vorm van een programma, logisch gedefinieerd zijn. De computer doet tenslotte niets zonder opdracht. Als gevolg van die logische vorm bereken ik, wanneer ik ook maar het programma draai, altijd weer opnieuw een kleurruimte met precies dezelfde eigenschappen en met dus dezelfde kleurvariatie en afwisseling. En omdat de ruimte onbegrensd uitgebreid is en onbeperkt in de tijd varieert, hoeft daarin ook nooit op dezelfde plaats en op hetzelfde tijdstip gekeken te worden om de kleureigenschappen van die ruimte te kunnen zien.

Want, overal en altijd zijn de beelden representatief voor de gedefinieerde kleurstructuur. De beelden zijn in structureel opzicht, dus op het logische programma niveau, identiek. Maar in visueel opzicht, in hun werking, dus in de uitkomsten van het programma, zijn ze verschillend. Hetzelfde programma, dus dezelfde structuur, geeft op verschillende plaatsen in de ruimte en op verschillende tijdstippen een wisselend kleurbeeld.

Dat betekent, aangenomen dat ik er in mijn leven in slaag een kleurruimte te bepalen met een zeer grote mate van afwisseling en nuancering die zich ook slechts met behulp van zeer uitgebreide steekproeven laat kennen, dat men nog over honderd jaar beelden uit die kleurruimte zal kunnen oproepen die nog steeds nieuwe, onverwachte en gevarieerde visuele indrukken bevatten. Aansprekende, bekoorlijke en verbijsterende beelden van constante visuele kwaliteit.

Dat klinkt aardig, en dat is ook zo.

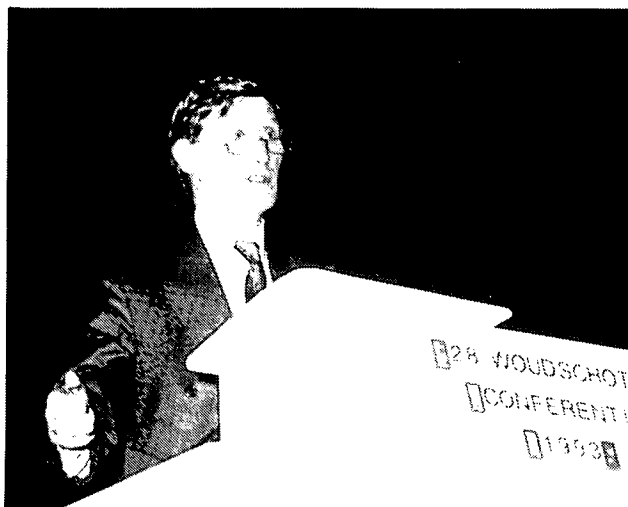
En dan te bedenken dat, hoe uitgebreid en ingewikkeld het gebruik van een kleurruimte ook mag zijn, het in alle gevallen neerkomt op het meer of minder van elkaar laten verschillen van kleuren in ruimte en tijd.

Kleur dat wonder.



Van eenvoud in de natuur tot unificatie in de natuurwetenschap

H.A.M. Snelders



In 1638 verscheen in Leiden bij de uitgeverij Elzevier Galileo Galilei's (1564-1632) *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove Scienze, attenenti alla Meccanica e i movimenti locali* (Gesprekken en mathematische bewijzen over twee nieuwe wetenschappen betrekking hebbende op de mechanica en de lokale beweging). De gesprekken vonden plaats tussen drie personen: Simplicio, die de aristotelianen vertegenwoordigt, Sagredo, de verstandige leek en Salviati, die het standpunt van Galilei presenteert. Het derde gesprek handelt over het probleem van de valwet. Volgens de Griekse filosoof Aristoteles (384-322 v. C.) valt een lichaam naar zijn natuurlijke plaats (het middelpunt van het heelal) en wel evenredig met zijn gewicht en omgekeerd evenredig met de weerstand van het medium waarin het lichaam valt. Uitgaande van de evenredigheid tussen de momentane snelheid en de sedert het begin van de val verstreken tijd, leidde Galilei in zijn boek langs grafische weg de kwadratenwet af. Een van de gesprekspartners, Salviati, besprak daartoe een niet-gepubliceerd manuscript: *De motu [naturaliter] accelerato* (Over de natuurlijk versnelde beweging), afkomstig uit de laatste tijd van Galilei's hoogleraarschap in Padua (1592-1612). De schrijver van het manuscript, Galilei zelf, had zich bij de vraag naar een definitie van de natuurlijk versnelde beweging laten leiden

"door de overtuiging van de gewoonte en de werkwijze van de natuur zelf in al haar andere werken, in de uitvoering waarvan ze gewoonlijk de meest voor de hand liggende eenvoudigste en gemakkelijkste middelen bezigt".¹ Dit beroep op eenvoud in de natuur werd nader gemotiveerd door de opmerking:

"Niemand gelooft dat zwemmen of vliegen gemakkelijker en eenvoudiger zou kunnen geschieden dan op de wijze waarop vissen en vogels door hun natuurlijk instinct geleid, dat doen".

Waarom - aldus vraagt Galilei zich af - wanneer we een steen beschouwen die vanuit de rusttoestand van een bepaalde hoogte valt en successievelijk nieuwe snelheidstoename krijgt

"zou ik niet geloven dat deze toenamen door de eenvoudigste en meest klaarblijkelijke regel tot stand komen?"

Voor Galilei was de meest eenvoudige onderstelling dat, zoals bij de eenparige beweging de afgelegde weg in willekeurige tijden met gelijke bedragen toeneemt, bij de versnelde beweging de snelheid in willekeurig gelijke tijden met gelijke bedragen zal toenemen. Dit uitgangspunt, de evenredigheid tussen afgelegde valsnelheid en de valtijd, waarmee het Galilei lukte de valwet af te leiden, werd dus gemotiveerd met een beroep op een eenvoudsbeginnsel, dat - zoals de geschiedenis van de natuurwetenschappen leert - tal van natuuronderzoekers als leidraad heeft gediend: De natuur doet alles zo eenvoudig mogelijk.

De vraag is natuurlijk hoe Galilei kon uitmaken wat het eenvoudigste in de natuur is. We weten dat hij de valwet al in 1604 kende, toen hij zich bezighield met het bedenken van de wijze waarop de instantane snelheid gedurende de val groeit om die als axioma bij de afleiding van de valwet te kunnen gebruiken. Evenals voor hem de Duitse scholasticus Albert van Saksen (ca 1325 - 1390) had gedaan, nam ook Galilei aan dat de instantane valsnelheid evenredig is met de afgelegde weg. Het lukte hem zelfs, zij het met een door en door valse redenering, hieruit de kwadratenwet af te leiden. Blijkbaar was voor Galilei toen de evenredigheid tussen valsnelheid en valweg de meest voor de hand liggende. Zijn motivatie vinden we in een brief van 16 oktober 1604 aan zijn vriend, de Venetiaanse theoloog en historiograaf Paolo Sarpi (1552-1623):

"Toen ik opnieuw over het onderwerp van de beweging nadacht, waarin mij voor het bewijs van de door mij waargenomen verschijnselen een volkomen onbetwifelbaar principe ontbrak, dat ik als axioma zou kunnen stellen, ben ik tot een bewering gekomen, die zeer natuurlijk en evident is; en wanneer ik deze als onderstelde neem, bewijs ik daarna de rest, namelijk dat de afgelegde wegen in natuurlijke beweging zich verhouden als de kwadraten van de tijden en dat dus de wegen in opvolgende tijden afgelegd, zich verhouden als de oneven getallen, vanaf de

eenheid en de andere dingen. En het principe is dit: dat het vallende lichaam in snelheid toeneemt in dezelfde verhouding, als waarin het zich verwijderd van het uitgangspunt van zijn beweging; [...].²

Eenvoud in de natuur als uitgangspunt voor natuurwetenschappelijk onderzoek is aan tal van voorbeelden uit de wetenschapsgeschiedenis toe te lichten. Isaac Newton (1642-1727) schreef aan het begin van het derde boek van zijn klassieke *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687):

"Natura enim simplex est et rerum causis superfluis non luxuriat"³,

"de natuur is immers eenvoudig en is niet verkwistend met overbodige oorzaken van de dingen". In het begin van de negentiende eeuw kon de Britse fysicus en chemicus John Dalton (1766-1844) uit zijn atoomtheorie de formules van de chemische verbindingen niet afleiden omdat het valentiebegrip nog onbekend was. Analyse van water leert dat 1 gram waterstof zich verbindt met 8 gram zuurstof, waaruit alleen maar volgt dat zuurstof (ten opzichte van waterstof als eenheid) een equivalentgewicht van 8 heeft, niet dat het atoomgewicht 8 bedraagt. Dalton nam daarom zijn toevlucht tot zijn inziens in de natuur voorkomende eenvoudsregels. Is er van een verbinding tussen twee elementen slechts één bekend, dan heeft deze een binaire samenstelling (water = HO; ammoniak = NH). Zijn er twee bekend, dan is de ene binair, de ander ternair (CO en CO₂, NO en NO₂, maar ook SO en SO₂), enzovoorts.

Eenheid in de natuur

Een stap verder dan uit te gaan van eenvoud in de natuur, is de veronderstelling van eenheid in de natuur. We vinden dit al bij de Griekse wijsgeer Thales van Milete (ca 640 - ca 550 v.C.), die de steeds wisselende verschijnselen aan de aarde en aan de hemel terug wilde voeren tot één blijvende substantie en die achter de chaotische menigvuldigheid van de verschijnselen naar een eenheid zocht. Achter alle verschijnselen is één en hetzelfde element of beginsel aanwezig: "Alles is water en ontstaat uit water". Vijftienvier honderd jaar later, in 1892, deed de Duitse fysico-chemicus Wilhelm Ostwald (1853-1932) hetzelfde in zijn energeticisme: "In werkelijkheid is de energie het enig reële in de wereld, en de materie is geenszins een drager, maar een verschijningsvorm ervan"⁴. Een fraai voorbeeld van de veronderstelling van eenheid in de natuur is de protyletheorie van de Londense arts en chemicus William Prout (1785-1850), die in 1815 veronderstelde dat waterstof de oermaterie, *protê hylê*, van de oude filosofen is en dat de atoomgewichten gehele veelvouden zijn van dat van waterstof. Hij geloofde daarbij in een werkelijke opbouw van atomen en moleculen uit waterstofatomen.⁵

In 1908 hield de Duitse fysicus Max Planck (1858-1947) in Leiden een voordracht over *Die Einheit des physikalischen Weltbildes*, waarin hij waarschuwde tegen het consequent zoeken naar eenheid in de natuur. Hij meende dat een natuurbeschouwing, waarin als laatste en hoogste doel de bonte verscheidenheid van de fysische verschijnselen tot een eenheid wordt teruggebracht, het gevaar in zich heeft op een

te snelle generalisatie te berusten met een al of niet verantwoorde gedurfde greep naar het geheel. In een dergelijke natuurbeschouwing gaat men uit van een afzonderlijk begrip of regel waaruit met meer of minder succes de gehele natuur met al haar uitingen volgt.⁶

In de negentiende eeuw werd eenheid in de natuur als verklaringsmodel gebruikt in de romantische Naturphilosophie, een stroming die vooral in het Duitstalige gebied in de eerste helft van de vorige eeuw grote invloed op de natuurwetenschappen uitoefende.⁷ De romantische Naturphilosophie wilde niet als in de achttiende eeuwse Aufklärung alles verklaren langs newtoniaans-mechanistische en atomistische weg. Zij nam als verklaringsmodel het dynamische en organische in de natuur, waarbij het kritische verstand dikwijls vervangen werd door het gevoel. De romantische natuurwetenschapper wilde de wereld als één geheel verklaren. Centraal stond bij hem de eenheid van alle natuurkrachten (magnetisme en elektriciteit, licht en warmte, chemie en galvanisme) en derhalve hun wederzijdse omzetbaarheid. De tussen 1842 en 1847 door een aantal geleerden onafhankelijk van elkaar uitgesproken wet van energiebehoud zag men als een bevestiging van deze opvatting.

Illustratief in dit verband is de ontdekking van de werking van de elektrische stroom op een magneetnaald door de Deen Hans Christian Oersted (1777-1851)⁸. Deze ontdekking was een direct gevolg van Oersted's geloof in de eenheid van alle natuurkrachten. Zijn poging om de eenheid van elektriciteit en magnetisme aan te tonen had succes in 1820. Op 21 juli van dat jaar verscheen een vier pagina's tellend pamflet: *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*. Het werd spoedig vertaald in de voornaamste Europese talen, ook in het Nederlands. Oersted's 'Proeve over de uitwerking van het Galvanismus op de magneetnaald' verscheen in het nummer van 17 november 1820 van het populaire weekblad *Algemeene Konst- en Letter-Bode*.

Oersted's ontdekking was geen toevalsontdekking. Hij was aanhanger van de opvattingen van de Duitse filosoof Immanuel Kant (1724-1804) en sterk beïnvloed door de Naturphilosophie van Friedrich Joseph Wilhelm von Schelling (1775-1854). Volgens Kant neemt materie ruimte in niet "enkel en alleen door haar bestaan, maar door een bijzondere kracht". In zijn *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (1786) wordt ondoordringbaarheid teruggebracht tot een bewegende kracht en niet beschouwd als het resultaat van alleen maar uitbreiding. Materie neemt ruimte in door het antagonisme tussen twee krachten: aantrekkende en afstotende. Beide krachten bepalen samen de dynamische natuur van de materie. Schelling ging nog een stap verder. Materie bestaat uit aantrekkende en afstotende krachten, maar deze krachten zijn niet uitsluitend als natuurkrachten, maar als algemene tendensen van het absolute te beschouwen, die in verschillende tegengestelde krachtenparen concreet worden (1796). De natuurverschijnselen worden verklaard uit 'produkten' die uit algemene natuurprocessen van aantrekking en afstoting volgen. Hoewel Oersted met reserve tegenover de Naturphilosophie stond, is het opvallend dat in de titel van zijn verhandeling

over een elektrisch conflict wordt gesproken waarmee kennelijk de elektrische stroom wordt bedoeld. De uitdrukking 'conflict' vinden we steeds herhaald in de publikaties van Schelling en diens aanhangers.

Voor Oersted waren elektriciteit, galvanisme en magnetisme geen imponderabilia, onweegbare stoffen, zoals toen algemeen werd aangenomen, maar de verschillende werkvormen van de algemene natuurkrachten. In een artikel uit 1806 stelde hij dat het elektrisch conflict in een draad veroorzaakt wordt door het tegen elkaar stromen van de twee elektrische fluida, die in de polen van een batterij zitten opgehoopt. In zijn boek: *Ansicht der chemischen Naturgesetze, durch die neuern Entdeckungen gewonnen* (1812) worden het licht en de warmte beschouwd als een elektrisch conflict: licht is een elektrisch conflict tussen de verschillende soorten elektriciteit. In dat verband merkte Oersted op dat men de werking van het magnetisme op de elektriciteit moet proberen aan te tonen:

"Tegelijkertijd zal men moeten proberen of men niet in een van de toestanden waarin de elektriciteit zeer gebonden voorkomt, enige werking op de magneet als magneet kan voortbrengen"⁹.

Het duurde tot 1820 eer het Oersted gelukte dit verband experimenteel aan te tonen.

Oersted was niet de enige geleerde die zich in zijn onderzoekingen door een geloof in de eenheid van alle natuurkrachten liet leiden. Een ander voorbeeld is de Britse fysicus en chemicus Michael Faraday (1791-1867), voor alles een experimentator, die in een fraaie reeks van onderzoekingen het verschijnsel van de elektromagnetische inductie ontdekte. Net als Oersted was Faraday doordrongen van een metafysisch geloof in de eenheid van alle natuurkrachten, zij het niet op natuurfilosofische, maar op religieuze gronden. Bovendien nam hij - op romantische gronden - aan dat alle natuurkrachten in elkaar omzetbaar zijn. Al in 1822 was hij ervan overtuigd dat magnetisme om te zetten is in elektriciteit. In zijn *Notebook* schreef hij in 1822:

"Convert magnetism into Electricity"¹⁰.

Faraday voerde tal van - mislukte - experimenten uit waarin hij verwachtte dat een magneet een continue stroom in een nabijgelegen draad zou opwekken. Ook probeerde hij zonder succes stromen op te wekken in draden met behulp van er naast liggende stroomvoerende draden. Pas op 29 augustus 1831 ontdekte hij het verschijnsel van de elektromagnetische inductie. Twee spoelen werden bevestigd rond een weekijzeren ring. Liet hij een stroom door de ene spoel gaan, dan werd de weekijzeren ring gemagnetiseerd en ging er een stroom door de tweede spoel lopen.

In de loop van zijn leven zocht Faraday naar tal van relaties tussen de natuurkrachten. In hetzelfde jaar 1822 dat hij probeerde magnetisme in elektriciteit om te zetten, deed hij zijn eerste pogingen de wisselwerking van elektriciteit en magnetisme en het licht aan te tonen. Pas in 1845 ontdekte hij het naar hem genoemde effect: als lineair gepolariseerd licht in een stof, bijvoorbeeld loodboraatglas, zich langs de magnetische krachtlijnen uitbreidt, dan draait het trillingsvlak van het licht. Volgens Faraday was hiermee bewezen

dat de magnetische kracht en het licht met elkaar in betrekking staan. Op 20 november 1845 sprak hij tot de leden van de Royal Society of London:

"Ik heb lang de mening gehad, die bijna gelijkstond aan een overtuiging welke ik met vele andere beminnaars van de kennis van de natuur meen te bezitten, namelijk dat de verschillende vormen waaronder de krachten van de materie zich manifesteren een gemeenschappelijke oorsprong hebben. Of, met andere woorden, dat ze zo direct met elkaar in verband staan en van elkaar afhankelijk zijn, dat ze in elkaar zijn om te zetten en dat ze in hun werking een equivalente kracht bezitten. Recent hebben de bewijzen van deze omzetbaarheid zich geaccumuleerd tot een zeer aanzienlijke omvang en is er een begin gemaakt met de bepaling van de equivalentie van die krachten"¹¹. [de formulering van de wet van energiebehoud, onder andere door Faraday zelf in 1844]

Faraday's leidraad bij al zijn fysische onderzoekingen was de overtuiging van de eenheid tussen de verschillende vormen van de natuurkrachten en hun onderlinge omzetbaarheid. Op 31 december 1833 maakt hij zijn ontdekking van de elektrolysewetten bekend, die het verband aangaven tussen elektriciteit en chemie. Na de ontdekking van de spectraalanalyse door de Duitsers Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) en Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) in de jaren 1859-1860 zocht Faraday direct of de spectraallijnen beïnvloed worden door een magnetisch veld (1862). Omdat het oplossend vermogen van de door hem gebruikte spectrometer te gering was, had hij geen succes. (Het lukte pas in 1896 aan Pieter Zeeman, 1865-1943.) Faraday had ook geen succes met zijn pogingen (vanaf 1845) gravitatie om te zetten in elektriciteit en warmte. Zijn uitgangspunt was weer de overtuiging van de eenheid van alle natuurkrachten. Op 28 november 1850 begon Faraday een lezing "on the possible relation of gravity to electricity" met de uitspraak:

"De lange en constante overtuiging dat alle natuurkrachten van elkaar afhankelijk zijn en een gemeenschappelijke oorsprong bezitten, of liever verschillende uitingen zijn van een fundamentele kracht, heeft mij dikwijls laten denken aan de mogelijkheid van het experimenteel vaststellen van een verband tussen zwaartekracht en elektriciteit, en daardoor de eerste te plaatsen in de groep waarvan de reeks ook magnetisme, chemische kracht en warmte bevat en die zoveel en zo verschillende uitingen van kracht samenbindt door gemeenschappelijke verbanden"¹².

Faraday had cilinders van koper, bismut, ijzer, enz. van het plafond van de collegezaal van de Royal Institution op een kussen laten vallen. De cilinders waren omgeven door een koperen spiraal, waarvan de uiteinden verbonden waren met een gevoelige galvanometer. Uiteraard nam hij geen enkel effect waar, evenmin als toen hij cilinders snel op en neer liet bewegen. Toch besloot Faraday de beschrijving van zijn experimenten als volgt:

"Hier eindigen thans mijn pogingen. De resultaten zijn negatief. Ze schokken niet mijn sterke overtuiging van het bestaan van een verband tussen zwaarte en elektriciteit, hoewel ze geen bewijs geven dat zo'n verband bestaat"¹³. Tien jaar later kwam Faraday weer op dit onderzoek terug.

Op 9 juli 1859 liet hij stukken lood van 13 kilogram ophijzen en over een verticale afstand van 50 meter van de toren van een loodgieterij omlaag vallen. De loden gewichten werden met een stoommachine op en neer bewogen en de lading werd gemeten. Het niet gepubliceerde verslag van deze experimenten¹⁴ begint als volgt:

"Met de volle overtuiging dat de zwaartekracht in verband staat tot de andere vormen van een natuurlijke kracht en een geschikt onderwerp is voor experimenten, heb ik er recent naar gestreefd bewijs te verkrijgen van zijn verband met elektriciteit of warmte".

En hij eindigde het verslag van zijn proeven:

"Hoewel deze resultaten negatief zijn en hoewel de werkelijkheid in de natuur zo kan zijn dat zo'n verband waar ik naar heb gezocht niet bestaat, kan ik dat toch niet als beslissend accepteren".

Hoewel Faraday in een aantal gevallen succes had met zijn geloof in de eenheid van alle natuurkrachten, is het duidelijk dat men met een dergelijke overtuiging alléén fysisch weinig kan beginnen. Nodig was daarbij de experimentele begaafdheid en kennis die een man als Faraday bezat, maar veel van zijn collega's niet. In 1830 waarschuwde de Duitse fysicus Georg Wilhelm Muncke (1772-1847) terecht tegen

"de hypothesen van diegenen, die de onweegbare krachten (imponderabilia, incoercibilia) als alleen maar krachten of werkzaamheden beschouwden of hun eigenlijke natuur door de invoering van zo'n naam meenden te hebben verklaard".¹⁵

We denken hier aan een van de idolen waar de Engelse staatsman, filosoof en schrijver Francis Bacon (1561-1626) in zijn *Novum organum* (1620) tegen waarschuwde en die de beoefening van de wetenschap kan vertroebelen: het onderstellen van groter orde in de natuur dan er is.

"Het menselijk verstand is van nature geneigd het bestaan van meer orde en regelmatigheid in de wereld te veronderstellen dan het vindt".¹⁶

Van eenheid in de natuur maar samenhang in de natuur

Het streven van natuurwetenschappers de wereld van de verschijnselen terug te voeren tot een achterliggende oorzaak (eenvoud in de natuur; eenheid van alle natuurkrachten) leidde tot verbanden tussen de verschillende (sub)disciplines van de natuurwetenschap. De nieuwe natuurwetenschappelijke methode uit de zeventiende eeuw (het mechanistisch wereldbeeld) probeerde eenvoudige natuurprocessen bloot te leggen door geschikte experimenten en het vastleggen van de gevonden wetten in een wiskundige taal. Deze mathematisch-experimentele methode werd toegepast op de talrijke afzonderlijke problemen die de natuur ons voorlegt. Men zocht niet zozeer naar één enkele grote samenhang in de natuur, maar onderzocht meer de vele afzonderlijke natuurverschijnselen. Dit leidde in de zeventiende en de achttiende eeuw tot de ontwikkeling van nieuwe takken van natuurwetenschap: optica, elektrostatica, moderne chemie, warmteleer, biologie en in de negentiende eeuw elektromagnetisme en elektrodynamica. De natuurwetenschappen vielen zo uiteen in een aantal deelgebieden. Was vroeger de drijvende kracht van het onderzoek de wens

om de samenhang van de gehele wereld als één geheel te herkennen, ja het scheppingsplan zelf te onderzoeken, de negentiende eeuw toont steeds meer specialisten die systematisch één deelgebied van de natuurwetenschap tot studieobject hadden gekozen.

Onder invloed van het romantisch streven naar eenheid in de natuur werden echter allerlei 'dwarsverbindingen' ontdekt: de magnetische werking van de elektrische stroom, de thermo-elektriciteit, de omzetting van elektrische stroom in warmte, enz. In het centrum van de belangstelling stond bovendien de stoommachine en daarmee het vraagstuk naar de omzetbaarheid van warmte in arbeid (wet van energiebehoud). De Duitse fysicus Hermann von Helmholtz (1821-1894) formuleerde in zijn bekende *Ueber die Erhaltung der Kraft* (1847) als opgave van de natuurwetenschappen de natuurverschijnselen te herleiden tot onveranderlijke aantrekkende en afstotende krachten, waarvan de grootte uitsluitend afhankelijk is van de afstand tussen de werkzame delen. De oplossing van dit probleem zag hij als voorwaarde tot het begripen van de natuur.

"Haar taak [namelijk die van de natuurwetenschappen] zal voltooid zijn als eens het terugvoeren van de verschijnselen tot eenvoudige krachten voltooid is, en tegelijk bewezen kan worden dat dat de enig mogelijke reductie is welke de verschijnselen toestaan".¹⁷

De beschrijving van de fysische verschijnselen wordt dus teruggebracht tot de werking van krachten, waarbij nog vast te stellen is op welke wijze deze krachten tussen de deeltjes afhankelijk zijn van de afstand.

Unificatie in de natuurwetenschappen

Het terugvoeren van de natuurverschijnselen tot één enkele oorzaak, is ook te illustreren aan de hand van de vraag in welke richting de voortgang van de natuurkunde zich beweegt. In hoeverre kan men zeggen dat het nagestreefde doel, een 'eenheidssysteem', werkelijk benaderd is?

Beschouwen we daartoe de ontwikkeling van de natuurkunde in de vorige eeuw. In de optica had de Franse fysicus Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) de golftheorie van Huygens de overwinning bezorgd boven de emissietheorie van Newton, dank zij vernuftige experimenten en theoretische beschouwingen (1815-1823). De golftheorie was nu eenvoudiger geworden dan de emissietheorie en daardoor waarschijnlijker. In een 'Mémoire sur la diffraction de la lumière' uit 1826 - dat het veelzeggend motto: "Natura simplex et fecunda", de natuur is eenvoudig en toch geschakeerd, draagt - betoogt Fresnel dat

"het systeem dat het licht kan beschouwen als trillingen van een universele vloeistof grote voordelen heeft boven de theorie van de emissie".¹⁸

Het grote probleem was dat de toen aanvaarde longitudinale golftheorie niet in staat was de gevonden polarisatieverschijnselen van het licht te verklaren. Daarvoor moest men transversale trillingen aannemen. Fresnel vond dit aanvaardbaar een mechanische absurditeit, omdat de golftheorie op de analogie met de longitudinale geluidsgolven in elastische vloeistoffen en in lucht berustte. In 1821 nam hij aan dat de ether alleen transversale golven heeft, maar moest nu

aannemen dat de ether zowel de elastische eigenschappen van een vaste stof (deformeerbaarheid) als die van een gas of een zeer ijle vloeistof (verandering van volume; kleine weerstand tegen erin bewegende voorwerpen) zou moeten bezitten. Dit theoretisch bezwaar tegen de transversale ethertrillingen was voorlopig niet oplosbaar.

Intussen had zich op het gebied van de elektriciteit een unificatie voltrokken tussen verschillende deelgebieden. De identiteit van de stromende galvanische elektriciteit (Luigi Galvani, Alessandro Volta) en de statische wrijvingselektriciteit (Charles Coulomb) was in het begin van de negentiende eeuw aangetoond, onder ander door onze landgenoot Martinus van Marum in Haarlem. Het elektromagnetisme (Oersted, André-Marie Ampère, Faraday) unificeerde elektriciteit en magnetisme. James Clerk Maxwell (1831-1879) slaagde erin de intuïtieve voorstellingen over het veldbegrip van Faraday in een wiskundig strenge vorm te brengen (vanaf 1861). Uit zijn vergelijkingen leidde Maxwell als oplossingen transversale golven af, waarvan de voortplantingsnelheid in vacuüm de waarde van de lichtsnelheid bleek te bezitten. In zijn bekende artikel: "On physical lines of force" (1862) kwam hij tot de conclusie:

"dat wij nauwelijks de gedachte kunnen afwijzen dat het licht uit transversale trillingen van hetzelfde medium bestaat, welke ook de oorzaak zijn van de elektrische en magnetische verschijnselen".¹⁹

In Maxwells elektromagnetische golftheorie is het licht een zich voortplantende periodieke evenwichtsverstoring in de elektrische en de magnetische veldsterkte. Omdat beide vectoren loodrecht op de voortplantingsrichting staan, is de golfamplitudo vanzelf transversaal (1873). Het was Heinrich Hertz (1857-1894) die in 1887 experimenteel aantoonde dat elektromagnetische golven transversaal zijn en dat ze breking, reflectie, interferentie en polarisatie bezitten net als lichtgolven. Lichtstralen zijn elektromagnetische golven van zeer korte golflengte. Hiermee was Maxwells theoretische synthese of unificatie van het elektromagnetisme met de optica door het experiment bevestigd. Joseph Larmor (1857-1942) kon dan ook opmerken dat

"de ontdekkingen van Hertz geen verdere ruimte voor twijfel lieten dat het fysische schema van Maxwell op juiste wijze uitdrukking gaf aan de fundamentele eenheid die aan alle fysische verschijnselen ten grondslag ligt".²⁰

De unificatie van elektriciteit en magnetisme vond zijn definitieve bevestiging in de speciale relativiteitstheorie van Albert Einstein (1879-1955) uit 1905, waarbij ruimte en tijd worden verenigd tot één enkele entiteit, de ruimtetijd. Wat elektriciteit is in het referentiekader van de ene waarnemer, kan in die van een andere waarnemer als magnetisme optreden. Vanaf 1920 deed Einstein pogingen een 'Einheitliche Theorie der Materie' op te stellen. In deze verenigde veldentheorie moesten het elektromagnetische- en het gravitatieveld op één lijn behandeld worden. In zijn algemene theorie van de relativiteit (1916) was het hem gelukt kracht en het begrip actio in distans uit de theorie van de gravitatie te elimineren. Nu wilde hij een poging doen alle natuurkrachten af te leiden uit een gemeenschappelijke structuur en een uniek bepaalde werkingswet. Pogingen daartoe werden

overigens niet alleen door Einstein gedaan. Einsteins gevonden relatie tussen gravitatie en ruimtelijke eigenschappen, leidde tot de theoretische mogelijkheid van eenzelfde reductie van elektriciteit en magnetisme tot een metrische eigenschap van ruimte en tijd. Een aantal theoretici probeerden een eenvoudige verzameling van vergelijkingen te vinden om de gravitatie- en de elektromagnetische velden te unificeren. Hermann Weyl (1885-1955) publiceerde in 1918 een standaard-invariante meetkunde, die door Arthur Eddington (1882-1944) werd gegeneraliseerd. Theodor Kaluza (1885-1954) stelde een vijfdimensionale meetkunde op waarin de gravitatie en de elektromagnetische potentialen samen de structuur van ruimte en tijd bepalen (1921), enz. Experimentele verificatie bleek echter onmogelijk om tot deze unificatie te komen. Wat later deed onder andere Einstein nieuwe pogingen om tot deze unificatie te komen. In 1949 publiceerde hij zijn 'A generalized theory of gravitation', welke echter zo wiskundig complex was dat er geen experimentele verificatie mogelijk was.

Toch blijven fysici ervan overtuigd dat de natuur, ondanks haar enorme verscheidenheid en ondoorgrondelijkheid, in wezen aan eenvoudige wetten gehoorzaamt en in één formule moet kunnen worden samengevat. Het grote streven is de vier fundamentele natuurkrachten, waaraan de elementaire deeltjes gehoorzamen, onder één noemer te brengen: de sterke wisselwerking (kernkracht), de elektromagnetische kracht, de zwakke wisselwerking (een kracht in de atoomkern die het evenwicht tussen het aantal neutronen en protonen in de kern handhaaft) en de zwaartekracht. Deze poging tot unificatie heeft een belangrijk succes geboekt door de ontdekking van de W- en de Z-bosonen, doordat de elektromagnetische kracht en de zwakke kernkracht nu in een onderlinge samenhang kunnen worden gezien. Het uiteindelijk doel is de vier natuurkrachten in één formule samen te brengen. Alle vier genoemde krachten zijn slechts manifestaties van één oerkracht.²¹

Wat betreft verschijnselen als elektriciteit, magnetisme, licht en radiogolven is het gelukt deze onder te brengen in één theorie van het elektromagnetisme. De laatste decennia is er grote vooruitgang geboekt voor de beschrijving van de zwakke kernkracht met de theorie van de Amerikaan Sheldon Lee Glashow, de Pakistaan Abdus Salam en de Amerikaan Steven Weinberg die in 1979 de Nobelprijs voor natuurkunde kregen voor "hun bijdrage aan het tot stand komen van een theorie waarin twee bekende natuurkrachten worden verenigd, namelijk de zwakke wisselwerking en de elektromagnetische wisselwerking". De theorie was geënt op die van het elektromagnetisme. De voorspelde W- en Z-bosonen zijn in 1983 ontdekt en vormen waarschijnlijk de laatste schakel van een ontwikkeling die de unificatie van de elektromagnetische en de zwakke kracht wordt genoemd. In 1984 kregen Simon van der Meer en Carlo Rubbia, beiden verbonden aan de Europese organisatie voor kernfysisch onderzoek in Genève (CERN) de Nobelprijs voor natuurkunde voor "hun beslissende bijdragen aan het omvangrijke project dat vorig jaar heeft geleid tot de ontdekking van twee elementaire deeltjes, het W- en het Z-deeltje, de overbrengers van de zwakke wisselwerking". De vraag is of we

ooit tot een werkelijke unificatie van alle natuurwetenschappen zullen komen.

Noten

1. G. Galilei, *Two New Sciences. Including Centers of Gravity and Force of Percussion*. Translated by Stillman Drake (Madison, 1974) 153-154
2. Vgl.: E.J. Dijksterhuis, *Val en worp. Een bijdrage tot de Geschiedenis der Mechanica van Aristoteles tot Newton* (Groningen, 1924) 240-241
3. I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Londen, 1687) 402.
4. W. Ostwald, *Zeitschrift für physikalische Chemie* 9(1892)771
5. H.A.M. Snelders, 'Van 'ondeelbaar' naar 'deelbaar' atoom. De lotgevallen van de hypothese van William Prout (1815)', *Scientiarum Historia* 18(1992)127-141
6. M. Planck, in: *Vorträge und Erinnerungen* (Stuttgart, 1949) 28-51
7. H.A.M. Snelders, *Wetenschap en intuïtie. Het Duitse romantisch-spekulatief natuuronderzoek rond 1800* (Baarn, 1994)
8. H.A.M. Snelders, 'Oersted's discovery of electromagnetism', in: *Romanticism and the sciences*. Edited by A. Cunningham and N. Jardine (Cambridge, 1990) 228-240
9. H.C. Oersted, *Ansicht der chemischen Naturgesetze, durch die neuern Entdeckungen gewonnen* (Berlijn, 1812) 251
10. *Michael Faraday's 'Chemical Notes, Hints, Suggestions and Objects of Pursuit' of 1822*. Edited by Ryan D. Tweney and David Gooding (Londen, 1991) 70
11. M. Faraday, *Experimental Researches in Electricity* (Londen, 1839-1855), III, 1-2
12. M. Faraday, idem, III, 161
13. M. Faraday, idem, III, 168
14. Bence Jones, *The life and letters of Faraday* (Londen, 1870), II, 406-413
15. G.W. Muncke, in: J.S.T. Gehler, *Physikalisches Wörterbuch* (Leipzig, 1830), V-2, 958
16. F. Bacon, *Works* (Londen, 1857), IV, 55
17. H. von Helmholtz, *Ueber die Erhaltung der Kraft* (Berlijn, 1847) 7
18. A. Fresnel, *Oeuvres complètes* (Parijs, 1866), I, 249
19. J.C. Maxwell, *The scientific papers* (Cambridge, 1890), I, 500
20. R.J. Blin-Stoyle, in: *Turning-points in physics* (Amsterdam, 1959) 29
21. S. Weinberg, 'The search for unity: Notes for a history of quantum field theory', *Daedalus. Journal of the American Academy of Arts and Sciences* 106(1977), no. 4, 17-35

In het spoor van Aphrodite: herkomstbepaling van wit marmer gebruikt voor Griekse en Romeinse kunstwerken

L.J.M.G. Moens¹

Waarom natuurwetenschappelijk onderzoek van marmeren kunstwerken?

Weinig decoratieve gesteenten hebben de schoonheid van marmer. In de Griekse en Romeinse Oudheid werden enorme hoeveelheden van dit materiaal gebruikt in grootse bouwprojecten, voor het kappen van prachtige sculpturen en voor het maken van decoratieve objecten en gebruiksvoorwerpen. Met de systematische ontginning van marmer werd begonnen in de 7e eeuw voor Chr. op de Cycladische eilanden Naxos en Paros. In de daaropvolgende eeuwen kwam de marmerexploitatie er tot bloei, terwijl ook in andere streken marmergroeven werden geopend. Zo kennen we vandaag de overblijfselen van talrijke antieke marmerexploitaties in de gebieden rond de Middellandse Zee. De meeste daarvan waren op een lokale of regionale markt gericht, maar van een beperkt aantal groeven werd het marmer ver geëxporteerd. Vooral tijdens de Romeinse tijd werden de exploitatie van de marmergroeven en het transport van marmer belangrijke economische factoren. In figuur 1 zijn de groeven aangegeven waaruit stalen werden genomen voor de analyses die verder zullen worden besproken; het zijn de belangrijkste exporterende groeven en enkele groeven van beperkt lokaal of regionaal belang.

Omdat de marmerhandel inderdaad "big business" was, kan de verdeling van de verschillende marmersoorten doorheen het gebied rond de Middellandse Zee heel wat informatie verschaffen over sociaal-economische aspecten, zoals de vitaliteit van de economie of de geografische verplaatsing van economische centra. Dat is dan ook de reden waarom archeologen bijzonder geïnteresseerd zijn in de herkomst van marmer. Kunsthistorici anderzijds, kunnen uit de herkomst afleiden of bepaalde stijlen mee

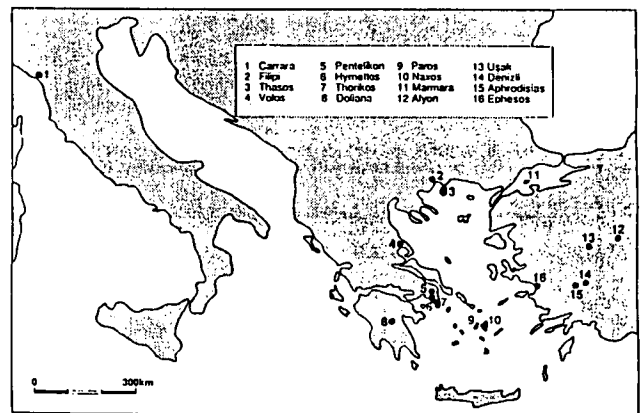


Fig.1: Antieke groevegebieden bestudeerd in dit werk

bepaald zijn door de aard van het gebruikte marmer en in welke mate specifieke beeldhouwers en ateliers verbonden waren aan bepaalde groeven of marmersoorten. Dankzij de bouwrekeningen, die voor heel wat grote bouwwerken bewaard gebleven zijn, is het vaak mogelijk om de herkomst van de gebruikte marmers te kennen.

Wanneer het echter over beeldhouwwerk gaat, of marmer voor privé-gebruik (sarcophagen, decoratieve elementen), zijn er vrijwel nooit geschreven bronnen te vinden. Met het blote oog kunnen de verschillende witte-marmersoorten niet worden onderscheiden. Dat komt omdat de kleurschakeringen uiterst subtiel zijn en omdat beter zichtbare kenmerken, zoals de grootte van de korrel, niet voldoende zijn om alle marmersoorten op een unieke manier te karakteriseren. Men mag ook niet vergeten dat het uitzicht van een antiek marmeroppervlak op een zeer misleidende manier kan veranderd zijn door verwerking en vervuiling. Archeologen en kunsthistorici hebben dan ook de hulp

ingeroepen van de natuurwetenschappen om objectief meetbare criteria te vinden die zouden toelaten om de verschillende soorten witte marmer te onderscheiden.

Wat is marmer en hoe is het ontstaan?

Het marmer uit de streken rond de Middellandse Zee is ontstaan uit kalkslib dat meer dan 150 miljoen jaar geleden afgezet werd op de bodem van de Thetis Zee. Deze zee vormde toen de scheiding tussen het noordelijke en het zuidelijke supercontinent. Eerst werden de dikke kalksliblagen samengeperst en, na een proces dat men diagenese noemt, omgevormd tot kalksteen. Tijdens de Alpine gebergtevorming kwamen deze kalksteenlagen diep onder de oppervlakte terecht, waar ze werden blootgesteld aan hoge druk en temperatuur. In die omstandigheden onderging het gesteente een "metamorfose": de fijnkorrelige kalksteen werd omgevormd tot marmer, een grofkorrelig materiaal met een suikerachtig uitzicht. Zowat elf miljoen jaar geleden was dit proces voltooid. In de bouwrijverheid wordt de term "marmer" vaak ten onrechte gebruikt voor allerlei goed polijstbare, decoratieve gesteenten. Enkel gemetamorfoseerde kalksteen kan geologisch correct marmer worden genoemd. Witte marmer bestaat voor meer dan 99% uit calciet (calciumcarbonaat, CaCO_3) en dolomiet (calcium-magnesiumcarbonaat, $(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$). De meeste witte marmers bestaan hoofdzakelijk uit calciet en enkel op het eiland Thasos komen belangrijke afzettingen van witte marmers met een hoog dolomiet-gehalte voor.

De natuurwetenschappelijke benadering

De natuurwetenschappelijke herkomstbepaling van antieke marmers is uitgegaan van de hypothese dat elk type marmer op een unieke manier kan gekarakteriseerd worden ten opzichte van alle andere aan de hand van parameters die objectief kunnen worden gemeten. Een dergelijk stel parameters kan dan gebruikt worden als een vingerafdruk van een bepaalde marmersoort. Om van de verschillende antieke marmers een dergelijke vingerafdruk te kunnen nemen, is het nodig om eerst betrouwbaar referentiemateriaal te verzamelen in de antieke marmergroeven of wat daarvan overblijft. De eerste stap van dit onderzoek bestond er dan ook in om honderden marmerstalen te nemen in de belangrijkste groevegebieden (fig. 1). Wil deze bemonstering betrouwbaar zijn, dan moeten de stalen representatief zijn vanuit een archeologisch, een geologisch en een analytisch standpunt. Dat is de reden waarom de staalname werd uitgevoerd door een interdisciplinair team. Om de kans op het vinden van eenduidige vingerafdrukken te vergroten, is het noodzakelijk om zoveel mogelijk verschillende karakteristieken te meten en om het marmer te bestuderen met verschillende methoden. In de praktijk is gebleken dat petrografisch onderzoek, chemische analyse en isotopenanalyse de meest bruikbare resultaten opleveren.

Petrografie

Bij petrografie wordt een polariserende microscoop ge-

bruikt. Met behulp van abrasieven wordt een dun schijfje marmer geslepen tot het nog slechts 0,03 mm dik is. Bij die dikte zijn de meeste mineralen doorzichtig, zodat ze in het slijpplaatje microscopisch kunnen worden bestudeerd. Onder de microscoop zien schijnbaar gelijke marmers er soms duidelijk verschillend uit door de vorm en de afmetingen van de calciet- (of dolomiet-)korrels of door de aard en de hoeveelheid van de aanwezige accessorische mineralen (kwarts, muscoviet, enz.). Hoewel dergelijke verschillen niet volstaan om alle verschillende soorten witte marmer te onderscheiden, is gebleken dat ze toch toelaten om onderscheid te maken tussen sommige soorten. De belangrijkste parameter in dit verband is de grootte van de calciet- (of dolomiet-)korrels. In de praktijk wordt de maximale korrelgrootte (MKG) gemeten; dit is de grootste afmeting van de grootste korrel die in het slijpplaatje te zien is. In figuur 2 is voor elk groevegebied het bereik van de MKG aangegeven, zoals het werd bepaald aan de hand van de marmerstalen uit deze groeven die in dit onderzoek werden bestudeerd.

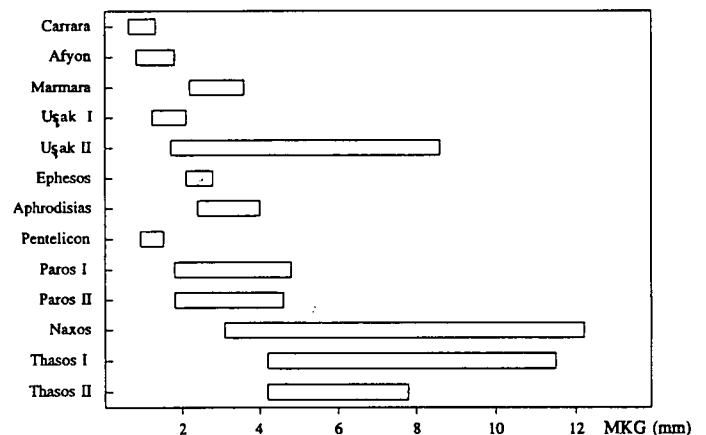


Fig. 2: Bereik van de maximale korrelgrootte voor de stalen uit antieke groevegebieden

Isotopenanalyse

Een totaal verschillende benadering is de bepaling van de relatieve abundanties van de C en O isotopen. Calciet bestaat voor 12% uit C en voor 48% uit O. Koolstof heeft twee stabiele isotopen: ^{12}C met een abundantie van 98,9% en ^{13}C dat voor 1,1% voorkomt. Van O zijn drie stabiele isotopen bekend. ^{16}O (abundantie 99,76%), ^{17}O (abundantie 0,20%) en ^{18}O (abundantie 0,04% en niet belangrijk in deze context). Meestal wordt er van uitgegaan dat de isotopische voorkomens in de natuur constant zijn en onafhankelijk van het materiaal waarin het element in kwestie voorkomt. Dit is niet helemaal waar en er treden kleine verschillen op, zelfs tussen zeer analoge materialen. Een typisch marmerstaal uit de ondergrondse exploitaties op het Griekse eiland Paros is gekenmerkt door een ^{13}C -abundantie rond 1,1169%, terwijl in de buurt van Afyon (Turkije) marmer voorkomt met een ^{13}C -abundantie van 1,1102%. De abundantie van ^{18}O anderzijds varieert in witte marmers van 0,2040% tot 0,2064%. Om dergelijke minieme verschillen aan te geven is het handiger om

te werken met verhoudingen van isotopische abundanties ($R13 = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ en $R18 = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$) en om relatieve abundanties weer te geven door hun verschil in promille ten opzichte van een conventioneel gekozen referentiewaarde. Voor deze laatste werd de waarde gevonden voor de zogenaamde Pee Dee belemniet (PDB) gekozen. De relatieve abundantie van ${}^{13}\text{C}$ kan dan uitgedrukt worden als:

$$\sigma({}^{13}\text{C}) = 1000(R13 - R13_{\text{PDB}})/R13_{\text{PDB}}$$

Voor ${}^{18}\text{O}$ kan een analoge uitdrukking worden opgeschreven. Zo uitgedrukt is het grootste relatieve verschil tussen isotopenverhoudingen in witte marmer 12‰ voor ${}^{18}\text{O}$ en 7‰ voor ${}^{13}\text{C}$. Om de relatieve isotopische samenstelling van C en O in marmer te kunnen bepalen, moet het carbonaat (CO_3) omgezet worden tot CO_2 , dat kan worden geanalyseerd met een gasmassaspectrometer met hoge precisie. Daarom laat men het marmer in een vacuumsysteem reageren met fosforzuur. Daarbij vormen zich CO_2 -moleculen met verschillende massa's. Voor de bepaling van $\sigma({}^{13}\text{C})$ en $\sigma({}^{18}\text{O})$ zijn vooral de massa's 44 (${}^{12}\text{C}{}^{16}\text{O}_2$), 45 (vooral ${}^{13}\text{C}{}^{16}\text{O}_2$) en 46 (vooral ${}^{12}\text{C}{}^{18}\text{O}$) van belang. Uit de gemeten relatieve abundanties van deze moleculen kunnen de relatieve abundanties van de C- en O-isotopen worden afgeleid. Voor isotopenanalyse is niet meer nodig dan 5 tot 10 mg marmerpoeder. Deze methode is dan ook geschikt voor het bestuderen van kunstwerken, omdat het nemen van een staal het werk nauwelijks beschadigt. De resultaten van isotopenanalyse worden doorgaans weergegeven in een twee-dimensioneel diagram, zoals er een in figuur 3 is voorgesteld. Een punt in dit diagram stelt de isotopische samenstelling (C en O) van een marmerstaal voor. Zet men nu voor alle stalen uit een groevegebied een dergelijk punt uit in het $\sigma({}^{13}\text{C})/\sigma({}^{18}\text{O})$ -diagram, dan blijkt dat de punten voor de stalen van dezelfde groeve gegroepeerd zijn, wat het mogelijk maakt om voor elk

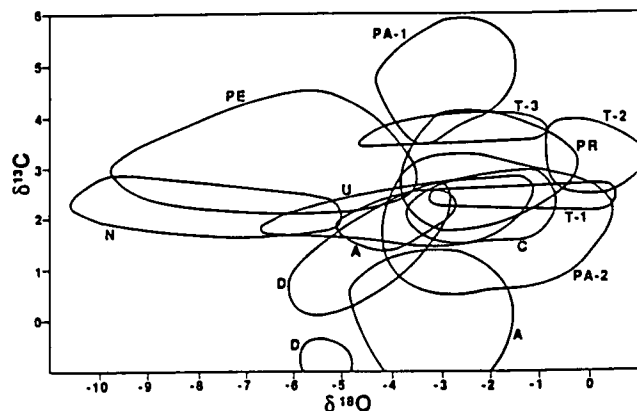


Fig.3: Vereenvoudigd isotopendiagram met de velden (PE=Pentelikon; N=Naxos; PA-1=Paros, Stefani-vallei (lychnites marmer); Pa-2=Paros, Chorodaki-vallei; M=Marmara; T-1=Thasos, Phaneri; T-2=Thasos, Alik; T-3=Thasos, Vathy en Saliara (dolomitisch); C=Carrara; A=Aphrodisias) die van belang zijn voor 4 kunstwerken getoond in figuur 5

groevegebied een karakteristiek veld af te bakenen in het isotopendiagram. Zoals reeds blijkt uit figuur 3 overlappen de meeste velden elkaar en het spreekt vanzelf dat de

herkomst van een kunstwerk enkel kan worden bepaald wanneer zijn isotopisch signalement zich bevindt in een deel van een veld waarin geen overlap met andere velden optreedt.

Chemische analyse

De samenstelling van alle witte calcitische marmers is gelijk: zowat 12% C, 48% O en 40% Ca. Deze hoofdelementen laten dan ook niet toe om verschillende soorten witte marmer te onderscheiden. De concentratie van de nevenelementen (concentratie tussen 1% en 0,1%) en van de sporelementen (concentratie lager dan 0,1%) in marmers met een verschillende herkomst verschilt echter wel. Voor de bepaling van deze concentraties werd gebruik gemaakt van neutronenactiveringsanalyse (NAA) en atomaire absorptiespectrometrie (AAS). Van beide methoden is voor dit onderzoek NAA de meest belangrijke, omdat met deze techniek de concentraties van 27 neven- en sporelementen simultaan en in hetzelfde marmerstaal kunnen worden bepaald. Voor de herkomstanalyse is het van belang om zoveel mogelijk elementen te kunnen bepalen, omdat daardoor de kans verhoogt om voor elke groeve karakteristieke parameters te vinden. Voor NAA werden cilindervormige stalen gebruikt met een diameter van 15 mm, een lengte van 20 mm en een massa van zowat 7 g. Deze stalen werden eerst gedurende 7 h in reactor Thetis van de Universiteit Gent bestraald. Dit is een reactor met een laag vermogen (250 kW tegenover meerdere GW voor moderne reactoren in elektriciteitscentrales) die speciaal voor onderzoek werd gebouwd. Tijdens de bestraling wordt voor de meeste elementen een minieme fractie van de stabiele kernen omgezet tot radioactieve kernen. Na de bestraling werden de radioactieve marmercilinders overgebracht naar een geschikte telketen. Vermits elk van de radioisotopen gamma-straling uitzendt waarvan de energie karakteristiek is voor die isotoop, kan men deze isotopen en dus de elementen waaruit ze gevormd zijn, identificeren. De intensiteit van de uitgezonden straling kan als kwantitatief criterium worden gebruikt en laat toe de concentratie van de geïdentificeerde elementen te bepalen. Door NAA te combineren met AAS, colorimetrie en titratie kon in de eerder "onzuivere" marmersoorten het gehalte van meer dan dertig elementen worden bepaald. In figuur 4 worden de gehalten in een typisch staal van Carrara vergeleken met deze in een staal van het eiland Paros. Hieruit blijkt dat er inderdaad belangrijke concentratieverschillen optreden. Omdat er in elk groevegebied echter marmers voorkomen met sterk uiteenlopende neven- en sporelementconcentraties, overlappen de bereiken van deze concentraties elkaar, zodat ook chemische analyse niet toelaat om alle marmersoorten onderling te onderscheiden.

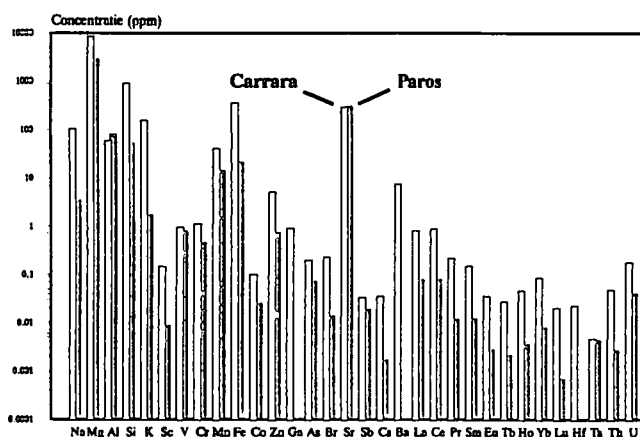


Fig.4: Vergelijking van de neven- en sporelementconcentraties in typische marmerstalen van Carrara en Paros

Extractie van de discriminatieve informatie uit het gegevensbestand

Vermits geen van de toegepaste analysemethoden toelaat om een volledig onderscheid te maken tussen de diverse marmersoorten, moet de discriminatieve informatie, die aanwezig is in het geheel van de verzamelde gegevens, naar voor gehaald worden via multivariate statistische methoden. Dit bleek inderdaad mogelijk te zijn door gebruik te maken van clusteranalyse of van discriminantanalyse. Zo werd het mogelijk om alle verschillende soorten witte marmer onderling te onderscheiden op grond van karakteristieken, bepaald met natuurwetenschappelijke methodes.

Hoe stalen nemen van een kunstwerk?

Wil men de criteria voor onderscheid tussen verschillende marmersoorten, die werden opgesteld aan de hand van groevestalen, toepassen op stalen van kunstwerken, dan moeten dezelfde analytische methoden worden toegepast op dezelfde soort stalen. Het spreekt vanzelf dat het niet zo voor de land liggend is om een staal van 7 g weg te nemen uit een waardevol marmeren beeld. In de praktijk merkt men echter gauw dat het mogelijk is om dergelijke stalen te nemen zonder het kunstwerk ernstige, bijkomende schade toe te brengen. Het ideale ogenblik voor een monsterneming doet zich voor, wanneer een kunstwerk wordt gerestaureerd of wanneer een nieuwe aanwinst in het museum toekomt en voor het eerst wordt klaargemaakt voor tentoonstelling. Bij zulke gelegenheden moeten er hoe dan ook gaten in het werk worden geboord, waarin dan metalen spullen worden verankerd, die de verschillende stukken moeten samenhouden of waarop het kunstwerk zal worden gemonteerd in de tentoonstellingszaal. Heel vaak is het ook mogelijk om een staal te nemen door een bestaande plaasteren restauratie heen en in vrijwel elk geval vertoont het artefact wel een breukvlak of een zijde die niet bewerkt is omdat ze onder normale omstandigheden niet te zien is. Voor de bemonstering wordt een zeer stabiele boormachine gebruikt, die

voorzien is van een holle boor met een kroon, die bezet is met diamant, en die met gedistilleerd water gekoeld wordt. Zo kan men probleemloos een cilinder van 1,5 cm diameter en een lengte van minstens 4 cm uit het marmer weghalen. De buitenste cm van deze cilinder wordt niet voor analyse gebruikt, omdat verwerking en vervuiling de karakteristieken van de buitenste marmerlaag kunnen hebben veranderd. Uit de overblijvende 3 cm worden stalen gemaakt, die geschikt zijn voor de verschillende analysemethoden. Tot nog toe werden voor dit werk meer dan 100 kunstwerken bemonsterd in opdracht van bekende musea in Europa en de Verenigde Staten. Er werd ondermeer gewerkt voor het Antikenumuseum in Basel (Zwitserland), de Glyptothek in München (Duitsland), het Museum of Fine Arts te Boston (U.S.A.) en het J. Paul Getty Museum in Malibu (U.S.A.).

De methode voor herkomstbepaling in actie

Om een ruw idee te geven van de resultaten van wetenschappelijke herkomstbepaling en van de gevolgen ervan voor de kunstgeschiedenis, kan men het best enkele voorbeelden bespreken.

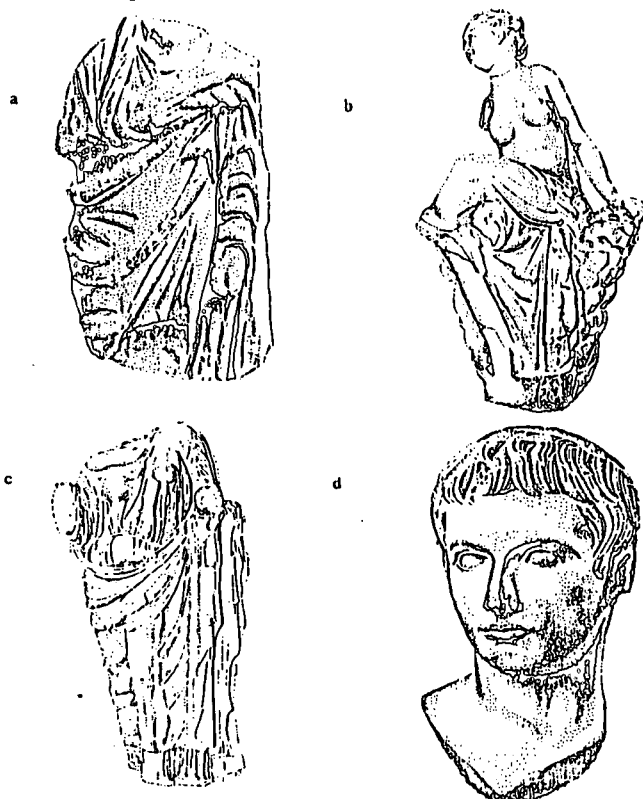


Fig.5.: a. Fragment van een grafreliëf (hoogte: 24 cm, breedte: 13 cm); copie uit de 1e eeuw n.Chr. naar een werk uit de 4e eeuw v.Chr.; b. Menade (hoogte: 115 cm, breedte: 62 cm); Romeinse copie uit het begin van de 2e eeuw n.Chr. naar een 4 eeuwen ouder origineel; c. Venus (hoogte: 150 cm, breedte: 71 cm); algemeen beschouwd als een Romeinse copie uit de 1e of 2e eeuw n.Chr., naar een verloren gegaan origineel van rond 400 v.Chr. d. Protret van keizer Augustus (hoogte: 30 cm, breedte 24,5 cm); zou een vervalsing uit de 20e eeuw zijn.

Eén van de eerste kunstwerken die met de voorgestelde multi-methode techniek werden onderzocht, was een fragment van een grafreliëf uit een privé collectie (zie figuur 5a). Dit fragment stelt een vrouw voor en is wellicht een kopie uit de eerste eeuw n.Chr. naar een origineel werk van het einde van de vierde eeuw v.Chr. Het isotopisch signalement van het marmer laat geen eenduidig besluit toe, vermits het gesitueerd is in een zone van het diagram, waar de isotopenvelden van de groeven van Naxos en Pentelikon elkaar overlappen (zie figuur 3). De marmers van deze twee groevegebieden zijn echter duidelijk te onderscheiden via hun sterk verschillend Mn- en Fe-gehalte en door een verschillende maximale grootte van de calciekorrels. Wanneer men met deze parameters clusteranalyse toepast op de gegevens, bepaald voor het reliëf en voor alle stalen van Naxos en Pentelikon, dan ziet men duidelijk dat het reliëf gemaakt is met marmer van de Pentelikon.

Over de herkomst van een Jonge Menade (figuur 5b) van het Musée d'art et d'histoire te Genève (Zwitserland) was nauwelijks iets geweten. Op stilistische gronden zou men het een Romeinse kopie noemen uit het begin van de tweede eeuw n.Chr. naar een vier eeuwen ouder origineel. Het isotopensignalement van het marmer ligt in een zone waar de velden van Carrara, Marmara, Paros en Aphrodisias elkaar overlappen (zie figuur 3). Discriminantanalyse, steunend op chemische en petrografische karakteristieken, laat toe het onderscheid tussen deze vier marmertypes te maken. Met deze techniek kan dan ook worden aangetoond dat de Menade naar alle waarschijnlijkheid uit marmer van Paros is gemaakt.

In het Musée d'art et d'histoire te Genève werden ook stalen genomen van een beeld van de godin Venus (figuur 5c). Algemeen werd aangenomen dat het hier ging om een Romeinse kopie uit de eerste helft van de tweede eeuw n.Chr. naar een verloren gegaan Grieks origineel van rond 400 v.Chr. Als kopie werd het beeld als minder waardevol beschouwd en daarom niet tentoongesteld. De bemonstering kon dan ook gemakkelijk gebeuren, terwijl het beeld in een opslagplaats van het museum lag. In dit geval liet isotopenanalyse alleen reeds toe om de herkomst van het marmer te achterhalen. In het isotopendiagram vindt men het beeld inderdaad terug in een zone die enkel wordt bezet door het "lychnites" marmer van het eiland Paros (zie figuur 3). Deze zeer doorschijnende marmer-soort was in de oudheid zo waardevol, dat ze werd opgehaald uit ondergrondse tunnels die de marmeraders tot diep onder de grond volgden. Het Venusbeeld bleek dus gemaakt te zijn uit het meest waardevolle en mooiste marmer dat in de Oudheid voorhanden was. Voor de conservator van het museum kwam dit nieuws als een aangename verrassing. Hij meende inderdaad dat het gebruik van een zo waardevol materiaal er op zou kunnen wijzen dat het kunstwerk eigenlijk een Griekse kopie en wie weet zelfs het verloren origineel zou kunnen zijn. Wie vandaag het museum in Genève bezoekt zal deze Venus dan ook in de tentoonstellingsruimte terugvinden, en wel in de Griekse zaal en onder de naam Aphrodite.

Elk museum en elke kunstverzamelaar wordt geconfronteerd met de plaag van de vervalsingen. Nu zijn er gevallen waarin herkomstbepaling toelaat om vervalsingen te ontmaskeren. Een vals beeld kan inderdaad als zodanig worden herkend wanneer het gekapt is uit een marmer-soort, die op het ogenblik dat, of de plaats waar het werd vervaardigd, niet beschikbaar kan zijn geweest. Tijdstip (en plaats) van vervaardiging kan de kunsthistoricus soms afleiden uit stilistische kenmerken, terwijl natuurwetenschappelijk onderzoek de herkomst van het marmer aan het licht kan brengen. Neemt men als voorbeeld een Cycladisch idool, dan is het evident dat dit enkel met marmer van de Cycladen kan gemaakt zijn. Een dergelijk kunstwerk kan niet uit marmer van Carrara zijn gekapt, vermits Carrara marmer maar vanaf de eerste eeuw v.Chr. werd geëxporteerd, wat duizenden jaren te laat is. Een portret van keizer Augustus uit het Musée d'art et d'histoire te Genève werd door verschillende specialisten als vals beschouwd (figuur 5d). Zij gingen ervan uit dat het ging om een kopie uit de jaren twintig van deze eeuw, gemaakt in één van de vele ateliers rond Carrara. Dergelijke ateliers hebben inderdaad zeer veel kopieën geproduceerd van Romeinse sculpturen die moesten dienen om de gebouwen van de fascistische partij en later van de fascistische regering te versieren en dus bedoeld waren als propagandistische illustratie van het luisterrijke nationale verleden. Voor deze kopieën werd Carrara marmer gebruikt.

De analyse van het marmer van het Augustus-portret toonde echter ontegensprekelijk aan, dat het hier ging om Pentelisch marmer. De stabiele isotopen wezen reeds in die richting (zie figuur 3) en de chemische en petrografische informatie bevestigden de Pentelische herkomst.

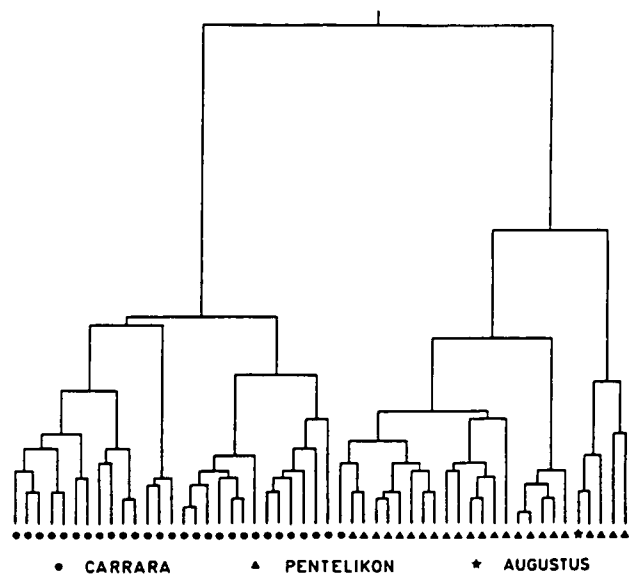


Fig. 6: Dendrogram waarin de resultaten zijn voorgesteld van clusteranalyse, toegepast op de chemische en petrografische data voor de groevestalen van Carrara en Pentelikon en voor het staal van het portret van Augustus (fig. 5d)

Directe vergelijking tussen het marmer van de Augustus en dat van Carrara enerzijds en Pentelikon anderzijds, laat er niet de minste twijfel over bestaan dat het marmer niet van Carrara en duidelijk wel van Pentelikon afkomstig is. Dit wordt geïllustreerd in het dendrogram, voorgesteld in figuur 6, dat het resultaat is van clusteranalyse. Deze duidelijke conclusie betekent nog niet dat het portret authentiek zou zijn. Alleen wordt de theorie, als zou het gaan om een kopie van het begin van deze eeuw, die voor fascistische propaganda zou zijn gemaakt, er veel minder waarschijnlijk door.

Noot:

1. Luc J.M.G. Moens, Universiteit Gent, Laboratorium voor Analytische Scheikunde, Proeftuinstraat 86, B-9000 Gent (België).

Referenties

Herz, N. and M.Waelkens (eds.)(1988). *Classical marble, technology, trade*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 482 pag.

Waelkens, M., N.Herz and L. Moens (1992). *Ancient stones: quarrying, trade and provenance*. Leuven: Leuven University Press, 296 pag.



Goethe contra Newton - Een controverse over waar- neming en werkelijkheid¹

R.L. van Renesse



De beroemde geschiedenis van Goethe's (1749-1832) heftige oppositie tegen de opvattingen die Newton (1642-1727) ontwikkelde over de aard van het licht, speelt zich af op meer dan een louter fysisch niveau. In wezen illustreert deze geschiedenis de centrale rol die onze perceptie kan spelen in het tot stand komen van opponerende wereldbeschouwingen. Een bevredigend inzicht in deze controverse kan daarom niet worden verkregen wanneer men zich slechts tot natuurwetenschappelijke argumenten wenst te beperken.

In dit artikel wordt getracht aan beide aspecten van deze controverse enige aandacht te schenken. Met name zullen de modificatietheorie van het licht en de daarmee samenhangende polaire aard van onze ervaringswereld nader worden beschouwd.

De geschiedenis neemt een aanvang in het jaar 1666; de 24 jaar oude Isaac Newton begint dan zijn beroemde serie prismatische experimenten. Newton's motief hiertoe is de hinderlijke kleurfout die optische instrumenten zoals de telescoop -die slechts uit enkelvoudige lenzen is samengesteld- vertonen. Nadat hem is gebleken dat deze kleurfout niet is te elimineren door de toepassing van door hemzelf geslepen asferische lenzen, besluit hij deze kleurverschijnselen fundamenteel te onderzoeken met behulp van een prisma. Newton maakt hiertoe gebruik van een eenvoudig wetenschappelijk instrument: de camera obscura. De figuur op de volgende bladzijde toont de inrichting van het basisexperiment, aan de hand van een schets van Newton zelf. In zijn vensterblinde heeft Newton een gaatje aangebracht; het hierdoor vallende zonlicht wordt door het prisma gebroken in de richting van de tegenoverliggende muur, waarop zich dan een afbeelding van de zon vormt, in intensieve kleuren uiteenwaaiend: een lichtspectrum. Uit deze en andere waarnemingen trekt Newton tenslotte de volgende conclusies²:

- Lichten die in kleur verschillen, verschillen ook in hun mate van breekbaarheid (refrangibility).

- Het licht van de zon bestaat uit stralen met verschillende breekbaarheid.

Volgens Newton bestaat dus het zonlicht uit stralen met verschillende kleuren, die door het prisma ruimtelijk kunnen worden gescheiden. Kortom: de prismatische kleuren zijn reeds alle in het witte licht tegenwoordig. Deze conclusie is in volkomen tegenspraak met de tot in Newton's tijd algemeen gehuldigde 'modificatietheorie', die berust op de aanname dat kleur eerst kan ontstaan uit de wederzijdse werking van licht en duisternis; met andere woorden: kleur ontstaat middels de modificatie van het licht door de duisternis. Hoe zulk een modificatie precies in zijn werk zou gaan, bleef echter vaag. Op grond van zijn omvangrijke en originele prismatische experimenten meent Newton tenslotte de modificatietheorie te hebben weerlegd.

De moderne natuurwetenschap heeft zich achter deze visie van Newton op de aard van het licht geschaard en huldigt dus de opvatting dat het witte licht uit verschillende kleuren (zo men wil golf lengten) bestaat.

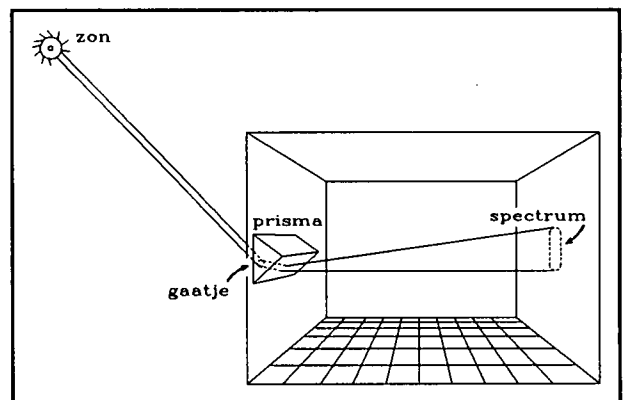


Fig.1: Newton's prismatische experiment in de camera obscura (naar een tekening van Newton).

In hoeverre wordt deze opvatting nu werkelijk ondersteund door de experimenten met prismatische kleurverschijnselen? Laten wij de inrichting van de besproken proef eens kritisch beschouwen.

Uit figuur 1 blijkt, dat het experiment wordt gekenmerkt door de volgende drie essentiële onderdelen.

1. *Een object.*

In Newton's experiment is dit **de zon**; in moderne spectroscopen is dit in het algemeen een nauwe, verlichte spleet of een puntbron.

2. *Een afbeeldend instrument.*

In Newton's experiment is dit **het gaatje in de vensterblinde**; in een spectroscop is dit meest een lensstelsel of een holle spiegel. Wanneer wij een prisma voor het oog houden om de kleurverschijnselen waar te nemen, vervult de ooglenzen de rol van afbeeldend instrument.

3. *Een afbeelding via een kleurschiftend element.*

In Newton's experiment wordt de **afbeelding van de zon** -via het prisma als kleurschiftend element- **op de tegenoverliggende muur** gevormd. In spectroscopen wordt de spleetafbeelding in een oculair, op een fotografische film of op een fotogevoelige cel geprojecteerd. Het kleurschiftende element is dan een prisma, een samenstel daarvan en/of een buigingstralie. Met het prisma voor het oog, wordt de afbeelding van het object natuurlijk op ons netvlies gevormd.

Welk prismatisch experiment of spectroscopische inrichting men ook beschouwt, simpel of geavanceerd, onveranderlijk zijn deze drie onderdelen het kenmerk.

Zoals gezegd, gebruikte Newton voor zijn prismatische proef een opstelling die wij kennen als de *camera obscura*, de 'donkere kamer' ofwel de 'gaatjes-camera' (Eng. 'pinhole camera'). Newton's schets van de stralengang daarin (figuur 1) komt echter in het geheel niet met de werkelijkheid overeen. De oorzaak daarvan is dat Newton zich simpelweg voorstelt dat hij te maken heeft met een bundeltje zonlicht dat door het prisma in kleuren uiteenwaaiert. Wij zullen echter zien dat dit een ongefundeerde voorstelling van zaken is. Merkw aardig genoeg wordt deze onjuiste weergave van de stralengang in Newton's prismatische experiment zelfs heden ten dage nog klakkeloos in de meeste tekstboeken overgenomen. De voorbeelden daarvan zijn helaas legio.

Een meer met de werkelijkheid overeenstemmende weergave van de stralengang is geschetst in figuur 2, waarin de principewerking van de camera obscura is weergegeven.

In het gaatje snijden de gedachte stralen elkaar. De ervaring leert dat door het gaatje een omgekeerde en gespiegelde afbeelding van het licht-object wordt gevormd. Dit licht-beeld -op een donkere achtergrond- kenmerkt zich, als ieder beeld, door zijn licht-duister contrast.

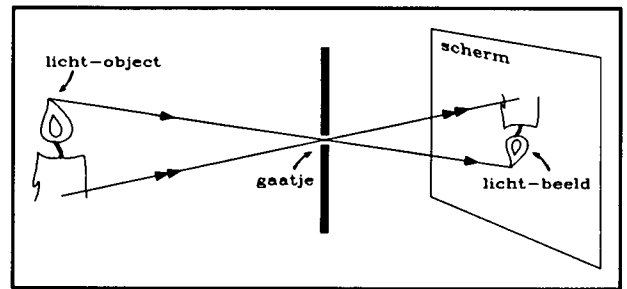


Fig.2: Principeschets van de stralengang in de camera obscura.

Een beeld is onloochenbaar een verbinding van licht en duisternis.

Voor een juist begrip van het feit dat deze proeven niet slechts om licht, maar om beelden draaien, verdient het aanbeveling een tegenproef te doen. Hiertoe vervangt men het gaatje door een "dichtje". Er ontstaat dan geen lichtbeeld op een donkere achtergrond, maar juist een schaduw-beeld op een lichte achtergrond. In tegenstelling tot de camera obscura kan men deze opstelling de *camera lucida*, ofwel de 'lichte kamer' (Eng. 'pin-speck camera') noemen. De stralengang is geschetst in figuur 3.

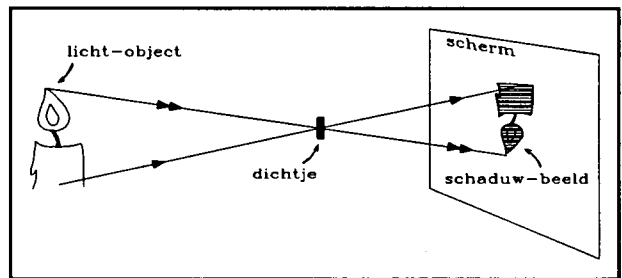


Fig.3: Principeschets van de stralengang in de 'camera lucida'.

De camera obscura en de camera lucida vullen elkaar aan, zij zijn complementair.

Een beschouwing van de prismatische proeven mag niet beperkt blijven tot de camera obscura aspecten daarvan, maar beide complementaire proeven dienen aan een meer volledige beschouwing van de kleurenleer ten grondslag te liggen.

Inmiddels is het duidelijk dat de stralengang in Newton's prismatische experiment overeenkomt met die in de camera obscura en dat, bij afwezigheid van een prisma voor het gaatje in de vensterblinde, op de vloer van de camera obscura een omgekeerd en gespiegeld zonnebeeldje gevormd zal worden. Dit is geschetst in figuur 4. Die omkering en spiegeling zijn, in het geval van de ronde zonnenschijf, natuurlijk niet zondermeer waarneembaar en daardoor komt de verkeerde voorstelling van een door het prisma uitwaaiend lichtbundeltje ook zo gemakkelijk tot stand. Heeft Newton ooit waargenomen dat een wolk, die voor de zon schuift, buiten een andere bewegingsrichting heeft dan de prismatische afbeelding van de wolk binnen

de camera obscura? Wij weten het niet. Het heeft hem in ieder geval niet op andere gedachten gebracht.

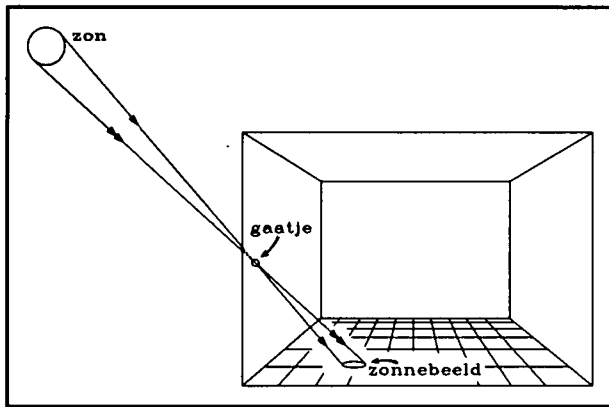


Fig.4: Afbeelding van de zon op de vloer van de camera obscura.

Goethe wijst er bij herhaling en met grote nadruk op, dat wij bij al deze proeven met beelden te maken hebben, met een samenspel van licht en duister dus. De juistheid van Goethe's standpunt is onloochenbaar en het is het daarom niet goed in te zien hoe Newton's gevolgtrekking uit zijn prismatische proeven, dat het licht uit verschillende kleuren bestaat, is staande te houden.

Uit deze nadere beschouwing volgt nu, mogelijk enigszins verrassend, dat al dergelijke experimenten in feite juist een hechte ondersteuning vormen voor de antieke modificatietheorie. Immers, ieder kleurenspectrum is steeds een *afbeelding* van een object, dat -per definitie- wordt gekenmerkt door zijn licht-duister contrast met de achtergrond. Zonder dit licht-duister contrast kan met geen mogelijkheid een kleurenspectrum worden gevormd, kan geen spectroscop functioneren en zou de regenboog niet aan onze hemel staan!

Men denke zich slechts in dat Newton zijn experimenten zou hebben uitgevoerd met een egaal bewolkte hemel -er zou dan geen sprake zijn geweest van enig prismatisch kleurverschijnsel- en men ziet in, dat de prismatische kleuren slechts kunnen worden waargenomen op de grens tussen licht en duisternis en dat dus geen van Newton's experimenten de modificatietheorie weerlegt.

Opmerkenswaardig is, dat wij dit op grond van de directe waarneming kunnen constateren, het is niet nodig te hypothetiseren, zodat wij mogen vermoeden dat de modificatietheorie in feite geen theorie als zodanig is, doch een direct uit de prismatische fenomenen afleidbaar feit. Daarentegen blijkt Newton's conclusie dat alle kleuren reeds in het witte licht zijn vervat, volstrekt hypothetisch, principieel niet op directe waarneming baseerbaar en blijkbaar met geen mogelijkheid binnen de waarneembaarheid te brengen.

In zijn uitgebreide toelichtingen op Goethe's natuurwetenschappelijke werk formuleert Rudolf Steiner (1861-1925) zijn visie op de hypothesevorming als volgt:

'Een hypothese is een aanname die wij maken en waarvan wij ons niet direct, doch slechts door haar werkingen kunnen overtuigen. Wij zien een verschijningsreeks. Deze wordt ons slechts verklaarbaar wanneer wij iets als grondslag nemen, dat wij niet direct kunnen waarnemen. Mag zulk een aanname zich tot een principe uitbreiden? Blijkbaar niet. Want iets innerlijks, dat ik vooropstel, zonder het gewaar te worden, is een volkomen tegenspraak. De hypothese kan slechts iets aannemen, dat ik weliswaar niet waarneem, maar wel dadelijk waar zou nemen, wanneer ik de uiterlijke hindernissen uit de weg zou ruimen. **De hypothese kan weliswaar niet het waargenomene, zij moet echter het waarneembare vooropstellen.** Zo geldt voor iedere hypothese dat haar inhoud door een toekomstige ervaring direct kan worden bevestigd. Slechts hypothesen die kunnen ophouden het te zijn, hebben bestaansrecht'³.

In zijn Sprüche in Prosa zegt Goethe over hypothesen het volgende:

'Hypothesen zijn steigers, die men voor het gebouw opricht en die men afbreekt, wanneer het gebouw klaar is; zij zijn voor de arbeider onontbeerlijk; alleen moet men de steigers niet voor het gebouw aanzien.'

De idee, dat hypothesen in principe verifieerbaar of falsifieerbaar zouden dienen te zijn, wordt plausibel wanneer men bedenkt dat hypothesen waarvoor dit aantoonbaar onmogelijk is, geen waarheidskarakter kunnen bezitten, tenzij men vasthoudt aan het bestaansrecht van hypothesen die 'onbewijsbaar waar' zouden kunnen zijn. Newton's hypothese over de aard van het witte licht zou dan tot deze categorie moeten behoren. Per definitie echter kan de juistheid van dergelijke 'onbewijsbaar ware' hypothesen nooit worden aangetoond. Wanneer men inziet dat een dergelijke transcendente begripsinhoud van de hypothese daarom vanuit Goethe's standpunt zinledig is, wordt de aard van de controverser mogelijk transparant: **slechts het waarneembare vormt voor Goethe een gerechtvaardigd uitgangspunt voor het denken.**

Is men overigens de mening toegedaan, dat het waarheidskarakter van een hypothese in het geheel niet terzake doet of zelfs onmogelijk een aspect van het hypothetische kan vormen, dan verwacht men dit begrip met een utilitair denkmodel, waarbij de operabiliteit en niet de betekenis van de fenomenen voorop staat; men gaat dan voorbij aan de wezenlijke inhoud van het begrip hypothese zoals Steiner dat bezigt. Is niet het eerste dat wij bij de vorming van een hypothese vooropstellen, de mogelijke zinvolle waarheidsinhoud daarvan?

Een, in het kader van dit artikel passend, voorbeeld van een hypothese die vanuit dit oogpunt bestaansrecht zou hebben, was die van Thomas Young (1773-1829), dat ons netvlies drie typen kleurgevoelige elementen zou bevatten: rood-, groen- en violetgevoelige⁴. Talloze waarnemingen

maakten inderdaad plausibel dat ons netvlies met kegeltjescellen van deze drie kleurgevoeligheden zou zijn uitgerust, maar de verificatie van Young's hypothese vond eerst ruim anderhalve eeuw later plaats. Young's hypothese heeft sinds kort opgehouden te bestaan daar zij een waarneembaar feit is geworden⁵.

Het is Johann Wolfgang von Goethe geweest die, in zijn kleurenleer en zijn polemieken tegen Newton, categorisch de aandacht vestigde op het feit dat de prismatische experimenten afbeeldingsexperimenten zijn, die de hypothese dat kleur uit licht zowel als duisternis wordt gevormd, binnen de directe waarneming brengen; waarmee de modificatietheorie zijn hypothetisch karakter verliest.

Goethe's strijd heeft voorsnog weinig succes gehad; de moderne natuurwetenschap heeft zich, zoals wij zagen, achter Newton's opvattingen geschaard.

Hoe is dit mogelijk, wanneer de argumenten voor de modificatietheorie toch valide lijken te zijn? Een belangrijke reden is, naar ik meen, dat de natuurwetenschap zich eenzijdig is gaan richten op de operabiliteit van de verschijnselen. Vervolgens wordt dan operabiliteit zelfs het vooropstaande criterium voor natuurwetenschappelijke theorieën en resultaten. Ja, zelfs wordt tenslotte vastgehouden aan operabiliteit als maat voor de juistheid van de onderliggende hypothesen, hoezeer hun inhoud ook transcendent is, verifieerbaar noch falsifieerbaar.

In Goethe's denken nu, treedt het begrip operabiliteit niet op de voorgrond, daar dit geen noodzakelijke voorwaarde is om tot het wezen, de betekenis van de verschijningswereld door te dringen. De vruchtbaarheid van Goethe's denkbeelden dient daarom niet uit het al of niet bestaan van technologische toepassingen daarvan te worden afgeleid.

Overigens kan worden opgemerkt, dat een beschouwing van de ons bekende kleurfenomenen aantoont, dat deze onveranderlijk verklaard worden uit polaire principes als straling-materie (emissie-absorptie), versterking-uitdoving (interferentie), additief-subtractief (kleurmengingen); principes die, mij dunkt, onmiskenbaar afgeleid zijn van de idee der licht-duister polariteit. Het blijkt, dat wij van het 'licht als zodanig' niets kunnen zeggen. Fysische uitspraken over licht- en kleurverschijnselen zijn steeds, impliciet of expliciet, modificatietheoretische uitspraken. Hiermee samen hangt het inzicht van Goethe, dat onze waarneming van de kleurverschijnselen, ja van de gehele verschijningswereld, een polair karakter heeft. In Goethe's Farbenlehre zijn nu die verschijnselen vooropgesteld, die in de polaire natuur van het gezonde gezichtsorgaan zelf hun oorsprong vinden en door Goethe als noodzakelijke voorwaarden voor het zien worden beschouwd: de nabeeldverschijnselen en de gekleurde schaduwen, waarbij de kleuren ons in complementaire paren verschijnen.

Goethe is de eerste die inziet dat dergelijke vluchtige verschijnselen wetmatig samenhangen en van fysiologi-

sche aard zijn; zij vormen het fundament van zijn kleurenleer en openbaren voor hem de wetten der 'chromatische harmonie' uit het scheppend vermogen van het gezichtsorgaan zelf. Hieruit ontwikkelt Goethe, als sluitstuk van zijn kleurenleer, een kleurenesthetiek, gebaseerd op de harmonie der complementaire kleuren. Met het menselijk gezichtsorgaan als fundament, schept Goethe een unieke kleurencyclus, die na een ommegang door fysische en chemische kleurverschijnselen, tenslotte weer, op een hoger niveau, bij de mens zelf terugkeert.

Een directe bevestiging van de polaire aard van onze kleurperceptie kunnen wij door innerlijke waarneming verkrijgen. Hoewel deze kleurperceptie is gebaseerd op de aanwezigheid van drie typen kleurgevoelige elementen in ons netvlies, vinden wij daarvoor in onze ervaring van de kleurenwereld geen directe aanwijzingen. Uit niets blijkt een drievoudige indeling van ons kleurbeleven in 'roden', 'groenen' en 'violetten'.

Nee, onze kleurbeleving is die van 'warme' en 'koele' kleuren, naast kleuren die wij kenschetsen als 'warm noch koel' (neutrale groentonen) of kleuren die wij 'zowel warm als koel' noemen (de purper-tonen). Naast licht en duister zijn dus niet meer dan twee polaire categorieën in eerste instantie voor onze kleurperceptie aanwijsbaar: 'warm' en 'koel'. En met deze fundamentele uitdrukkingen zijn, zoals in figuur 5 is weergegeven, alle primaire kleuren te benoemen.

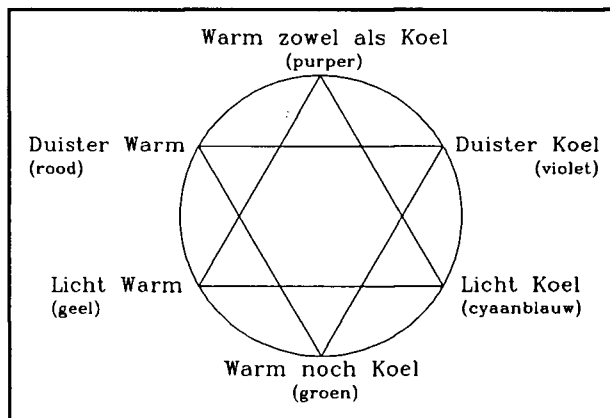


Fig.5: De primaire kleuren in Goethe's kleurencirkel: uitgedrukt in de polariteiten licht-duister en warm-koel.

Dit polaire karakter van onze kleurwaarneming wordt op verrassende wijze geïllustreerd door een prismatisch experiment. De afbeelding, via een prisma, van het eenvoudigst denkbare contrast, een enkele zwart-wit begrenzing, toont ons, afhankelijk van de orientatie van het prisma, een warme geel-rode kleurzoom of een koele blauw-violetten kleurzoom. In zijn eenvoud omvat dit experiment de grondvoorwaarden voor het tot stand komen van de prismatische kleuren; hierom beschouwt Goethe het aldus waargenomen polaire kleurverschijnsel als 'oerfenomeen'. Ieder hypothetiseren achterwege latend, zich beperkend tot zuivere waarneming, slaagt Goethe er vervolgens in alle prismatische verschijnselen uit dit oerfenomeen af te leiden.

Het lichtspectrum ontstaat aldus uit het in elkaar schuiven van de koele en warme kleurzomen, wanneer men een lichtspleet vernauwt. Zo schuiven de gele en de blauwe band in elkaar en vormen allengs het spectrale groen, waarbij het oorspronkelijke geel en blauw tenslotte verdwijnen. Met de spleetbreedte verandert dus het kleurengamma dat wij waarnemen volkomen en niet ten onrechte wijst Goethe erop dat deze toegevoegde voorwaarde het verschijnsel tot een ingewikkelder maakt dan het oerfenomeen van de warme en koele kleurzomen.

Hierom, redeneert Goethe, kan het spectrum niet anders dan als een van het onveranderlijke oerfenomeen afgeleid verschijnsel worden beschouwd.

Goethe is in 1791 de eerste die beschrijft dat een spectrum, verkregen door een zeer nauwe spleet, wanneer dit in zijn geheel waargenomen wordt, in hoofdzaak uit slechts drie kleuren bestaat: rood, groen en violet; geel en blauw zijn in dit spectrum dan niet of nog nauwelijks waarneembaar. Dit merkwaardige verschijnsel treedt op wanneer men, met een prisma voor het oog, een lichtspleet observeert ('subjectief spectrum'), zowel als wanneer men een spectrum op een scherm projecteert ('objectief spectrum'). Niet onvermeld mag voorts blijven, dat Goethe ook de aan dit effect polaire verschijnselen demonstreert, waarbij respectievelijk de aan rood, groen en violet complementaire kleuren blauw, magenta en geel verschijnen⁶.

Eerst in 1873 werd dit effect door Von Bezold en in 1878 onafhankelijk door Brücke -die onkundig waren van Goethe's waarnemingen- opnieuw ontdekt^{7,8}. Zij schreven dit, terecht, toe aan de structuur van ons netvlies met zijn rood-, groen- en violetgevoelige kegeltjescellen. In feite nemen wij bij deze proef rechtstreeks de spectrale gevoeligheid van onze eigen ogen waar.

Geenszins toevallig nu is het, dat dit effect volledig in overeenstemming is met de door Goethe ontwikkelde verklaring voor het ontstaan van de prismatische kleurverschijnselen; de verschijnselen zelf immers, in hun dynamische samenhang, zijn het uitgangspunt voor Goethe's fenomenologische beschouwingswijze en hangen daarmee onverbreekelijk samen!

Uiteraard is dit effect eigen aan ieder trichromatisch systeem (ons oog, kleurenfilm, tristimulusmeters, kleurencamera's, etc.) en de wel gemaakte tegenwerping, dat Goethe hier fysische en fysiologische verschijnselen dooreen haalt, komt mij daarom niet bijzonder doeltreffend voor. Want wordt toch dit onderscheid niet geheel irrelevant, wanneer wij hetzelfde effect hier fysisch, daar fysiologisch zouden willen noemen, afhankelijk van de aard van het kleurgevoelige systeem waarin het optreedt?

Het is de grote kracht van Goethe's uiteenzettingen, dat hij zich beperkt tot de fenomenen zelf, waardoor zijn visie een onweerlegbaar karakter verkrijgt, losstaand van onverifieerbare theorieën. Het lijkt mij daarom onjuist wanneer men Goethe's Farbenlehre zondermeer tot theorie bestempelt.

Welk standpunt men overigens ook tegenover deze controverser wenst in te nemen, opmerkelijk blijft wel dat deze duidelijk illustreert dat wij, geconfronteerd met relatief eenvoudige waarnemingen, tot zeer uiteenlopende opvattingen kunnen komen over de werkelijkheidsinhoud daarvan.

Ondanks de eeuwen van natuurkundig onderzoek sinds Newton lijkt het laatste woord over deze polariserende kwestie nog lang niet te zijn gesproken.

Verwijzingen

1. Dit artikel verscheen, in verkorte vorm, in het themanummer "Waarneming en Werkelijkheid" van *Wijsgerig Perspectief* 26, nr. 3 (1985/1986), p. 93-97. In de huidige vorm is het artikel opgenomen in de artikelenbundel "Goethe's Kleurenleer", uitgegeven door R.L. van Renesse, Willem de Zwijgerlaan 5, 2582 ED 's-Gravenhage.
2. Sir Isaac Newton, *Opticks Book I, Part I, Prop.I en Prop.II*, p. 20 en 26, Dover Publications, inc., New York 1952. (gebaseerd op de 4e editie van 1730).
3. Rudolf Steiner, 'Über Erkenntnisgrenzen und Hypothesenbildung', inleiding tot ref.5, Band II, p. XLI-XLIII.
4. Thomas Young, Lecture nr.XXXVII, 'On Physical Optics', p. 440-441, *Lectures Vol.I* (1807).
5. H.J.A. Dartnall e.a., 'Microspectrophotometry of Human photoreceptors'; *Color Vision, physiology and psychophysics*, p. 69-80; ed. J.D. Mollon and L.T. Sharpe, Academic Press, London/New-York (1983).
6. Johann Wolfgang von Goethe, *Naturwissenschaftliche Schriften*, Rudolf Steiner Verlag, Dornach/Schweiz 1982; Band III, Beiträge zur Optik (1791), § 58-62 en Zur Farbenlehre (1810), 'subjectief' spectrum: § 214--217, 244-247, 340, 'objectief' spectrum: § 332-334, zie ook de verklarende tekst bij de illustraties V en VI.
7. Wilhelm von Bezold, *Poggendorff's Annalen* 150, p. 221-247 (1873).
8. Ernst Brücke, *Wiener Berichte* 77, III, p. 39-71 (1878).

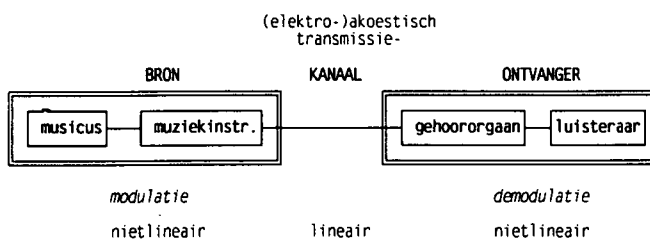
Muziek en natuurkunde

De aardse kanten van een hemelse kunst

C.A.G.M. Tempelaars



Fysici zijn vaak de mening toegedaan dat hun vak van oudsher een belangrijke rol speelt in de muziek, waarbij ze dan steevast verwijzen naar Pythagoras. Toch zijn er velerlei beschouwingen van muziek mogelijk, muziekfilosofische, -sociologische, -therapeutische e.a., waarin de natuurkunde geen rol speelt, evenmin als in de vaktheorie (contrapunt, harmonieleer etc.). Het feit dat in de opleiding van de vakmusicus de natuurkunde niet aan bod komt is m.i. verbazingwekkend, want zo gauw een musicus zijn spieren gaat activeren wordt een proces op gang gebracht dat in al zijn onderdelen tot en met de prikkeling van de gehoorzenuw van de luisteraar, onmiskenbare en soms zeer uitgesproken fysische aspecten heeft. Het gaat hier om een communicatieproces dat als volgt schematische in beeld kan worden gebracht:



Uit dit schema kunnen de betrokken mathematische en fysische disciplines worden afgeleid: 'trillingen en golven' (akoestiek van muziekinstrumenten), signaal- en systeemtheorie, ruimte-akoestiek, elektro-akoestiek en registratietechniek, psycho-akoestiek.

Een heel karakteristiek aspect van dit communicatieproces is verder dat voor de informatie-overdracht gebruik wordt gemaakt van *modulatie*. De noodzaak van deze hulptechniek komt voort uit het feit dat de luchtdrukfluctuaties die een mens met zijn spieren kan veroorzaken, betrekkelijk langzaam zijn. Dergelijke laagfrequente signalen kunnen echter absoluut niet efficiënt worden uitgestraald; hun golflengte is immers vele malen groter dan de afmetingen

van de bron, het menselijk lichaam. Bovendien vallen vele 'natuurlijke' luchtdrukfluctuaties in hetzelfde frequentiegebied, waardoor de signaal/ruis-verhouding nog veel slechter wordt.

In het begin van de twintigste eeuw kampten de ingenieurs die probeerden met radiogolven spraaktransmissie mogelijk te maken, met een vergelijkbaar probleem. Zij losten dat op door gebruik te maken van amplitudemodulatie: zij lieten de amplitude van een verder constante hulptrilling, de draaggolf, variëren overeenkomstig het over te zenden signaal.

De consequenties van het toepassen van modulatie zijn de volgende:

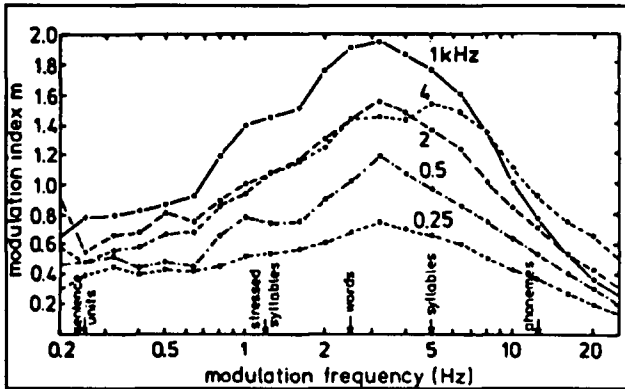
- Door de hogere frequentie van de draaggolf kunnen de afmetingen van de bron worden aangepast aan de golflengte van het signaal, waardoor een efficiënte uitstraling wordt bereikt.
- Het frequentiegebied van het uitgezonden signaal wordt verschoven. Daardoor kan het signaal gemakkelijker worden onderscheiden van andere signalen (inclusief storingen) en verbetert de signaal/ruis-verhouding.
- Aan de ontvangtzijde moet het modulerende signaal worden gereconstrueerd door het te onttrekken aan de gemoduleerde draaggolf. Dit proces heet *demodulatie* en is meestal alleen mogelijk als het modulerende signaal en de draaggolf in verschillende frequentiegebieden liggen.

Bij spraak- (en muziek-)productie treffen we vergelijkbare, zij het gecompliceerdere modulatieprocessen aan: de stembanden wekken een relatief snelle trilling op die via frequentiemodulatie, amplitudemodulatie en 'spectrale' modulatie van informatie wordt voorzien.

De consequenties bij deze 'natuurlijke' modulatie zijn dezelfde als bij technische modulatie: een redelijk efficiënte uitstraling door de mond, een betere bescherming van het signaal tegen storingen (waaronder andere stemgeluiden) en een demodulatieproces bij de ontvanger. Het is

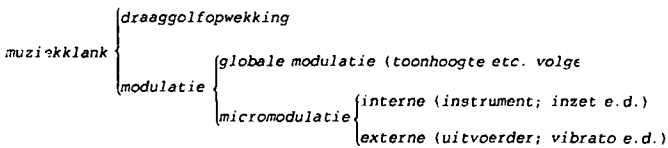
dit demodulatieproces dat wordt bestudeerd in de psychoakoestiek. Plomp heeft de 'diepte' van de amplitudemodulatie bij spraaksignalen in verschillende frequentiegebieden gemeten (Plomp, 1984).

Het resultaat is hieronder weergegeven:



Er kan uit worden afgeleid dat de maximale modulatiefrequentie bij ca. 20 Hz ligt en dus correspondeert met de laagste draaggolffrequentie (= de laagst hoorbare toon) waaruit blijkt dat ook aan de voorwaarde van de niet-overlappende frequentiegebieden is voldaan.

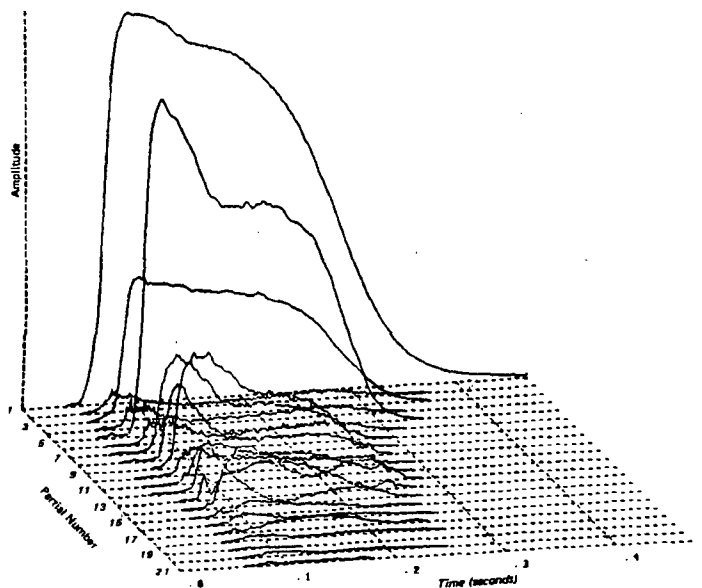
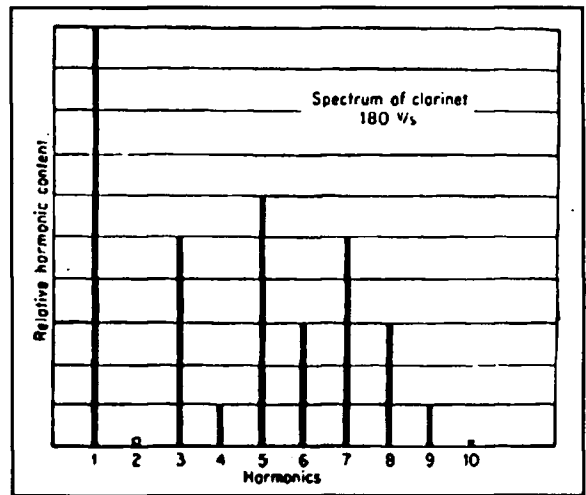
Ook de productie van muzieklanken is een modulatieproces. Een muziekinstrument is een moduleerbare draaggolfgenerator, echter voornamelijk voor amplitude- en frequentiemodulatie, in tegenstelling tot spraak waar de spectrale modulatie het belangrijkste is. We kunnen de verschillende aspecten van de muzikale klank als volgt met elkaar in verband brengen:



Onder 'globale modulatie' versta ik het kiezen van een zodanige tijdsduur, frequentie, amplitude en golfvorm dat de toon de in de partituur voorgeschreven duur, toonhoogte, luidheid en klankkleur(-categorie) krijgt. Daarmee is het signaal vrijwel periodiek; het kan met behulp van enkele parameters beschreven worden en heeft dus een lage graad van complexiteit. Voor de muzikale informatie en expressie is de 'micromodulatie' onmisbaar. Daaronder versta ik alle 'verstoringen' van de regelmatige, globaal gemoduleerde trilling die hetzij door de speler worden teweeggebracht, externe micromodulatie zoals vibrato, dan wel het gevolg zijn van de fysische eigenschappen van het instrument, interne micromodulatie zoals het in- en uitklinken van tonen.

De essentiële rol van de micromodulatie is lange tijd onderschat. De analoge meetapparatuur (spectrum analyzers e.d.) waar men vroeger over beschikte, was niet nauwkeurig genoeg om alle details van deze fluctuaties

aan het licht te brengen. Men heeft toentertijd b.v. verondersteld dat een simpel lijnspectrum zoals in de volgende kolom afgebeeld het timbre van het betreffende instrument volledig zou karakteriseren. De proef op de som, het synthetiseren van de toon op basis van het gegeven lijnspectrum, bewijst het tegendeel. We weten nu dat de spectrale samenstelling van een toon voortdurend verandert. Met behulp van een computer kan een dergelijk tijdafhankelijk spectrum berekend worden en kan van iedere harmonische het verloop in de tijd worden bepaald. Dat levert de afbeelding rechts onder op (ontleend aan de Computer Music Journal). Daarmee is de micromodulatie volledig in beeld gebracht, want Fouriersynthese volgens een dergelijk diagram levert de oorspronkelijke (klarinete)toon weer op.



We kunnen nu formuleren aan welke eisen een 'goed' muziekinstrument moet voldoen:

- a. Het moet een draaggolfgenerator zijn die een efficiënt uit te stralen luchtdrukfluctuatie produceert.
- b. Er moeten voldoende mogelijkheden zijn voor globale modulatie, dus een voldoende groot toonhoogte- en luidheidbereik.
- c. Er moet een 'interessante' interne micromodulatie zijn.
- d. Er moeten voldoende mogelijkheden zijn voor externe micromodulatie.

De balans tussen deze factoren is steeds een compromis en verschilt van instrument tot instrument. Vergelijk b.v. een viool met haar uitmuntende mogelijkheden voor externe micromodulatie, met het kerkorgel met zijn enorme bereik aan globale modulatiemogelijkheden.

De historische ontwikkeling van de muziekinstrumenten is gepaard gegaan met veel 'trial and error'. Daardoor vertoont zij wel enige overeenkomst met een biologisch evolutieproces. We kunnen een stamboom opstellen en daarin het ontstaan, zich aanpassen, het uitsterven van minder geslaagde en het overleven van geslaagde exemplaren in beeld brengen. Sinds het begin van de twintigste eeuw is daarbij het accent verschoven van de mechanische instrumenten via de elektromechanische naar de elektronische instrumenten. Niet dat er op het gebied van de traditionele instrumenten niets meer gebeurd is. Het betreft echter voornamelijk verbeteringen, verfijningen en verfraaiingen van bestaande instrumenten. Nieuwe instrumenten zijn er niet bij gekomen.

Er zijn wel vele nieuwe en soms exotische elektronische instrumenten bedacht, maar die zijn geen van alle erg succesvol geweest (behalve dan in de lichte muziek waar de eisen ten aanzien van structurele complexiteit van tonen anders liggen). Zelfs de meest geslaagde van deze instrumenten, de Onder Martenot, de Theremin en het Trautonium, zijn betrekkelijk weinig toegepast. Met bovenstaande checklist kunnen we de oorzaak van dat geringe succes opsporen:

- Voor vrijwel alle instrumenten geldt dat de er in toegepaste elektronische oscillator vergeleken met de mechanische van de traditionele instrumenten veel te primitief is en daardoor de noodzakelijke interne micromodulatie mist.
- Veel instrumenten worden bespeeld door middel van schakelaars die gekoppeld zijn aan toetsen. Het toepassen van een dergelijk toetsenbord beperkt de mogelijkheden voor externe micromodulatie.

De historie nam kort na de tweede wereldoorlog een onverwachte wending. (Zie ook Weiland et al. 1982.) Componisten waren eigenlijk wel geïnteresseerd in de mogelijkheden van de elektronische klankproductie en -bewerking, maar niet in de elektronische instrumenten. Zij losten het probleem van de te geringe complexiteit van de elektronische klanken op door het real time karakter van het maken van muziek los te laten. Zij bouwden een muzikale compositie in fasen op, waarbij tussenresultaten

op band werden opgeslagen. Hierbij speelde de techniek van de *bandmontage*, het met behulp van plakband aan-eenrijgen van kleine en grote bandfragmenten, een belangrijke rol. Het eindresultaat is een compositie op geluidsband (tape music, elektronische Musik, musique concrète).

Er zijn nog steeds componisten die zich tot deze wijze van werken en het niet afhankelijk zijn van een vertolker aangetrokken voelen en bereid zijn de prijs daarvoor te betalen. Die prijs is een vaak langdurig en moeizaam arbeidsproces, en het feit dat de muziek niet direct tot stand komt, wat voor een communicatieproces een drastische ingreep is.

Nadat de technici en ingenieurs zich bij deze onverwachte ontwikkeling hadden neergelegd en hun fraai bedachte instrumenten hadden opgeborgen, gingen ze toch weer aan de slag, nu met de bedoeling het moeizame en omslachtige van deze wijze van werken wat te verminderen. Dit gebeurde in twee stappen: de introductie van spanningsturing (instellingen van versterkers, generatoren en filters worden met behulp van gelijkspanningen gestuurd) en vervolgens van digitale sturing. Deze keer waren hun pogingen wel succesvol; zelfs zodanig dat er weer (real time) instrumenten ontstonden, zij het van een heel ander type dan te voren: de analoge en de digitale synthesizer. Daarbij speelt nog steeds het probleem van de micromodulatie, de te geringe complexiteit van de elektronisch opgewekte toon en de te geringe mogelijkheden voor de musicus om de toon te beïnvloeden. Op beide terreinen is en wordt duidelijk vooruitgang geboekt. Het tweede probleem is voortvarend aangepakt o.a. door Michel Waisvisz op wiens initiatief in Amsterdam bij de stichting STEIM (en gedeeltelijk ook in Den Haag in een samenwerking met het conservatorium) wordt gewerkt aan nieuwe 'interfaces' zoals De Handen (handschoenen vol met sensoren, transducers en schakelaars) en Het Web (een netwerk van draden met op ieder knooppunt transducers die de veranderingen van de mechanische spanning van de draden vertalen in stuurcodes).

In de techniek van de klanksynthese zijn sinds 1970 twee ontwikkelingen te onderscheiden: *golfvormsynthese* en *bronsimulatie*.

A. *Golfvormsynthese*

Hierbij probeert men een trilling op te wekken met de nodige micromodulatie. Een mogelijkheid daarvoor is al genoemd: Fouriersynthese met tijdafhankelijke sturing van de harmonischen of deeltönen. Dit werkt uitstekend maar vraagt al voor het maken van één toon om zeer grote hoeveelheden stuurgegevens en is daardoor voor praktische toepassingen niet geschikt.

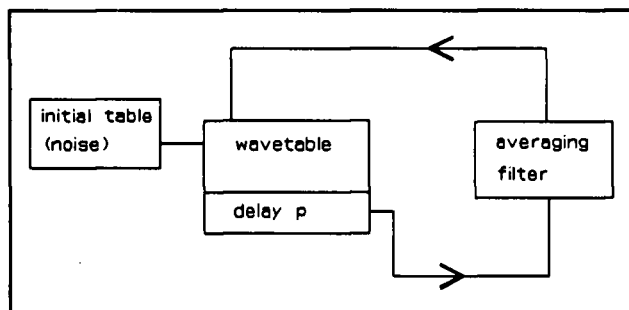
Wel goed praktisch toepasbaar bleek FM-synthese. Als een sinusvormige trilling in frequentie wordt gemoduleerd krijgt zij een spectrum dat door drie parameters wordt bepaald: de draaggolffrequentie, de modulerende frequentie en de maximale frequentie-afwijking. Dat spectrum

kan uit heel veel frequentiecomponenten bestaan en door een of meer van de genoemde parameters in de tijd te variëren ontstaan een tijdafhankelijk spectrum met een ruim aandeel aan micromodulatie, die echter al gauw stereotiep en herkenbaar wordt. Deze methode is in 1971 door John Chowning in een artikel beschreven (Chowning, 1973) en enkele jaren later door Yamaha in synthesizers toegepast.

Er zijn nog een aantal ontwikkelingen uit ongeveer dezelfde periode te noemen, zoals waveshaping (gestuurde niet-lineaire vervorming) en granular synthesis (signaalfunctie opbouw uit gedempte sinustrillingen of 'wavelets'), maar het wordt steeds duidelijker dat voor een echt succesvolle implementatie van micromodulatie nog eens goed naar de bestaande muziekinstrumenten en andere trillingsopwekkers moet worden gekeken. Dit brengt ons bij de tweede, meer recente ontwikkeling.

B. Bronsimulatie (physical modelling)

Het is in principe mogelijk fysische processen die zich b.v. bij het slaan op een gong afspelen, met een computer te simuleren. Dank zij het ter beschikking komen van D(igital) S(ignal) P(rocessing)-chips kan dat zelfs in real time gebeuren. Hierbij wordt het probleem dus in de kern aangepakt, de elektronische oscillator simuleert de mechanische. Een eenvoudige opgave is dat overigens niet, want het heeft geen zin van geïdealiseerde systemen (oneindig dunne en soepele snaren en membranen) uit te gaan. De mechanische oscillatoren leveren juist interessante klanken op dank zij allerlei complicaties als dikte, stugheid, niet-lineair gedrag etc. en deze moeten dus in het model worden betrokken, hetgeen er b.v. toe kan leiden dat stelsels niet-lineaire differentiaalvergelijkingen numeriek moeten worden opgelost. Een van de eerste geslaagde pogingen in deze richting was het zgn. Karplus-Strong algoritme voor een getokkelde snaar (Karplus et al. 1983):



Met dit algoritme was het voor het eerst mogelijk natuurgetrouwe snaarklanken te produceren.

Er wordt momenteel gewerkt aan allerlei excitor/resonator-systemen en de eerste resultaten zijn veelbelovend.

Het imiteren van bestaande instrumenten is overigens slechts een stap in een ontwikkeling die tot twee interessante resultaten zou kunnen leiden:

1. Nieuwe elektronische klanken die een graad van complexiteit hebben die vergelijkbaar is met die van mechanische instrumenten, maar die niet met zulke instrumenten kunnen worden opgewekt.
2. Een heropleving van de ontwikkeling van de mechanische instrumenten die aan het begin van de twintigste eeuw vrijwel tot stilstand is gekomen.

Er liggen dus een aantal interessante uitdagingen te wachten op de fysicus die enerzijds bereid is zich bescheiden op te stellen en goed te luisteren naar de musicus, en anderzijds geboeid is door de werking en bediening van die ingewikkelde mechanische oscillatoren die we 'muziekinstrumenten' noemen.

Literatuur

- Chowning, J. (1973) *The Synthesis of Complex Audio Spectra by means of Frequency Modulation*, Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 21, New York
- Karplus K. & A.Strong (1983) *Digital synthesis of plucked-string and drum timbres*. Computer Music Journal Vol 7(2)
- Plomp R. (1984). *Perception of Speech as a Modulated Signal*, Proc.10th International Congress of Phonetic Sciences (M.P.R. van den Broecke en A.Cohen Eds), Foris Publications, Dordrecht
- Weiland F.C. & C.A.G.M.Tempelaars (1982) *Elektronische Muziek* Scheltema & Holkema, Utrecht

'Langzaam ging de zon onder in het oosten': natuurwetenschap en literatuur

J.A. Dautzenberg

Rudy Kousbroek heeft ooit een artikel geschreven waarin hij zich de vraag stelde of het voor een heteroseksueel mogelijk is homoseksuele literatuur volledig te appreciëren. Op een wat ander niveau heeft Karel van het Reve eens de vraag gesteld: ziet een boer landelijk schoon?¹⁾ Beide vragen betreffen een wezenlijk interpretatie-probleem. Bij het lezen van een tekst zijn wij voor een deel bepaald door een persoonlijk reservoir aan kennis, gevoelens en opvattingen. De thematiek van de poëzie van de grote Griekse dichter Kavafis is voor een groot deel bepaald door zijn homoseksuele geaardheid en omdat poëzie toch allereerst een beroep doet op onze gevoelens, is het een legitieme vraag of dergelijke poëzie wel op haar waarde geschat kan worden door iemand die zelf geen of nauwelijks affiniteit heeft met de essentiële thematiek ervan. Hetzelfde geldt voor de boer van Van het Reve: is een landbouwer zodanig door zijn beroep bepaald dat hij bij een landschap steeds in eerste instantie denkt aan vruchtbaarheid, opbrengst, afwatering en kruisbestuiving, en pas lang daarna een esthetische gewaarwording krijgt? Gelijksoortige vragen kan men stellen over de wijze waarop iemand met een natuurwetenschappelijke opleiding denkt over literaire werken waarin de natuurwetenschappen een belangrijke rol spelen. En vooral: is er een verschil tussen de wijze waarop een alfa tegen een natuurwetenschappelijke blunder in een roman aankijkt en een bèta?

Een voorbeeld van een roman waarin een onderdeel van de natuurwetenschap zodanig geïntroduceerd wordt dat het in niet geringe mate bijdraagt tot wat de auteur op die bepaalde plaats wil zeggen, is Harry Mulisch' recente mammoetwerk *De ontdekking van de hemel*.²⁾

Een van de twee hoofdpersonen in de eerste helft is de radio-astronoom Max Delius. Al tijden houdt hij zich bezig met de oerknal-theorie, die immers al enkele jaren in hevige moeilijkheden verkeert, hoewel vooralsnog slechts

weinig geleerden geneigd lijken haar als onhoudbaar op te geven. Liever zoekt men naar uitwegen uit de problemen met behulp van theoretische oplossingen ad hoc, waarvoor geen schijn van experimenteel bewijs aanwezig is, zoals bijvoorbeeld de opzwellingsfase van het zeer vroege heelal. Maar alles is beter dan de hypothese te laten vallen, want dan zitten we wat de kosmologie betreft opeens weer in de jaren '30. Zo ook Max Delius.

Op een avond zit hij in de werkschuur van zijn huisje bij Westerbork. (In verband met de thematiek van het boek is het trouwens van groot belang dat de radiotelescoop van Westerbork gevestigd is naast het vroegere nazi-kamp van waaruit de joden naar Duitsland gevoerd werden; Max Delius is een halfjood.) Hij piekert over de computeruitdraaien die 's middags zijn binnengekomen:

Was het resultaat echt zo onzinnig? Hij zag de vellen nauwkeurig voor zich, alsof hij ze werkelijk voor ogen had. En opeens was het of er een groot licht in hem werd ontstoken: hij begreep alles. In een ondeelbaar moment was alles bij elkaar gekomen - maar wat was het? [...] Die zogenaamde oneindige snelheid van [quasar] MQ 3412 was geen fout, zoals al zijn collega's in de hele wereld nu dachten, maar zij onthulde een constellatie die in niemands hoofd opkwam! (p. 647)

Om aannemelijk te maken dat Delius werkelijk iets op het spoor is, brengt Mulisch op de volgende bladzijden diverse moderne wetenschappelijke noties met elkaar in verband. Allereerst het grootste probleem van de oerknaltheorie: de Plancktijd (korter dan 10^{43} seconde na het begin), waarin de algemene relativiteitstheorie en de quantummechanica niet meer met elkaar in overeenstemming lijken te zijn. Dan het daarmee samenhangende probleem van de opduikende oneindige getallen, zeg maar de renormaliseerbaarheid van de grote unificatietheorieën en van een eventuele 'Theory of Everything'. Verder de net bij een

groter publiek bekend geworden snaartheorieën (we zitten in 1985). Het begrip snaar doet Delius denken aan iets dat alle lezers van Mulisch al kenden uit zijn *Voer voor psychologen* en vooral uit *De compositie van de wereld*: de oude Pythagoreïsche leer van de harmonie der getallen:

'Alle dingen zijn getallen,' had Pythagoras gezegd. 10 was voor hem het heilige getal, dat je op je vingers kon natellen, net als de tien geboden en de tien dimensies van de supersnaartheorie. (p. 650)

Via Pythagoras' afkeer van irrationale getallen komen zijn gedachten bij de over-eindige getallen van Cantor en diens 'Absoluut Oneindige [getal] Omega'. Duizelig van opwinding, slaap en drank loopt Delius naar buiten, waarna het slot van de passage volgt, dat ik hier in zijn geheel citeer:

Zich dwingend niet te wankelen liep hij over het pad naar de zwerfkei, waar hij op ging zitten om een pauze te nemen. De maannacht was koel en vochtig. Was het onzin wat hij allemaal bij elkaar had gedacht? Had de VLBI [Very Long Baseline Interferometry] echt de oersingulariteit gezien, misschien zelfs er dwars doorheen gekeken, in een andere, tijdloze wereld, die dus groter was dan het heelal? Vergat hij niet iets? Hoe dronken was hij eigenlijk? Hoe kon aangetoond worden, dat het allemaal niet zo was? Als er sprake was van zoiets, moest er in elk geval een enorme roodverschuiving zijn opgetreden, - zo groot, dat zij in niemands hoofd opkwam. Het maximum dat tot nu toe was gemeten, bij OQ 172, had een waarde van 3.53; daar was de lyman- α -lijn in het zichtbare licht terecht gekomen. Voor MQ 3412 werd nu ergens tussen 4 en 5 gezocht, maar misschien moest je wel bij 20 kijken, of bij 50. Of bij 100! Niemand die bij zijn verstand was zou daar zoeken, zelfs Maarten [Schmidt] niet. Waar zat je met zo'n verschuiving? Hij probeerde het uit te rekenen, maar daar was hij niet meer toe in staat. Ergens op de kortegolfband vermoedelijk. Misschien had een of andere radioamateur wel eens een singuliere stem opgevangen: 'Ik ben de Heer uw God!' - waarna hij verveeld verder had gedraaid omdat hij dacht, met een etherzonderling te maken te hebben! Kennelijk geen tweede Mozes!
Max hief zijn armen op, legde zijn hoofd in zijn nek en begon te lachen. (p. 652-653)

En op dat moment valt er een meteor uit de hemel en is er van Delius' ontdekking noch van hemzelf iets over... Wat Mulisch hier doet is een oud literair thema in een modern (en zoals heel vaak bij hem: lichtelijk ironisch) jasje steken. Dat thema is dat van de verboden kennis: bepaalde dingen mogen wij niet weten, want dat is voorbehouden aan God. En als wij het toch te weten komen, slaat God met harde hand toe, hier door een meteor op de arme Max Delius te laten neerstorten. En die verboden kennis is altijd natuurwetenschappelijke kennis, niet iets

van literaire, taalkundige of historische aard. Blijkbaar voelde men al in het verre verleden aan dat er een verschil was tussen wat ze op school wel eens de 'echte' vakken noemen en de overige.

Want dit thema is al heel oud. In de Griekse oudheid krijgt het gestalte in de Prometheus-mythe: de halfgod die het vuur - symbool van vooruitgang en techniek! - van de goden stal en aan de mensen gaf, en die daarvoor zwaar gestraft werd. De goden ketenden hem aan een bergspits en elke nacht komt een gier zijn lever uitvreten, die dan de volgende dag weer aangroeit. Het thema kwam opnieuw tot grote bloei in de vroege 19e eeuw. Klassiek is de roman *Frankenstein* van Mary Shelley uit 1818, die niet voor niets de ondertitel draagt *or the modern Prometheus*. De ambitieuze arts Victor Frankenstein slaagt erin dode materie tot leven te wekken. God grijpt hier niet rechtstreeks in maar indirect: het nieuw geschapen wezen keert zich tegen zijn schepper en doodt hem uiteindelijk. De roman van Shelley behoort tot de zwarte romantiek en is een voorbeeld van een romantische *gothic novel*. Dit genre - zeg maar de vroege griezelroman - was al vóór de romantiek ontstaan als een onder- en tegenstroom van de Verlichting, de tijd van het rationalisme. Het hoofdthema van Shelley's boek kan geformuleerd worden als de ratio die gestraft wordt vanwege zijn rationaliteit en de roman als geheel kan men opvatten als een afrekening met de Verlichting.

Ook Mulisch' boek is een afrekening met de Verlichting. De basisidee ervan is dat door de opkomst van de wetenschap het verbond dat God en mens ooit gesloten hebben, niet meer geldig is. De hemel is 'ontdekt', dat wil zeggen kenbaar en begrijpelijk gemaakt; de wereld is een rationele hel die gesymboliseerd wordt door Auschwitz, waar miljoenen mensen op een zo efficiënt mogelijke, d.w.z. 'rationele' manier werden afgeslacht. De roman beschrijft hoe God zijn engelen een grandioos project op touw laat zetten om een mensenkind te scheppen dat de tekst van het verbond - de Stenen Tafelen met de Tien Geboden - moet terug brengen naar de hemel.

Max Delius speelt een belangrijke rol in de schepping van dit mensenkind en om het project te laten slagen moet hij sterven. Maar God is een rechtvaardige God. Hij doodt Delius niet zomaar, maar straft hem met de dood omdat hij iets heeft gedaan wat voorbehouden is aan God: zoals Frankenstein eens de schepping van het leven ontraadselde, zo ontraadselde Delius de schepping van het Al. (En niet voor niets vermeldt Mulisch in de boven voor een deel aangehaalde passage dat Georg Cantor geestesziek werd door zijn nadenken over de absolute oneindigheid.) En net zoals Mary Shelley bijna 200 jaar geleden de moderne natuurkunde erbij riep om Frankensteins misdaad gestalte te geven, zo haalt Mulisch er de moderne kosmologie bij. Frankenstein ontdekt dat het geheim van het leven in de elektriciteit schuilt - en elektriciteit was in 1818 een nogal geheimzinnig iets, waarvan niemand begreep waar het toe diende. Mary Shelley wist er al helemaal weinig van en beperkte zich tot wat verbalismen die

suggereren dat Frankenstein onuitsprekelijk geleerde dingen deed.

Mulisch weet natuurlijk ook niet alles van de oerknaltheorie, maar wel genoeg om passages te schrijven, waarin niet alleen gezégd wordt dat Delius iets belangrijks op het spoor is maar dat ook wordt getóónd. Want het is duidelijk dat Mulisch weet waarover hij praat: dat hij weet wat de problemen van de oerknaltheorie zijn en in welke richtingen men naar oplossingen zoekt. Het gevolg hiervan is dat de goddelijke ingreep gemotiveerd lijkt, want het *lijkt* inderdaad alsof Delius iets op het spoor is. (Ten overvloede: ik beweer niet dat Mulisch/Delius een serieus te nemen oplossing hebben, allicht niet. Maar binnen de verzonnen literaire wereld heeft hun oplossing een schijn van authenticiteit: ze is literair aannemelijk.) Voor iemand die niets van de oerknal af weet, is de passage echter een soort lege plek in het boek, die geen enkele literaire overtuigingskracht heeft. Zo iemand zal van de passage op zijn best zeggen: het zal wel waar zijn, en op zijn slechtst: wat zit Mulisch nou weer te kletsen.

In alle mij bekende artikelen die tot nu toe over Mulisch' boek zijn verschenen, wordt nergens aandacht besteed aan deze natuurwetenschappelijke achtergrond. Nu kan dat komen doordat het zo dik is (ruim 900 bladzijden) en volgepakt zit met nog tientallen andere thema's, onderwerpen en motieven, en een uitputtende behandeling daarvan zou vele malen dikker worden dan het boek zelf. Over een roman van een ander schrijver zijn me echter wel uitspraken bekend over het natuurwetenschappelijke gehalte ervan. Het gaat wederom over de oerknal en het boek is *De ruimte van Sokolov* van Leon de Winter. De hoofdpersoon daarvan is een Russische fysicus van joodse afkomst, die na zijn emigratie naar Israël aan lager wal raakt. Tussen zijn perioden van dronkenschap door begint in het Heilige Land zijn joodse afkomst zich te doen gelden. In Rusland had hij deze slechts als een hinderlijke bijkomstigheid ervaren, maar nu gaat het oude geloof hem op een of andere manier in zijn greep krijgen, en dan vooral de meer mystieke kant ervan zoals die gestalte heeft gekregen in de *Kabbala*. In zijn door alcohol tamelijk ontregelde geest beginnen twee denkstromen door elkaar te lopen en soms tot een eenheid te versmelten: de joodse mystiek en bepaalde onderdelen van de oerknal en de deeltjesfysica. In zijn geest worden zijn lot en dat van zijn volk op metaforische wijze in verband gebracht met de oerknal, met de mogelijke instabiliteit van het proton en met het verbreken van de symmetrie waardoor de vier natuurkrachten als afzonderlijke krachten gingen bestaan. Hij realiseert zich dat het moderne kosmologische beeld van het ontstaan van het Al uit het Niets overeenkomt met de opvatting van de oude joodse denkers dat het Niets en God aan elkaar gelijk zijn. Wanneer hij zich later laat besijden (overigens slechts om zijn vriendin een plezier te doen), krijgt hij bij het begin van de narcose een soort mystieke gewaarwording waarin hij ervaart dat hij samen met alle fermionen en bosonen wordt teruggezogen naar dat grote allereerste vuur waarin 'de symmetrie wordt

hersteld'. Ik citeer de bewuste passage:

...zijn wil verschrompelde en Sokolov werd een onmetelijke ruimte binnengezogen. Hij beleefde daar een vreemde sensatie. Hij bewoog in de richting van een groot licht. Alsof hij geen lichaam had, rustmassa nul, schoot hij als een boson in de richting van de verblindende bron, maar ook alle fermionen, de massadragers, bewogen naar het vuur. De verwachting dat hij in het licht zou samensmelten met alles wat bestond, ging gepaard met een tintelend geluksgevoel. De symmetrie werd hersteld. Wat in een fractie van een seconde na de Big Bang werd verbroken, de eenheid van de Oersoep voordat de uitdijing ruimte en tijd zou creëren, werd nu hersteld. Intense warmte stroomde door hem heen - nee, hij zocht naar een andere omschrijving: hij was die warmte. Hij werd opgenomen in de vereniging van alle krachten. De geheimen van bizarre massawaarden van deeltjes als het elektron (0,511003 MeV) en het proton (938,2723 MeV) werden in het licht ontsluit, en gelukzalig zweefde hij in een kathedraal van vuur.³⁾

Ik vind deze en soortgelijke passages bij De Winter niet alleen heel mooi maar ook heel treffend, omdat ze de confrontatie en de gedeeltelijke eenwording betreffen tussen twee delen van de menselijke ervaring - de rationele en de irrationele -, welke confrontatie en eenwording tegelijk een metafoor zijn voor de confrontatie van de Rus met de Israëliër, de kernfysicus met de straatveger, de autochtoon met de immigrant.

In mijn recensie in de Volkskrant noemde ik dit 'schitterend geschreven stukken', maar Carel Peeters in Vrij Nederland sprak van 'loos gespeculeer' en Jaap Goedegebuure in HP/De Tijd had het over 'een kunstgreep die buitengewoon geforceerd aandoet'.⁴⁾

Wie echter de publikaties van Goedegebuure en Peeters een beetje heeft bijgehouden, vermoedt dat beiden er niet het geringste idee van hebben wie of wat een proton zou kunnen zijn, en wat erger is: dat ook absoluut niet *willen* weten.

En hier zijn we dus aan de kern van de zaak: de twee culturen, of liever in het Engels: *The two cultures*, want zo luidt de titel van het beroemde boek van C.P. Snow uit 1959, een Engelse fysicus die in zijn vrije tijd een niet onverdienstelijk romanschrijver was.

De grondstelling van Snows boek zou men als volgt kunnen parafraseren: als een bèta denkt dat Leonardo da Vinci een bekende Portugese ontdekkingsreiziger was, dan wordt hij niet alleen door alfa's maar ook door bèta's voor een onverdraaglijke ezel gehouden. Maar als een alfa niet weet wie of wat een ion zou kunnen zijn, dan wordt dat in alfa-kringen niet alleen volkomen normaal gevonden - men vindt het zelfs een beetje verdacht als je zoiets wél weet.

Omdat ik een groot deel van mijn leven in alfa-kringen doorbreng, kan ik van deze houding een vrijwel eindeloze reeks onthutsende voorbeelden geven. Ik zal dat niet

doen, maar ik denk wel eventjes aan mijn vroegere hoogleraar moderne letterkunde, die wist dat ik me voor science fiction interesseerde en die in de gang van het instituut in het voorbijgaan altijd grinnikend tegen me riep: nog steeds alles goed met de *science*? En ik denk even aan die leraar Nederlands aan een Amsterdams gymnasium, die als hij in een lokaal kwam waar iets bèta-achtigs op het bord stond, met een van walging vertrokken gezicht *achter zijn rug* om het bord uitveegde. De leerlingen lachten dan natuurlijk en hij kende blijkbaar het aforisme van Jan Greshoff niet: 'Wie de lachers op zijn hand heeft gehad, moet die zo snel mogelijk schoonwassen'.⁵⁾ En ik denk nog eens aan een schoolvriend van lang geleden. Hij zat op gymnasium-alfa en moest daar toch natuurkunde doen, waarvoor hij constant onvoldoendes haalde. 'Wat kan mij dat verdommen hoe een lampje werkt,' zei hij eens woedend tegen me. Hij is nu een hoge ambtenaar op het ministerie van Onderwijs. (Nu weet u ook waarom in de eerste opzet van de Basisvorming de natuurwetenschappen zo slecht bedeed waren.)

Wat zit hier achter, waar komt regelrechte vijandigheid vandaan? Want er is hier soms sprake van echte vijandigheid. In zijn nawoord bij de Nederlandse vertaling van John Allen Paulos' boek *Ongecijferdheid* citeert Kousbroek een uitspraak van de Engelse toneelschrijver George Bernard Shaw over mensen die niet van kunst houden: 'it is a mistake to think that so-called inartistic people are merely indifferent to art; they hate it, with a bitter and malicious hatred'. Dit geldt ook voor 'ongecijferdheid', zegt Kousbroek, welke echter in tegenstelling tot analfabetisme niet 'op passieve en schaamtevolle manier [wordt] beleden, maar op een assertieve en belerende manier'.⁶⁾ Die onkunde en vijandigheid zorgen er misschien voor dat door literaire critici - want dat zijn bijna allemaal alfa's - nooit ingegaan wordt op de natuurwetenschappelijke enormiteiten die in sommige boeken voorkomen. Ze zien ze niet, en als ze hun aangewezen worden, dan zeggen ze: wat zou dat nou, zo'n foutje; dit is toch *literatuur*?

Ik bedoel hier natuurlijk geen fouten die voor het onderwerp niet ter zake doen. Als je per ongeluk twee geliefden laat kijken hoe lieflijk de zon in het oosten ondergaat, dan verander je dat in de tweede druk gewoon in het westen.⁷⁾ Ik bedoel zaken die net als boven bij Mulisch, Shelley en De Winter het hart van de roman raken en die je niet zomaar kunt verbeteren.

Het klassieke voorbeeld in dezen is de roman *Lord of the Flies*, het beroemdste werk van de Nobelprijswinnaar William Golding. In de talloze studies die intussen aan dit boek gewijd zijn, wordt de blunder waarop deze roman gebaseerd is, meestal ofwel niet vermeld of afgedaan als een onbeduidend detail.

Het boek beschrijft hoe een stel Engelse kostschooljongens die een vliegtuigongeluk overleefd hebben, zich in leven trachten te houden op een onbewoond eiland ergens in de Stille Zuidzee. Wat Golding wil laten zien, is hoe dun het vernis van de beschaving is: in korte tijd vervallen de jongens tot pure barbarij en irrationaliteit, compleet

met het aanbidden van de 'vliegengod' en het brengen van mensenoffers. In de groep zijn er twee die wanhopig trachten een restje beschaving en rationaliteit vast te houden: de voormalige klasse-oudste - het model van de 'sophisticated young gentleman', zeg maar het beste wat de Engelse 'public schools' kunnen opleveren - en het verschoppelingetje van de klas, Piggy. Deze is klein en dik, en heeft een bril met uitzonderlijk dikke glazen. Die bril is een symbool van beschaving, enerzijds omdat hij staat voor 'lezen', dus voor cultuur en wetenschap, anderzijds omdat hij staat voor 'vuur', dus voor techniek, want door Piggy's bril als brandglas te gebruiken kunnen de jongens vuur maken. Het vuur is ook hun enige kans op redding: ze bouwen een enorme brandstapel op een bergtop om passerende schepen te lokken, maar steeds vaker laten ze hem uit onverschilligheid uitgaan.

De tegenstellingen tussen deze twee jongens en de rest van de groep worden steeds groter. Piggy wordt ten slotte vermoord en zijn bril vertrappt: daarmee snijden ze ook de laatste band met de beschaving door.

Er zou nog veel meer over die bril te vertellen zijn, maar in ieder geval is duidelijk dat het niet 'zomaar' een ding in het boek is, maar een wezenlijk element van de thematiek.

Maar een bril van een zeer bijziend jongetje kan niet dienen als brandglas, want zo'n bril heeft holle glazen. Is dat nu erg? Je zou kunnen zeggen: verander die bril dan in een bril voor vérzienden en geef het jongetje een merkwaardige oogafwijking. Natuurkundig klopt het dan, maar psychologisch en literair is er dan iets niet in de haak. Want op deze manier maak je van het jongetje niet een gewoon verschoppelingetje zoals er op elke school wel enkele voorkomen, maar een medische abnormaliteit. En wat nog veel erger is: Piggy zou zonder zo'n bril niet volstrekt hulpeloos zijn, wat hij nu wel is. Daarmee zou een deel van de symboolwaarde verloren gaan: de techniek is in het boek een positief begrip, namelijk een middel om te overleven en omdat Piggy een symbool van beschaving is, is de bril een middel om de beschaving te behouden.

Een bijziende bril is dus essentieel voor het thema. Maar tegelijk is een vérziende bril essentieel om vuur te maken. Beide zijn onverenigbaar met elkaar en deze natuurkundige onmogelijkheid raakt het hart van de roman.

De vraag die mij interesseert is deze: doet dit afbreuk aan het boek als literair werk? En zo ja, in welke mate? Ik weet zelf niet precies wat ik hiervan moet denken. Toen ik het boek lang geleden voor het eerst las, viel me de fout niet op en ik vond het een meesterwerk. Zo'n eerste lezing blijft natuurlijk voorgoed in je hoofd hangen en wordt niet uitgewist door latere lezingen, toen ik wel van de fout wist. Maar ik zou wel eens willen weten hoe iemand reageert die de fout ogenblikkelijk ziet: legt die het boek terzijde met de woorden: die Golding is niet goed wijs?⁸⁾

Ik weet uit eigen ervaring wel iets soortgelijks. Er is een beroemd science fiction verhaal dat in talloze bloemlezingen is opgenomen: *Neutron star* van Larry Niven. Dat

speelt zich af in een verre toekomst waarin er iets geheimzinnigs gebeurt met ruimteschepen die in de buurt van een neutronenster komen. Alle wetenschappers van die tijd piekeren zich suf - maar zelfs als niet-fysicus raadde ik halverwege wat die vele honderden meters lange ruimteschepen van de toekomst uiteen deed vallen als ze binnen een bepaalde limiet van die piepkleine ster kwamen: de getijdekrachten. En ofschoon ik de science fiction van Larry Niven vrijwel steeds briljant vind, heb ik dat verhaal altijd tweederangs gevonden. Maar anderen deden dat blijkbaar niet: het werd bekroond met de Hugo Award, zeg maar de Amerikaanse P.C.Hooftprijs voor science fiction.

Als men denkt aan natuurwetenschap en fictie, dan denkt men automatisch aan 'science fiction'. Toch valt de hoeveelheid natuurwetenschap dit genre behoorlijk tegen en onder de schrijvers ervan zijn er niet zoveel die een β -opleiding achter de rug hebben. Waarschijnlijk is dit de reden dat zoveel *fantasy* à la Tolkien onder het mom van *essé* wordt gepubliceerd, terwijl *fantasy* toch, naar het woord van Kousbroek, 'van de *sf* geweed moet worden als vlooien van een hondentoonstelling'.⁹⁾ In science fiction is dan ook eerder sprake van *technology* dan van *science*, en als die laatste voorkomt, dan betreft het slechts enkele onderdelen die steevast in tal van variaties terugkeren.

In de eerste plaats natuurlijk de implicaties van de relativiteitstheorie in verband met de tijdreis-roman, waarvan allerlei vernuftige variaties bestaan. Verder spelen bepaalde elementen van de quantummechanica een rol, zoals het gedachtenexperiment van Schrödingers kat, waarover de laatste jaren tal van verhalen zijn geschreven, wat waarschijnlijk te danken is aan veel gelezen popularisering van de quantumfysica als die van Capra, Zukaf, Gribbin e.a. Vaak wordt hierbij gebruik gemaakt van Everett's en Wheeler's 'Veel Werelden Interpretatie' van de quantummechanica: als de doos met de kat erin geopend wordt, stort de golffunctie van de kat in en splitst het universum zich in tweeën: een waarin de kat dood is en een waarin ze nog leeft. Op die manier wordt een 'wetenschappelijke' verklaring gegeven van het in de *essé* zo populaire thema van 'alternatieve werelden' naast die van ons. In haar klassieke *sf*-roman *The female man* schrijft Joanna Russ:

Soms buig je je voorover om je schoenveter vast te binden en dan bind je je veter, of je bindt hem niet; ofwel je gaat onmiddellijk weer rechtop staan, of je doet dat niet. Iedere keuze brengt ten minste twee mogelijkheden voort, namelijk één waarin je iets wel doet en één waarin je het niet doet. Meestal zijn het er nog veel meer: een waarin je het snel doet, een waarin je het langzaam doet, een waarin je het niet doet maar aarzelt, een waarin je aarzelt en fronst, een waarin je aarzelt en niest, enzovoort. Als je deze redenering doortrekt, kom je tot de conclusie dat er een oneindig aantal mogelijke universa moet bestaan (zulk is de vruchtbaarheid van God).¹⁰⁾

Sinds de popularisering van de theorie over zwarte gaten komen ook deze veel in de science fiction voor. Meestal betreft het verhalen die draaien om wat zich afspeelt als een ruimtevaarder de gebeurtenis-horizon nadert; soms ook worden zwarte gaten gebruikt als middelen om zonder de beperkingen van Einstein in een ander deel van het heelal te komen. Een veel ouder begrip als entropie is ook pas in de laatste tien tot twintig jaar in de literatuur opgedoken en komt zelfs buiten de science fiction voor. Een voorbeeld is *The heat death of the universe* van Pamela Zoline, een verhaal dat tamelijk beroemd is in feministische kringen. De ellendige situatie waarin een huisvrouw zich bevindt krijgt daarin een metafoor in het lot dat heelal uiteindelijk zal ondergaan ingevolge de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Zoals dan alle energie gelijkmatig verdeeld is over het hele universum (dat dus overal even heet is, vandaar de 'hittedood'), ten gevolge waarvan geen enkele gebeurtenis meer mogelijk lijkt, zo is voor de beschreven huisvrouw haar dagelijkse bestaan een metaforische hittedood. In haar gedachten gaan haar eigen lot en dat van het heelal parallel lopen en door haar ogen ziet de lezer het heelal en dus de vrouw tot de uiteindelijke definitieve inertie vervallen.¹¹⁾

Er zijn buiten de science fiction nog wel meer verhalen als dat van Zoline te vinden¹²⁾, maar over het algemeen kan toch worden gesteld dat literaire fictie en wetenschap elkaar slecht lijken te verdragen. Zelfs boeken waarvan het voor de hand ligt dat er iets over wetenschap in staat, laten het meestal afweten. *Blokken* van Bordewijk speelt zich af in de toekomst en er wordt ons van alles verteld over de toekomstige architectuur, klederdracht, politiek, sport, vermaak, oorlog - maar over de toekomstige wetenschap weet Bordewijk niet veel meer mede te delen dan dat er enkele ruimtereizen zijn ondernomen. De reden is natuurlijk dat maar weinig romanciers een β -wetenschappelijke achtergrond hebben. In Nederland hebben we een aantal artsen (Vestdijk, Van Eeden, Slauerhoff, Belcampo e.a.), een fysische geograaf (Hermans), een computerdeskundige (Krol), enkele biologen (Vroman, 't Hart), een wis- en taalkundige (Brandt Corstius) en Rudy Kousbroek, die zijn studie wis- en natuurkunde niet afmaakte maar gewoon alles lijkt te weten. Buiten hen zijn er maar een paar schrijvers die er blijk van geven wel eens van de β -vakken gehoord te hebben, zoals Mulisch, De Winter en Karel van het Reve. En wat voor fictie geldt, geldt in nog sterkere mate voor poëzie. Zelfs een dichter als Leo Vroman, die toch een gedegen wetenschappelijk opleiding heeft (zijn proefschrift over bloed is buitengewoon belangrijk geweest) maakt maar sporadisch gebruik van zijn kennis, en als het al gebeurt, dan bijna steeds in humoristische zin, zoals het gedicht over 'het virusdeeltje gijs' of de volgende passage uit het lange gedicht 'Over de dichtkunst' waarin een huisjesslak ergens naar op weg is:

Maandag kwam hij aan
op de gevel van Krugerlaan
nummer zeven.
Hij beklom de deurpost.
Hij bereikte het knopje
waaronder twee polen
(plus en min) verscholen,
en hij legde het vlezig kopje
erop, en likte een beetje.
Een kortsluitinkje ontstond,
en verweg, door een elektromagneetje,
sulde een stroompje rond,
en vormde een wisselveld
dat aan een hefboompe trok,
en dat sloeg op een kleine klok -
kortom, er werd gebeld.¹³⁾

De enige mij bekende dichter die serieus gebruik gemaakt heeft van de moderne fysica is Hans Andreus. Een van zijn beste gedichten op dit gebied is:¹⁴⁾

Klein natuurwetenschappelijk chanson

Ach, ware ik een foton
of ware ik een neutrino,
dan ware mijn rustmassa nul.

Dus als ik mij tegenhield
en stilhield
dan verdween ik

uit matter-and-field
naar waar zelfs niets
is niets.

Stel dat een lezer werkelijk niets van deeltjesfysica afweet, dan zal hij het woordenboek erbij moeten halen. In de grote Van Dale vindt hij dan:
foton: elk der deeltjes waaruit de elektromagnetische straling is samengesteld; lichtdeeltje;
neutrino: uiterst licht elementair ongeladen materiedeeltje;
rustmassa: massa van een lichaam dat ten opzicht van een coördinatensysteem in rust is.
Of die (niet zo erg hypothetische) lezer hier veel verder mee komt, valt te betwijfelen. Maar een zeer grove interpretatie zou kunnen luiden dat Andreus hier het oeroude literaire motief van het nirwana, het volstreckte niet-zijn, gestalte wil geven met behulp van enkele natuurkundige termen. Als deze interpretatie voldoende was, zou deze lezer gelijk hebben als hij voor dit gedicht de boven geciteerde woorden van Goedegebuure en Peeters zou gebruiken. Maar er is meer over te zeggen.
Weet je iets van deeltjesfysica, dan zie je al snel dat foton en neutrino gekozen zijn omdat het ene normaliter met materie in verband gebracht wordt en het andere met golven en velden. Dat verklaart dan de term 'matter-and-field', - maar niet waarom die drie woorden met een koppelteken aan elkaar zijn geplakt.

Kijken we op een dieper quantummechanisch niveau, dan behoren beide deeltjes tot twee totaal verschillende categorieën: de fermionen en de bosonen. De eerste zijn de massadragers, de tweede de krachtoverbrengende deeltjes, - maar volgens de golf-deeltjes-dualiteit zijn beide ook onder bepaalde omstandigheden (bijvoorbeeld tijdens de oerknal) onderling verwisselbaar. Vandaar dat Andreus 'matter' en 'field' met koppelstreepjes verbindt om aan te geven dat beide in feite één entiteit vormen, die zich slechts onder de 'normale' omstandigheden van dit bijna tot het nulpunt afgekoelde heelal van elkaar onderscheiden.

Zo worden de twee fundamentele bestanddelen van het universum - die in feite samen weer een eenheid vormen - gekozen om aan te geven dat, wanneer ze stil staan, er niets meer van over is, dat ze verdwijnen uit de fysische wereld, en dat daarbuiten niets zelfs nog minder is dan niets.

Want het niets, - daarover is in andere dan de exacte wetenschappen een geweldige hoop lawaai gemaakt door merkwaardige filosofen van het type Heidegger. Maar Andreus lijkt hier te willen zeggen dat zelfs iets dat niet bestaat in een toestand kan komen waarin het nog minder bestaat. Of anders gezegd: dat er binnen het ruimtetijd-continuüm hier en daar niets is, maar dat er buiten dat continuüm, d.w.z. buiten de fysische wereld, in een nog veel wezenlijker zin 'niets' is.

'Klein natuurwetenschappelijk chanson' is een heel mooi en veelzeggend gedicht. Het komt uit de bundel *Syntropisch* van 1965, het tegengestelde van entropisch. Zoals entropie in de literatuur een metafoor is geworden voor stilstand, verval, dood, zo is syntropie een symbool voor de orde die uit de chaos ontstaat, het leven uit de dood, kunst uit wartaal.

In zijn latere bundels heeft Andreus nog meer van dergelijke gedichten geschreven, met titels als 'De golf-deeltheorie', 'De relativiteit van de relativiteit', 'Het heelal als versterker', 'Antimaterie' en 'Vijf gedichten met ekskuses aan Einstein c.s.' Dit wil echter nog niet zeggen dat Andreus een natuurwetenschappelijk dichter is. Ook in zijn oeuvre is dit soort gedichten een uitzondering en ook hij gebruikte - net als Leo Vroman - zijn β -kennis vaak alleen maar om een grapje te maken, zoals in het volgende gedichtje over Heisenbergs onzekerheidsrelaties:¹⁵⁾

In Biberach

In Biberach, omstreeks Vijftienhonderd,
paste een brave magister
het Onzekerheidsprincipe toe
van Heisenberg,

want hij (de magister) zuchtte en zei:
'Ich leb und weisz nit, wie lang.'
en hij zuchtte nog eens en zei:
'Ich sterbe und weisz nit, wann.'
en hij zuchtte weer eens en zei:
'Ich fahr und weisz nit, wohin.'
en hij zette zijn hoed op en zei:
'Mich wundert, dasz ich fröhlich bin.'

Noten

1. Rudy Kousbroek, *Een zuivere schim in een vervuilde schepping. Over het werk van Konstantinos Kavafis*. Nijmegen, Vriendenlust 1988, passim
Karel van het Reve, 'Ziet de boer geen landelijk schoon?'
In: *Rusland voor beginners*. Amsterdam, Van Oorschoot 1964, p. 103-116
2. Geciteerd naar de eerste druk: Amsterdam, De Bezige Bij 1992
3. Geciteerd naar de eerste druk: Amsterdam, De Bezige Bij 1992, p. 331-332
4. J.A. Dautzenberg, 'Tussen diaspora en oerknal'. *De Volkskrant* 20-11-1992
Carel Peeters, 'Ruimte die in de lucht hangt'. *Vrij Nederland* 20-11-1992
Jaap Goedegebuure, 'Eendimensionaal'. *HP/De Tijd* 20-11-1992
5. Jan Greshoff, *Nachtschade*. 's-Gravenhage, Boucher 1958
6. Rudy Kousbroek, 'Kunstmatige domheid'. Nawoord bij John Allen Paulos, *Ongecijferdheid*. Amsterdam, Bert Bakker 1989, p. 167 en 172
7. Dit voorbeeld is ontleend aan twee anekdotes die in de SF-wereld de ronde doen. Het kortste SF-verhaal luidt: 'Langzaam ging de zon onder in het oosten'. Het kortste griezelverhaal is: 'De laatste mens op aarde zat in zijn kamer te lezen. Plotseling werd op de deur geklopt...'
8. Een uitvoerige behandeling van de fouten bij Golding (en andere romanschrijvers) is: David Lake, 'A theory of errors: the altered worlds of fiction'. *Foundation* 1986, no. 36, p. 45-57.
Na mijn lezing maakte de heer W. Kranendonk mij erop attent dat ook een holle lens als brandglas kan worden gebruikt als ze met water wordt gevuld. Zie hiervoor: Wout Kranendonk, 'De bril van een bijziende als brandglas'. *NVOX* 1994 (verschijnt)
9. Rudy Kousbroek, *Het avondrood der magiërs*. Amsterdam, Meulenhoff 1970, p. 148
10. Joanna Russ, *De vrouw-man*. Amsterdam, Arbeiderspers 1980, p. 13. Vertaling Nan Lenders & Esther Liebenthaler.
11. Een overzicht van natuurwetenschappen en SF is: Peter Nicholls (ed.), *The science in science fiction*. London, Michael Joseph 1982. Een overzicht van natuurkunde en SF is: Amit & Maggie Goswami, *The cosmic dancers: exploring the physics of science fiction*. New York, Harper & Row 1983. Een artikelenbundel is: G.E. Slusser & E.S. Rabkin (eds.), *Hard science fiction*. Carbondale & Edwardsville, Southern Illinois University Press 1986.
12. Zie J.A. Dautzenberg, 'Ach ware ik een neutrino...: literatuur en de exacte wetenschappen'. *Wetenschap & Samenleving* 1988, no. 2, p. 7-15.
13. Leo Vroman, *126 Gedichten*. Amsterdam, Querido 1969, p. 240-241
14. Hans Andreus, *Verzamelde gedichten*. Amsterdam, Bert Bakker 1985, p. 660.
15. Eveneens uit de bundel *Syntropisch*. Ib. p. 645

Artifauna

Th. Jansen

Het begint met het voorbeeld van de wandelende tak. De wandelende tak heeft een veilige vorm. Vogels kunnen hem moeilijk vinden tussen de takken. Miljoenen jaren geleden echter schijnt hij een gewoon insect geweest te zijn dat zich stilletjes in bomen schuil hield. Door het principe van selectie en reproductie evolueerde zijn lichaamsvorm tot datgene waar hij de meeste tijd op doorbracht: de tak.

Beesten streven naar veiligheid. De een doet dat door bang te zijn en te vluchten, de ander door stil te blijven zitten in een omgeving waarin je niet opvalt, zoals de wandelende tak.

Het evolutieproces dat aan de basis ligt van het zoeken naar veiligheid heb ik proberen na te bootsen door kunstmatig leven te creëren in de computer.

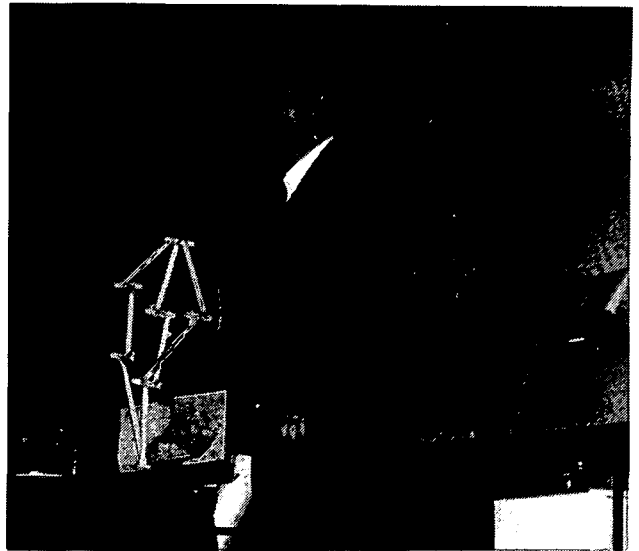
Ik programmeerde beestjes die hun eigen leven leiden op het computerscherm. Het zijn wormpjes die in willekeurige richtingen door elkaar krioelen en waarvan hun kronkelige vorm is bepaald door een aantal getallen (genen). Het leven op het scherm is gevaarlijk, want in het programma zit een nogal sadistische routine, namelijk: als een worm in de flanken geraakt wordt door de puntige kop van een andere worm dan sterft hij en verdwijnt van het scherm.

Op deze wijze vindt er selectie plaats.

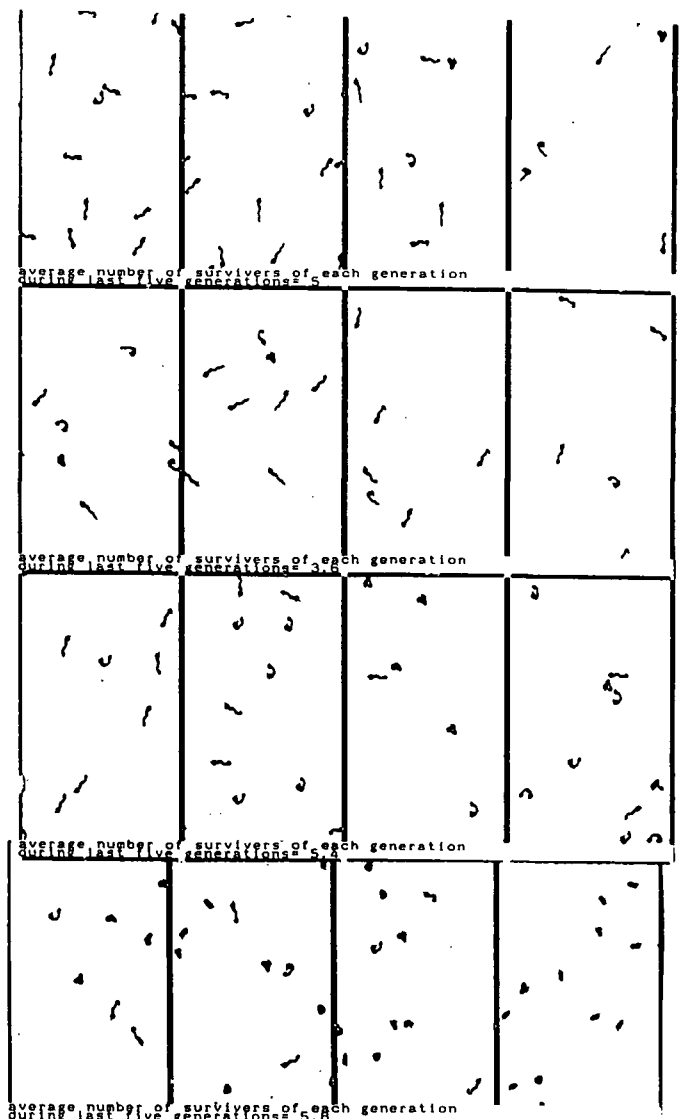
Als er nog maar een paar over zijn wordt het voorjaar en gaat de voortplanting plaatsvinden. Er worden nieuwe vormen over het scherm uitgestrooid met combinaties van de getallen (genen) van de overlevenden. Het hele scherm ligt dus weer vol en het harde leven van de beestjes neemt weer zijn aanvang.

Generaties lang gaan ze zo door. Het vreemde is dat de vorm van de worm aan verandering onderhevig is. Mutaties (fouten bij het doorgeven van de erfelijke code) veroorzaken die veranderingen. Er worden afwijkende soorten geboren. Die afwijkingen kunnen gunstig zijn voor de veiligheid of juist ongunstig.

Het resultaat is dat de worm, op eigen initiatief op zoek gaat naar een veilige vorm. Je hoeft ze daarin niet te adviseren. In de loop van de generaties rolt hij zijn staart op als verdediging tegen de stekels. Een opgerolde worm heeft minder kans om gestoken te worden.



Op de onderstaande computeruitdraai is het verloop weergegeven van een aantal generaties.



De beschreven evolutie gaat over het ontwikkelen van vorm: de wandelende tak (strekken), de worm (oprollen). Hierna wil ik de kunstmatige evolutie laten zien van beweging.

Ik ontwierp een computerbeestje. Het proces begint met beestjes waarvan vier pootjes onafhankelijk van elkaar spartelen. Elk pootje maakte een willekeurige repeterende beweging: buigen, strekken, stil, naar voren, strekken, schuin naar achter, buigen ... enz.

In hun programma was rekening gehouden met de zwaartekracht. Beestjes bijvoorbeeld die op een moment per ongeluk hun linker pootje intrekken en tegelijk hun rechterpootjes strekken, vallen om en sterven; geen plaats voor telgangers in dit dierenrijk. Van degenen die niet omvallen wordt het effect van de spartelingen van de vier pootjes bij elkaar opgeteld om de beweging van het totale lichaam te berekenen.

Zo schiep ik zevenhonderd beestjes, waarvan de meeste op een vaste plek stonden te wiebelen zonder vooruit te komen.

Er waren er echter een paar die zich een beetje voortsleepten. De snelste voortsleper noemde ik Dar. Ik liet hem zeventig vrouwtjes bevruchten die ook redelijk ter been waren. De jongen combineerden de pootbewegingen van hun ouders en gingen weer wandelen. De snelste ... enz.

Reeds na vijf generaties galoppeerden de beestjes over het scherm. In tien minuten leerde mijn computer lopen; sparteling werd gecoördineerde beweging.

Strandbeesten

Hoe komt het dat de duinen zo hoog zijn als ze zijn?

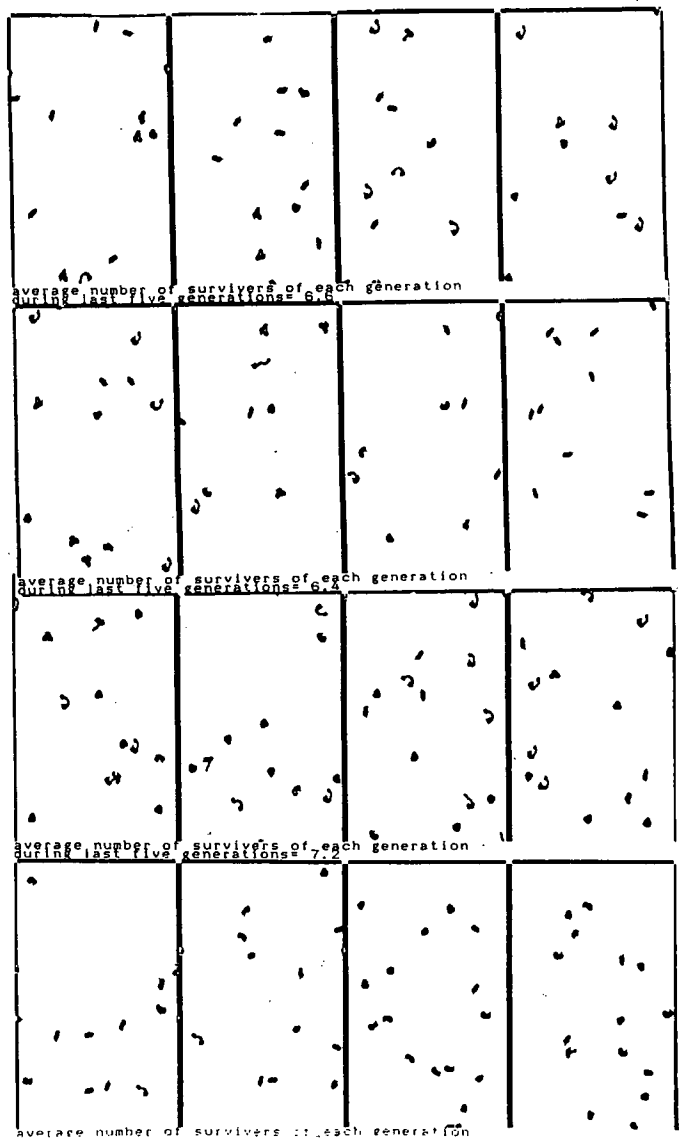
Duinen worden hoog doordat er zandkorreltjes tegenaan waaien en ze blijven laag doordat er ook weer zandkorreltjes vanaf waaien. Er waaien ongeveer evenveel korreltjes op als af, dus blijven de duinen even hoog.

Dit in tegenstelling tot de zeespiegel. De zeespiegel stijgt alleen maar.

De vraag is dus: hoe krijgen we meer zand op de duinen? Er moeten beesten komen die net zoals de bevers in de Biesbos, het ecologisch evenwicht op strand moeten gaan beïnvloeden.

Ze zijn gemaakt van elektriciteitsbuis en halen hun energie uit de wind; hoeven dus niet te eten. Ze worden aangedreven door vinnen die op hun rug op en neer wapperen door de wind. Die vinnen drijven achtereenvolgende pootjes aan die het beest laten lopen in zijwaartse richting, als een krab. Bij elke stap schept hij een beetje zand op en verzamelt dat op zijn rug. Wordt de zandlast te zwaar dan werpt hij hem af en tevens keert de looprichting om. Dat gebeurt ook als hij tegen een obstakel botst. Op die manier blijft hij altijd in beweging. Na een paar maanden zal er iets in het strandlandschap veranderen. Er zullen zandwallen gevormd zijn.

In de loop van de komende twee jaar zullen de strandbeesten een evolutie ondergaan. Omdat met elektriciteits



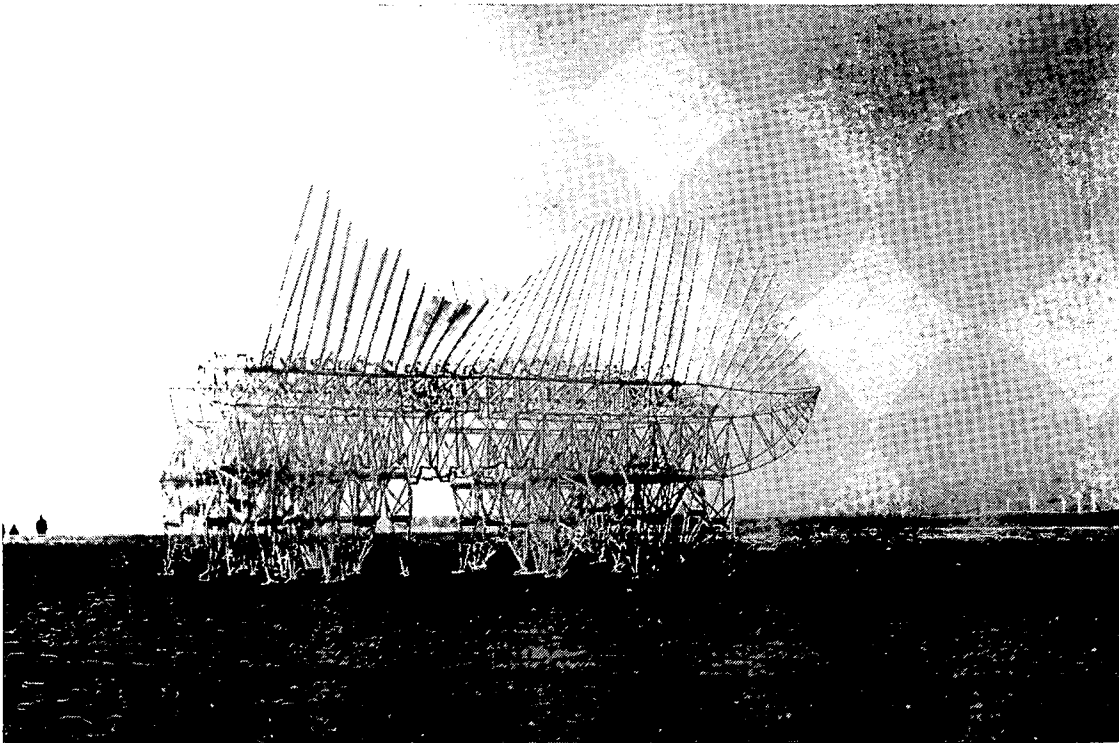
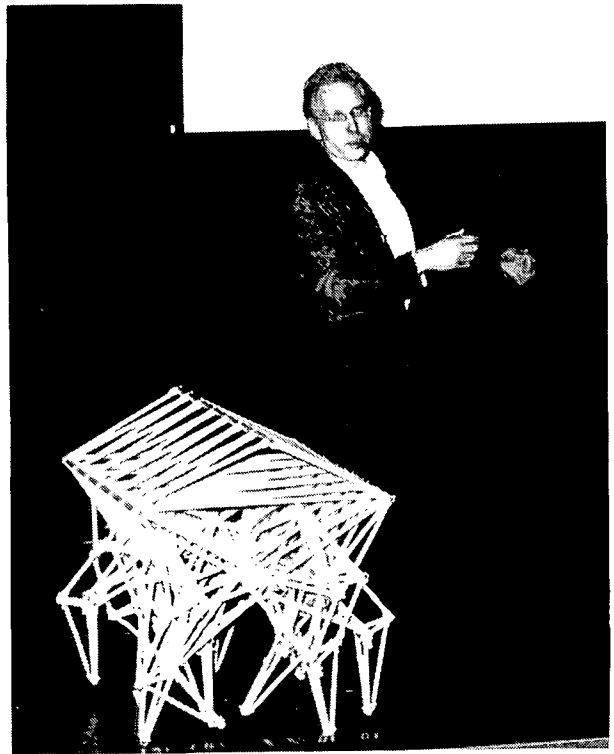
buis vrij snel constructies zijn te maken, is het mogelijk telkens nieuwe versies te laten ontstaan. Die versies zullen steeds beter worden en met enig doorzettingsvermogen moet het mogelijk zijn om binnen afzienbare tijd kuddes werkende strandbeesten op de Nederlandse stranden uit te zetten.

Bij de poten van het strandbeest wordt een rondgaande beweging van een krukas omgezet in een loopbeweging van het voetje.

De beweging van het voetje bepaalt in hoeverre het beest hobbelt. Hoe minder hij hobbelt hoe minder energie het lopen kost. Elf stangetjes bepalen de curve die het voetje beschrijft.

Om een goede loopbeweging te krijgen moeten we op zoek naar een zekere verhouding van lengtes van de stangetjes. Het aantal mogelijke verhoudingen is zo verschrikkelijk groot, dat we met een systematische methode tijd te kort zouden komen (met de computer duurt dat al 100.000 jaar!). We moeten onze toevlucht nemen tot de evolutie.

Er worden vijftienhonderd willekeurige poten geschapen in de computer. Van elk wordt de kwaliteitsfactor bepaald (combinatie van een hobbelfactor en de waggelfactor). De honderd beste poten mogen zich voortplanten. Deze leveren nakomelingen op die combinaties vormen van de stangetjes van hun ouders. Zo gaat dat generaties door. De poot wordt steeds beter.



De akoestiek en de architectuur van concertzalen

R.A. Metkemeijer

Als we het hebben over de akoestiek van auditoria, dan zijn er twee duidelijke hoofdgroepen: de akoestiek voor maximale informatie-overdracht en de akoestiek die klanken laat samensmelten en verrijkt, zoals de galmende akoestiek van een grot of kathedraal. Het eerste type akoestiek - de akoestiek van de open lucht - is met name van toepassing op spraak; het zijn hier de medeklinkers, transiënten die prioriteit hebben. Bij het tweede soort akoestiek zijn juist de klinkers, de aanhoudende tonen belangrijker.

Voor muziek betekent dit dat de openluchtakoestiek er is voor de melodie, de tegenmelodie en versieringen. De galmende akoestiek is voor de harmonieën, de klanken van gecompliceerde samenstelling. In de loop der tijd is de openluchtakoestiek geëvolueerd naar wat wij nu theaterakoestiek noemen. De akoestiek van de kathedraal ontwikkelde zich tot de concertzaalakoestiek. De moderne concertzaal moet op de eerste plaats klanken tot een geheel mengen en daarnaast ook voor een goede informatieoverdracht zorgen.

Muziekstijlen

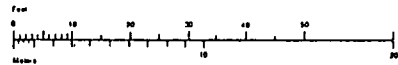
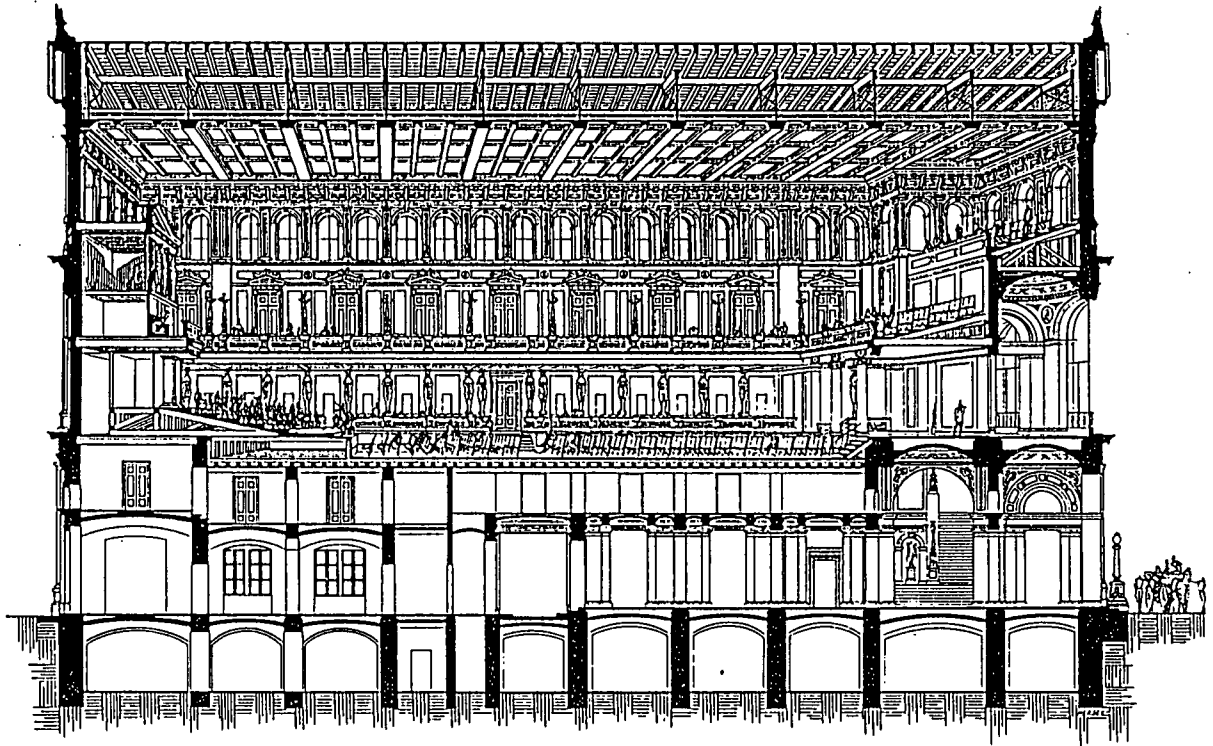
Bij het componeren van de muziek wordt vaak rekening gehouden met de ruimte waarin deze moet worden uitgevoerd: een ruimte met het karakter van open lucht - dus weinig galm - of een ruimte met juist veel galm zoals een kathedraal. Zo week de muziek van Bach sterk af van de kerkmuziek van vóór zijn tijd, omdat deze geschreven was voor uitvoering in de Thomaskirche te Leipzig die een betrekkelijk korte nagalmtijd had. In deze kerk waren balkons en doeken aangebracht om de verstaanbaarheid van het gesproken woord in de Lutheriaanse diensten te verbeteren.

Aan het eind van de achttiende eeuw werd klassieke concertmuziek (Haydn, Mozart en het vroege werk van Beethoven) geschreven voor uitvoering in niet te grote, vaak zeer dicht met personen bezette ruimten met een weinig galmende akoestiek.

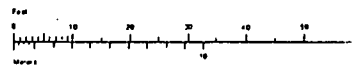
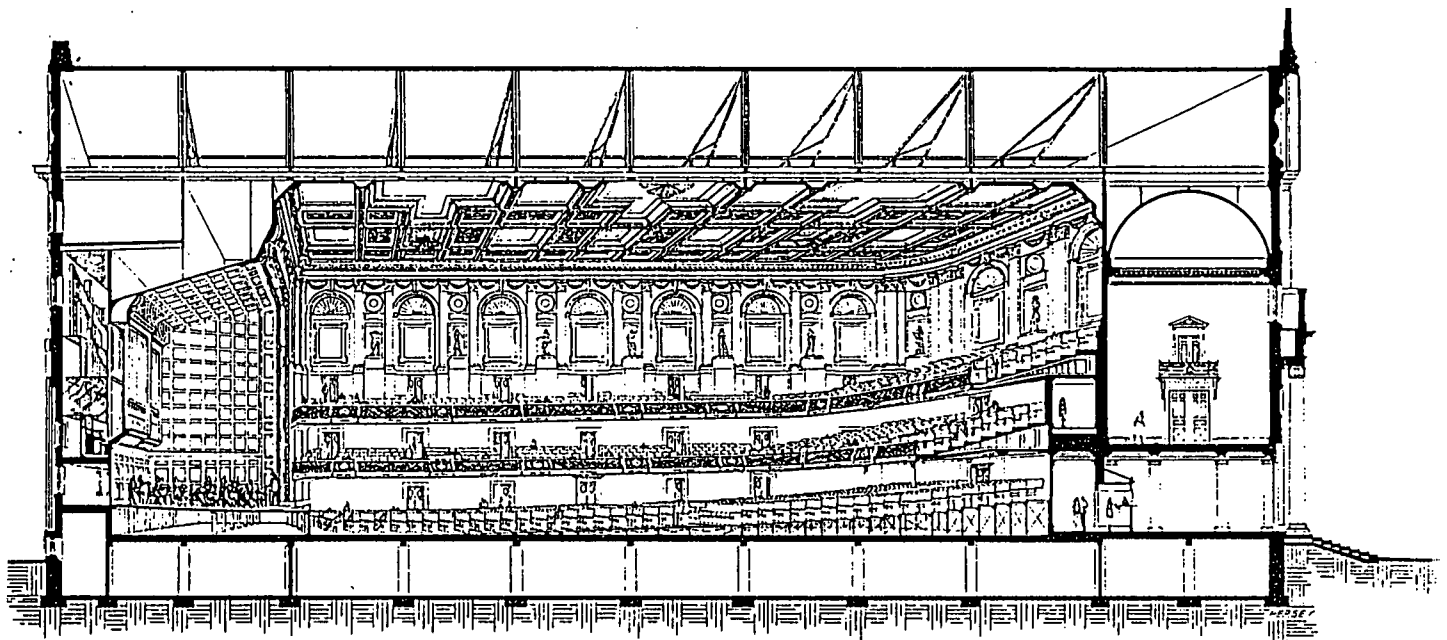
Voorbeelden van dergelijke zalen zijn de balzaal van Slot Esterhazy, het beroemde Alte Gewandhaus te Leipzig en de Hanover Square Rooms in Londen. Nederlandse voorbeelden zijn Felix Merites te Amsterdam en Diligentia in Den Haag. In de negentiende eeuw werden de publieksaantallen en de orkesten groter. Het karakter van de muziek uit de romantische periode van die eeuw sloot dan ook beter aan bij de grotere zalen met hun langere nagalmtijden. De totale klank van het orkest speelt bij deze muziek een veel grotere rol en is vaak belangrijker dan de melodie; een ontwikkeling die werd ingezet door Beethoven en voortgezet door componisten als Brahms, Bruckner, Debussy, Wagner en Mahler.

In de tweede helft van de negentiende eeuw werd een aantal beroemd geworden concertzalen gebouwd. Rond 1870 de Grosser Musikvereinsaal te Wenen, het Neues Gewandhaus in Leipzig, in 1876 het Stadt Casino te Basel en in 1888 ons Concertgebouw in Amsterdam. Dat deze zalen behalve voor de muziek uit de romantische periode ook zeer geschikt bleken voor muziek uit de klassieke periode, heeft veel te maken met hun smalle, lange vorm waardoor de volle klank ook voldoende helder en duidelijk is. Deze zalen ontstonden wat betreft hun akoestische eigenschappen grotendeels intuïtief, waarbij men terugviel op de ervaringen met bestaande zalen. Het beeld ontstaat wel eens dat uitsluitend in deze periode, zonder hinder van wetenschappelijke kennis, goede zalen konden ontstaan. Dit lijkt inderdaad juist, omdat de akoestisch minder goede zalen uit deze periode - en dat zijn er vele - inmiddels zijn afgebroken of vervangen.

Een groot aantal akoestisch problematische zalen uit de tweede helft van de negentiende eeuw, zoals de Royal Albert Hall en het Auditorium Chicago, werden ontworpen zonder een goed begrip van de akoestische consequenties. Hier ontstonden als gevolg van een nog verdere schaalvergroting onoplosbare problemen door een te geringe luidheid en daarmee met het dynamisch bereik, en daarnaast met echoverschijnselen en te lange nagalm.



Der Grosser Musikvereinssaal



Boston Symphony Hall

Wetenschappelijke kennis

Aan het begin van de twintigste eeuw was de wetenschappelijke kennis op het gebied van de zaalakoestiek vrijwel nihil, zeker voor wat betreft het gedrag van geluid in galmende ruimten. De kennis op het gebied van de openluchtakoestiek, inclusief het gebruik van bepaalde reflecterende vlakken om het directe geluid te versterken, was in feite sinds de Griekse en Romeinse amphitheaters bekend. De Amerikaanse lector Wallace Clemence Sabine begon rond 1895 experimenten met nagalm. Gebruik makend van zijn oren en een stopwatch vond hij dat de nagalmtijd van een ruimte evenredig langer werd bij een groter volume en evenredig korter met de hoeveelheid geluidabsorberend materiaal. Later richtte Sabine zijn onderzoek op de ontwikkeling van een kwantitatieve theorie, die de akoestiek van zalen moest voorspellen.

Hier begon de bemoeienis van de fysicus (of akoestisch adviseur) met het ontwerp en de architectuur van zalen. Sabine zelf stond aan de wieg van de Symphony Hall in Boston, die met het Concertgebouw en de Musikverein tot dit moment behoort tot de beste zalen ter wereld. Sabine beseftte dat zijn theorie niet volledig was. Hierin speelt wel het volume, maar niet de vorm van een zaal mee. Bij het ontwerp van de zaal liet hij zich dan ook sterk leiden door bestaande goede zalen, zoals de Oude Symphony Hall in Boston, het Neues Gewandhaus te Leipzig en de Musikverein in Wenen.

Door het werk van Sabine werd de nagalmtijd goed en relatief eenvoudig berekenbaar. Dit had echter het nadelige gevolg dat andere belangrijke aspecten die in de klassieke zalen goed voorzien waren - zonder dat men precies begreep waarom - op de achtergrond raakten. Daarom lijkt het erop dat de kennis van de nagalmtheorie tot een generatie zalen heeft geleid, die veelal minder bevredigend waren, ondanks de vooraf berekende nagalmtijd, tenzij men terug viel op de beproefde vormen en principes uit de negentiende eeuw.

Pas de resultaten van subjectief akoestisch onderzoek na 1950 hebben meer inzicht gegeven in de andere factoren die bij een concertzaalontwerp van belang zijn. Ook toen pas werd duidelijk waarom de oude smalle schoenendoos het altijd zo goed gedaan had. De generatie concertzalen van na 1960 kenmerkt zich dan ook door een nog veel nadrukkelijker aanwezigheid van de akoestiek in de architectuur.

Waaivorm

In de eerste helft van de twintigste eeuw, kort na het ontstaan van de zaalakoestiek als toepasbare wetenschap, zijn weinig belangrijke zalen gebouwd. Toch tekende zich - naast de klassieke schoenendooslijn - een duidelijke tendens af in de vormgeving. Er is in deze periode echter steeds sprake van een combinatie van de Sabine-benadering en een geometrisch-akoestische benadering.

Bij de Sabine-benadering moeten het volume - medebepalend voor de te kiezen gemiddelde hoogte - en de aanwezige absorptie (zeg maar: de aanwezige stoelen met publiek) de juiste nagalmtijd verzorgen. De geometrisch-

akoestische benadering richt zich op het versterken van het directe geluid door vroege reflecties via het plafond. Hiervoor wordt een zodanig vorm gekozen, dat uitgaande van een spiegelend oppervlak het gereflecteerde geluid geconcentreerd op het publiek valt.

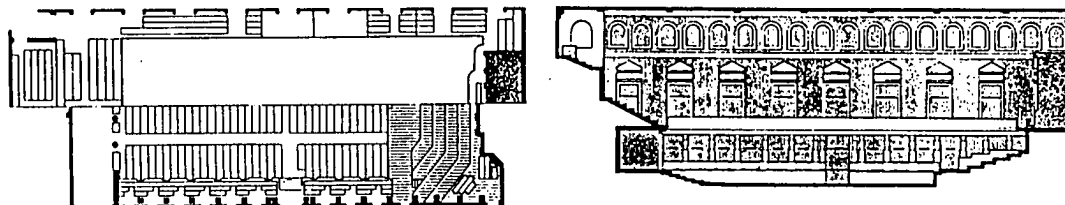
Doorgaans wordt, met het toepassen van de waaivormige plattegronden, afgeweken van de smalle rechthoekige grondvorm. De waaivorm heeft als voordeel dat de gemiddelde afstand van het publiek tot het podium kleiner is. Ter verbetering van de zichtlijnen en daarmee het directe geluid worden oplopende vloeren toegepast.

Bij deze combinatie van benaderingen vinden we dus voor het eerst duidelijk zichtbaar de synthese tussen de openluchtakoestiek met voornamelijk het informatiedragende directe en vroege geluid en de akoestiek van de galm, die de volheid en de goede menging van de klanken moet verzorgen. Met name dit laatste aspect bleek bij dit type zalen echter problemen op te leveren. Ook de praktische toepassing van Sabine's wet verliep vaak niet vlekkeloos. Dit werd vrijwel altijd veroorzaakt door een te beperkte kennis van de absorberende eigenschappen van materialen, gecompliceerde elementen, spleten en dergelijke. Vooral de geluidabsorptie in de lage tonen werd meer dan eens onderschat, wat nogal eens leidde tot zalen met een zwakke basweergave.

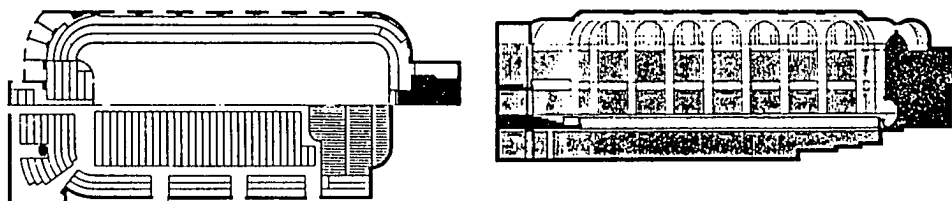
Nieuwe technieken

Ook een aantal ontwikkelingen in de architectuur en de bouwkunde vroegen om antwoorden uit de akoestiek. Voorheen was het gebruikelijk de zalen op te trekken in metselwerk en houtconstructies. Door de intrede van strakke staal- en betonconstructies verdween in de jaren vijftig een zekere mate van natuurlijke grilligheid uit de plafonds en de wanden; deze is van invloed op de geluiddiffusie. Geluidverstrooiing tegen plafonds en wanden moest nu op een kunstmatige manier worden toegevoegd, of op een andere wijze in de architectuur worden opgenomen. De benodigde hoeveelheid diffusie is hierbij een moeilijk te kwantificeren grootheid. Men ziet in de verschillende zaalontwerpen dan ook grote verschillen in aanpak, met een duidelijke tendens naar meer diffusie in de latere zalen. Naast de strakkere constructies was de verdere schaalvergroting een nog grotere bedreiging voor de zaalakoestiek. Ontwikkelingen in de bouwtechniek maakten het mogelijk om zalen met een grotere breedte en voor een groter publiek te bouwen. Het vergroten van de zaal heeft echter gevolgen voor de akoestiek. Zo moge duidelijk zijn dat bij een gegeven orkestgrootte de geluidsterkte afneemt als de zaal groter wordt. Op het moment dat de vergroting van de zalen bouwtechnisch mogelijk werd, bestond er echter nog geen duidelijk inzicht waar de ondergrens voor de luidheid lag. Bij grotere afmetingen vragen echter nog meer problemen om een oplossing. Zo zal het gereflecteerde geluid naarmate de zaal groter is, later aankomen en zal de dichtheid van de reflecties die tezamen de nagalm vormen geringer zijn. De effecten hiervan op de klankkwaliteit waren in deze periode echter nog niet goed bekend.

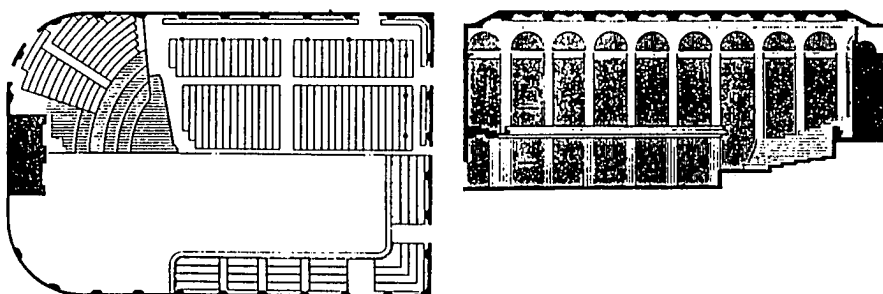
Grosser Musikvereinsaal, Vienna



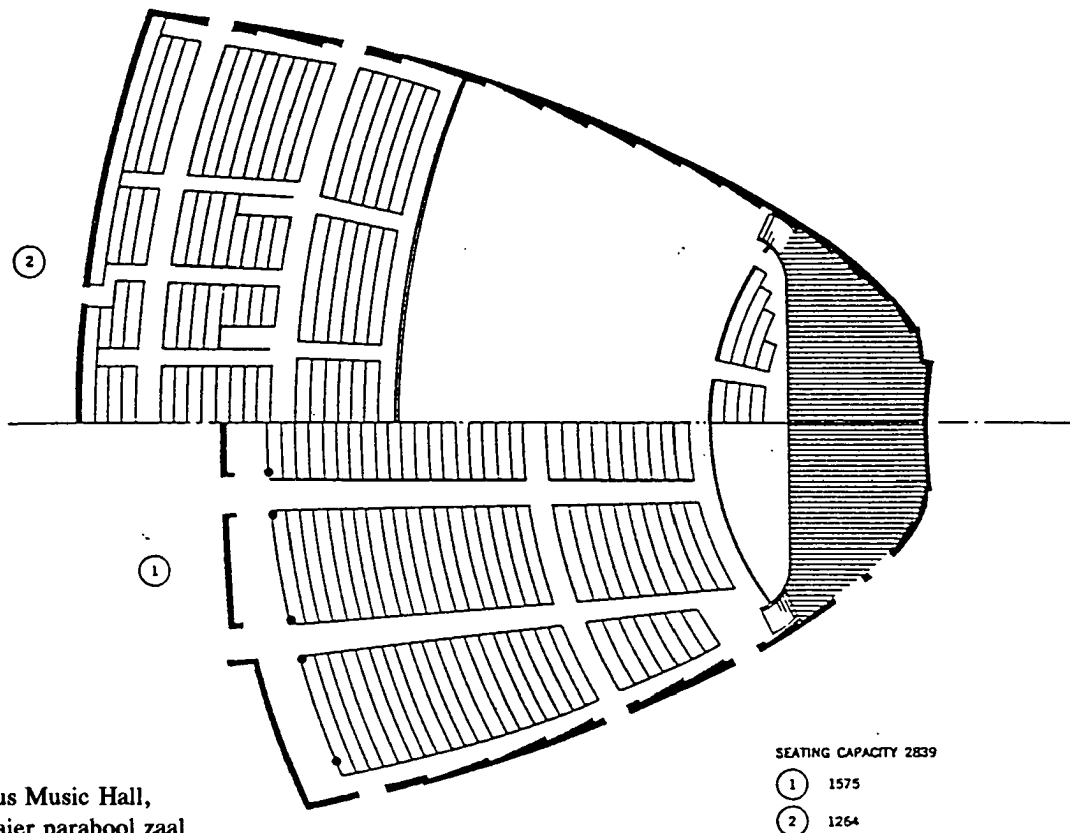
Neues Gewandhaus, Leipzig



Concertgebouw, Amsterdam



Drie beroemde "Schoenendozen"



Buffalo Kleinhaus Music Hall,
een typische waaier parabool zaal

De stand van de akoestische kennis in de jaren vijftig is goed af te lezen aan een zaal als de Royal Festival Hall in Londen, waarvan destijds de verwachtingen over de akoestische kwaliteit zeer hoog gespannen waren. Gekozen werd voor de beproefde rechthoekige vorm, maar door het grote aantal van 3000 plaatsen werd naar de huidige inzichten de zaalbreedte te groot. De nagalmtijd werd korter dan verwacht, mede omdat de stoelen per plaats meer oppervlak dan gebruikelijk innamen. Dit leidde onder meer tot het inzicht dat niet het aantal maar het totale oppervlak van de stoelen bepalend is voor de absorptie. In de lage tonen werd de nagalmtijd nog eens extra kort door het onderschatten van het absorberend vermogen van diverse in de zaal toegepaste materialen. Na deze teleurstelling werd het tijd voor een stap vooruit in de kennis.

Beranek

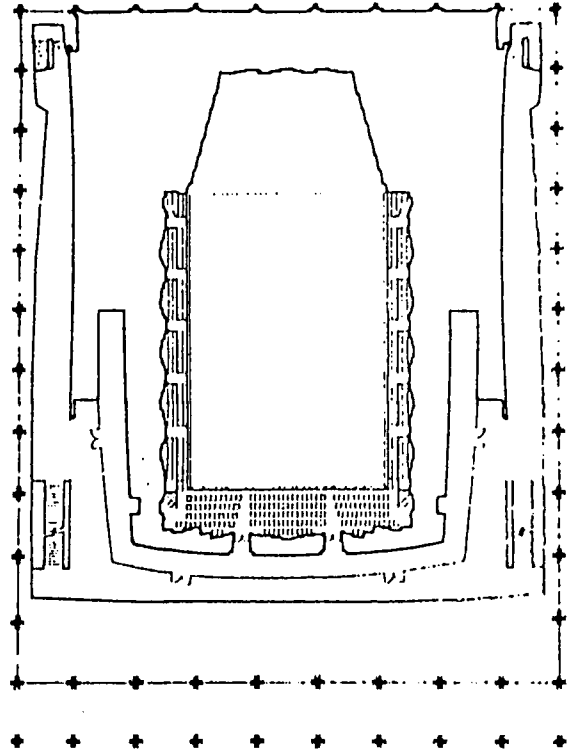
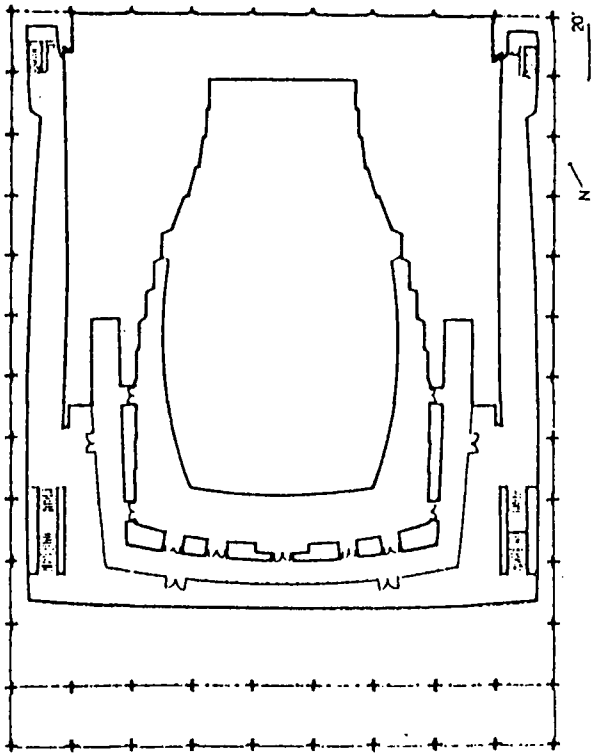
Voor het ontwerp van de New Yorkse concertzaal "The Lincoln Center for the performing arts", onderzocht Leo L. Beranek een groot aantal concertzalen over de hele wereld. De voornaamste kracht van dit onderzoek was dat het voor een groot deel bestond uit het interviewen van musici en deskundige luisteraars over de kwaliteiten en problemen van deze zalen. Akoestische metingen, behalve nagalmtijdmetingen, komen in het onderzoek weinig voor. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt doordat sinds Sabine weinig nieuwe meetbare zaalakoestische grootheden waren ontstaan. Men was er kennelijk nog steeds van overtuigd dat een goede akoestiek vrijwel geheel door de nagalmtijd bepaald werd. Daarbij waren de technieken om preciezere zaalresponsies te meten nog nauwelijks voorhanden. Desondanks betekende het onderzoek van Beranek, waarvan de resultaten zijn vastgelegd in het prachtige boek "Music, acoustics and architecture" de belangrijkste stap voorwaarts sinds Sabine. Beranek rafelde de zaalakoestische eigenschappen uiteen in een aantal factoren, die uit de interviews naar voren kwamen en bracht deze in verband met meetbare of berekenbare grootheden. De naar zijn mening belangrijkste factor was de zogenaamde intimacy of presence: het gevoel dat het publiek heeft samen met het orkest in één (kleine) ruimte te zijn. Volgens Beranek wordt intimacy bepaald door de tijd die verloopt tussen het horen van het directe geluid en de eerste reflecties. Hiermee wordt een direct verband gelegd met de afmetingen en het ontwerp van een zaal. Naast intimacy speelt in zijn opvatting ook nog een groot aantal andere factoren een rol, waaronder de nagalm (met een langere nagalmtijd in de lage tonen) en de luidheid. Door deze nadruk op de vereiste korte omweg van de eerste reflecties werden de zalen na Beraneks boek sterk beïnvloed. Een aantal zalen, waaronder de Philharmonic Hall in het New Yorkse Lincoln Centre, werd ontworpen met reflectoren boven het orkest en het voorste deel van het publiek. Hiermee werd toch een korte omweg voor de eerste reflecties gecreëerd zonder dat het zaalplafond lager

behoefde te worden gemaakt, wat de nagalmtijd te zeer zou terugbrengen.

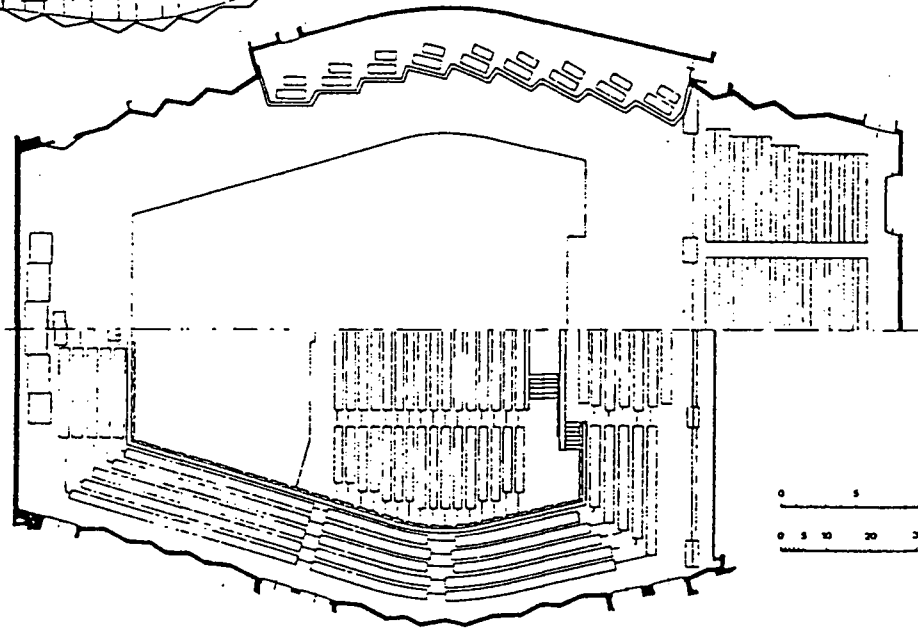
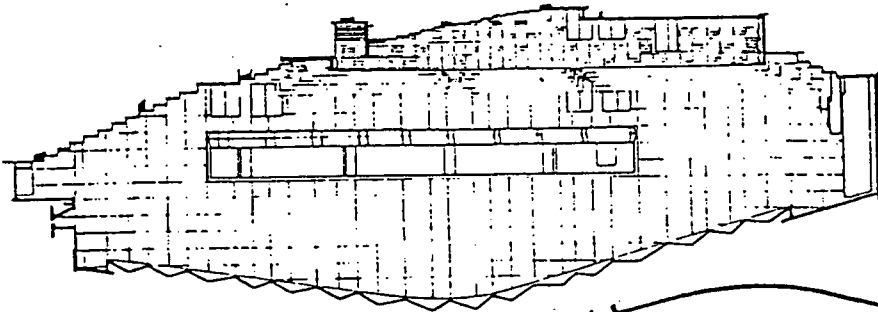
Om verschillende redenen, die te ver voeren voor deze voordracht, bleek de Philharmonic Hall ondanks de zeer hoge verwachtingen toch geen goede zaal. Binnen vijftien jaar (!) werd hij afgebroken en binnen hetzelfde gebouw vervangen door de Avery Fisher Hall: een klassieke schoenendoos, sterk gelijkend op Boston Symphony Hall. Ironisch genoeg was de nieuwe zaal vrijwel identiek aan Beraneks eerste voorstel voor de Philharmonic Hall. Een succesvolle toepassing van Beraneks ideeën vindt met terug in De Doelen te Rotterdam, de Neue Philharmonie in Berlijn en in een aantal andere moderne zalen. In de Doelen bevindt men zich altijd relatief dicht bij een reflecterende wand. Door het midden van de zaal als een door wanden omgeven "kuil" te bouwen en door de zaal aan de achterzijde smaller te laten worden, wordt voldaan aan Beranek's criterium voor intimacy. De terrasvormige bouw van de Philharmonie in Berlijn bereikt hetzelfde door het publiek in een aantal, door wanden omgeven, segmenten op te delen. Daarnaast zijn beide zalen ontworpen met reflectoren boven het podium, om nog extra, intimacy bevorderende reflecties te genereren. In de Doelen zijn deze later overigens - tegen de wil van Kosten en De Lange - verwijderd, omdat men er bij plaatopnamen hinder van ondervond.

Laterale reflecties

In de jaren zestig werd door een aantal onderzoekers de invloed van het vroege gereflecteerde geluid op de akoestische beleving onderzocht in kunstmatige, op eenvoudige wijze te variëren geluidvelden. Een belangrijke conclusie van deze onderzoeken was dat er een extra dimensie bestond in de subjectieve waardering van het luisteren naar symphonische muziek. Het ging dan om het gevoel opgenomen te zijn in het geluid (envelopment of sound), ofwel het ervaren van ruimtelijkheid. Deze beleving wordt in hoge mate bewerkstelligd, doordat gereflecteerd geluid de twee oren niet gelijktijdig bereikt. Hoe meer het geluid op de twee oren van elkaar verschilt des te ruimtelijker is de klank. Concertzalen met relatief sterke reflecties van de zijwanden (zoals smalle schoenendooszalen) klinken dus sterk ruimtelijk en zo werd, lang nadat deze zalen gebouwd werden, een belangrijk aspect van hun kwaliteiten verklaard. In een later door Schröder, Siebrasse en anderen verricht onderzoek naar de subjectieve waardering van een groot aantal concertzalen werd bevestigd dat de op deze wijze gedefinieerde ruimtelijkheid een van de onafhankelijke "dimensies" van de beoordeling is, tezamen met "helderheid" (clarity) en een sterk met de nagalm correlerende factor. De gevonden criteria voor ruimtelijkheid van de klank, waarbij dus nu ook de richting van het gereflecteerde geluid een belangrijke rol speelt, heeft het ontwerp van een groot aantal zalen sterk beïnvloed. Hoewel de akoestici van de Doelen (Kosten en de Lange) en van de Philharmonie in Berlijn (Cremer) tijdens het ontwerp van deze



Lincoln Centre
De oorspronkelijke en de vernieuwde zaal



De Doelen, Rotterdam

zalen nog weinig inzicht hadden in het belang van lateraal geluid, houden hun zalen hier wel rekening mee. Dit verklaart voor een deel, maar zeker niet volledig, het succes van deze zalen. Gewaakt moet altijd worden voor overschatting van een deelaspect - zoals eerder de nagalmtijd en nu dan de ruimtelijkheid - waardoor andere ook belangrijke aspecten dreigen te worden opgeofferd.

Town Hall in Christchurch, het Neues Gewandhaus in Leipzig en Am Gastein in München zijn voorbeelden van zalen waar bewust gestreefd is naar sterke (vroege) laterale reflecties. De Town Hall in Christchurch is een uitgerichte arena met grote scheefstaande reflectoren die het laterale geluid verzorgen. Het Neues Gewandhaus in Leipzig is een zaal die op een aantal punten gelijkenis vertoont met de Philharmonie in Berlijn. In de zaal Am Gastein in München zijn alle wandvlakken zodanig geplaatst, dat deze vroege laterale reflecties in het publieksvak genereren. Het gevaar is aanwezig dat teveel van de beschikbare energie hiervoor wordt aangewend (in het publiek wordt het geluid direct geabsorbeerd) en dat te weinig galm-energie overblijft.

Hierdoor wordt het totale geluidsniveau te laag en de zaal kan, ondanks een voldoende lange nagalmtijd, als "droog" ervaren worden. Men zou hier kunnen spreken van een te grote nadruk op één aspect (in dit geval vroeg lateraal geluid), wat ten koste gaat van andere kwaliteiten.

Variabele akoestiek

Om meerdere redenen, maar vooral vanwege de exploitatie van een zaal, is er altijd een grote vraag geweest naar zalen die zowel theaterzaal als concertzaal kunnen zijn, de zogenaamde "multipurpose hall". Gebruikelijke oplossingen bestaan veelal uit het plaatsen van een orkestkamer in de toneeltoren om te voorkomen dat het orkest in een immense, sterk gedempte toneeltoren moet spelen. Tevens wordt variabele absorptie in de zaal aangebracht, bijvoorbeeld door zware gordijnen, die neergelaten of opgetrokken kunnen worden. Hierdoor ontstaat een zekere variabiliteit van nagalmtijd.

Veel van dergelijke zalen blijven met name in de concertsituatie onbevredigend, behalve in die gevallen waar voldoende volume voorhanden is en de toneelopening tot een zodanige hoogte en breedte vergroot kan worden, dat orkestkamer en zaal een ononderbroken ruimte vormen. Goed voorbeelden van dergelijke geslaagde zalen met variabele akoestiek zijn De Lawei in Drachten en het Theater aan het Vrijthof te Maastricht.

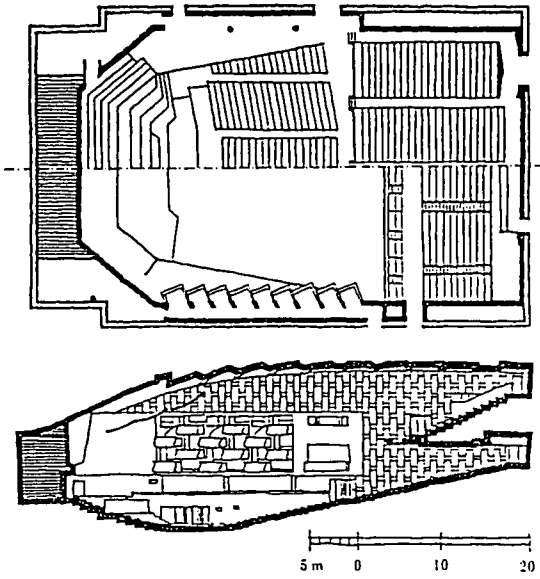
De "Espace de Projection" in IRCAM (Parijs) is uitsluitend concertzaal, maar met een extreem variabele akoestiek, die ontstaat door een in hoogte variërend plafond, terwijl de wanden en plafonds geheel bestaan uit draaibare elementen, die computerbestuurd, geluidreflecterende, geluidabsorberend of geluidverstrooiend kunnen zijn. In deze zaal doen Pierre Boulez en anderen onderzoek naar de wederzijdse beïnvloeding van muziek en akoestiek. De nagalmtijd is variabel tussen 0,8 en 5 seconden.

Nieuwe fase

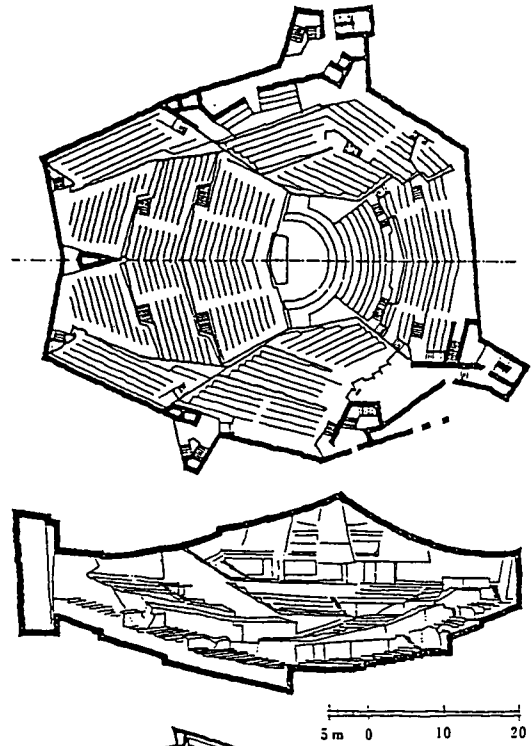
Het is zeer de vraag of de recent gebouwde zalen, die in hoge mate gebaseerd zijn op het doen ontstaan van vroege laterale reflecties, het enige en laatste antwoord zijn hoe de perfecte (niet-schoenendoos) zaal ontworpen moet worden. Door de recente opkomst van geavanceerde meettechnieken zijn in korte tijd zeer veel meetgegevens verkregen van allerlei zalen, zowel klassieke als moderne. Het is niet uitgesloten dat deze, nu pas goed bekende, gegevens van goede en minder goede zalen een geheel nieuw licht zullen laten schijnen op tot nu toe algemeen geaccepteerde uitgangspunten.

Zo blijkt bijvoorbeeld uit recent onderzoek van Gade, dat de beroemde schoenendooszalen van Wenen en Amsterdam uit het oogpunt van ruimtelijkheid en helderheid volgens de gangbare criteria nogal slecht zouden moeten zijn, hetgeen niet erg pleit voor de waarde van deze criteria. Een tendens is waarneembaar om terug te vallen op de klassieke rechthoekige vorm, zoals in succesvolle moderne uitgaven van dit concept in Den Haag en Enschede. Ook het feit, dat bij recente prijsvragen voor concertzalen in Luzern en Lübeck weer nadrukkelijk de oude schoenendoosvorm gevraagd werd, lijkt er op te duiden, dat de moderne zaalakoestische oplossingen nog niet algemeen als de beste beschouwd worden. Het is daarom niet uitgesloten dat nog voor het einde van deze eeuw de zaalakoestiek weer een nieuwe fase zal ingaan, gesteund door sterk verbeterde meettechnieken en interpretatie van meetgegevens. Deze nieuwe inzichten zullen ook weer zichtbaar worden in de architectuur van concertzalen, al weten we nu nog niet hoe.

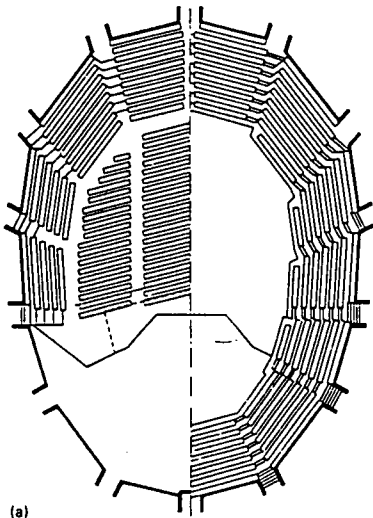
Door verbeterde inzichten zal het kunstmatig, met elektronische middelen in een ruimte brengen van de akoestiek steeds betere resultaten kunnen opleveren. Dergelijke systemen zijn momenteel sterk in ontwikkeling en als men de makers mag geloven, dan zullen de architecten binnenkort weer aanzienlijk vrijer gelaten kunnen worden in hun zaalontwerpen. De akoestiek is met deze systemen naar wens met een druk op de knop te wijzigen. In hoeverre dit zal gaan lukken is nu niet te voorzien. Mocht het inderdaad zo zijn, dan zal de twintigste eeuw de geschiedenis ingaan als de enige eeuw waarin akoestici een significante invloed op de architectuur van concertzalen hebben gehad.



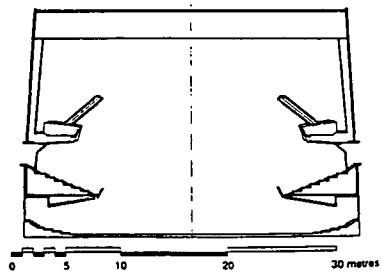
Royal Festival Hall



De Philharmonie van Berlijn

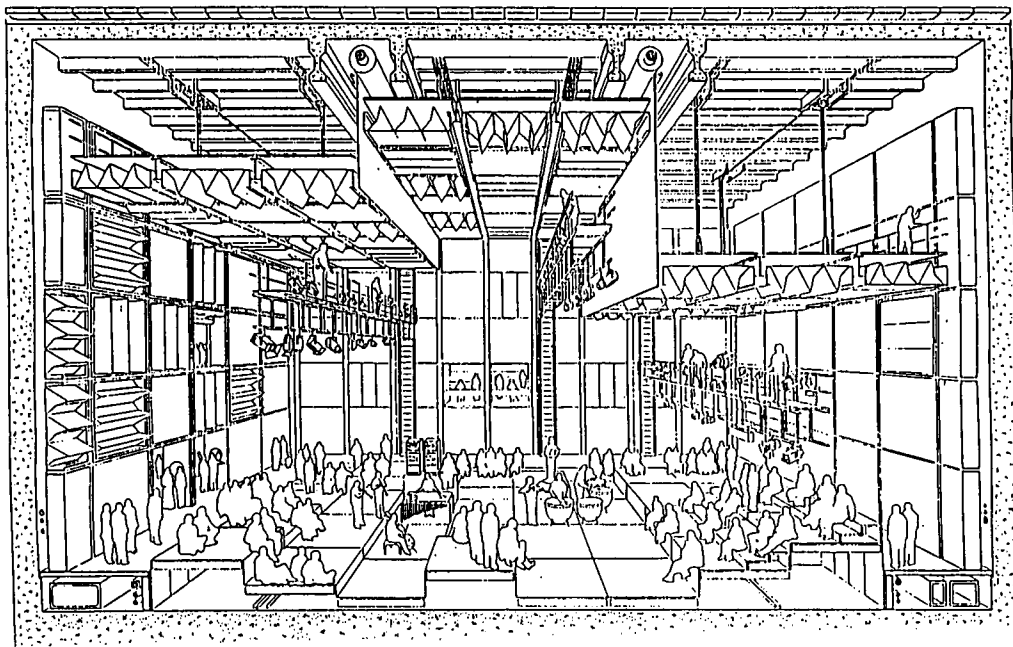


(a)

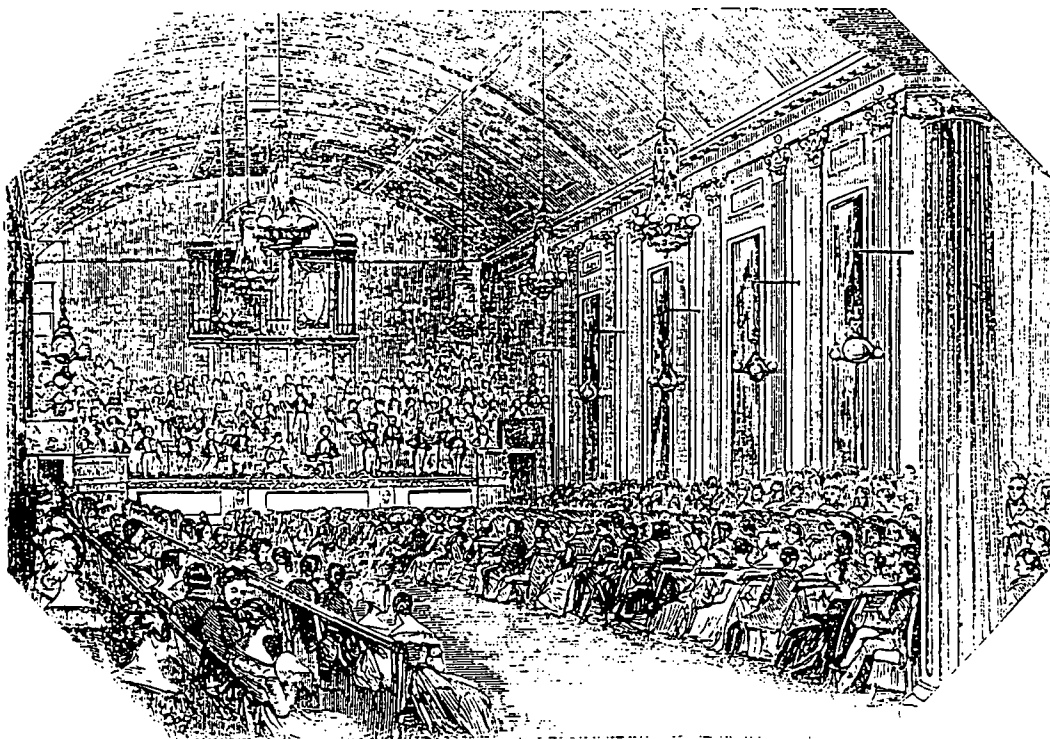


(b)

Town Hall Cristchurch,
een typische "laterale" zaal



Ircam, een zaal met extreem variabele akoestiek



De Hanover Square rooms,
een van de "oer" concertzalen

Werkgroepen

Dans en Natuurkunde

Werkgroep 1

L. Schuurmans



Inleiding

Keuze van het onderwerp 'Licht'; motivatie en verantwoording:

- Licht, als verschijnsel, natuurkundig en overdrachtelijk.
- Licht, zoals behandeld in Blok 2 'Optica', 2e klas Havo/Vwo.
- Het onderwerp 'Licht' ook als mogelijkheid om op eigen kennisniveau door te werken met ideeën daarover.
- Eigenschappen van 'Licht' als aanknopingspunten voor vormgeving in dans.

In deze werktijd was het niet de bedoeling de 'mechanica van de dans' te verhelderen, en evenmin om natuurkundige verschijnselen 'uit te beelden' met levend materiaal. Dans is een kunstvak, wil ver-beelden, wil inspiratie (door bijv. natuurkundige verschijnselen) en intenties vormgeven in dans.

De praktische werktijd was ingedeeld in een (1+2) Basis- en (3+4) eigen kennisniveau:

1. Hoe beweegt zichtbaar licht?
Lichtstraal, lichtbundel, lichtbron.
2. Spiegelen.
3. De aard van licht.
Golven, deeltjes, ritmen, amplitudes.
Combineer de eigenschappen van zichtbaar en onzichtbaar licht.
4. Vormgeving (in groepjes) en presentatie van de dansstukken aan elkaar.
Opdracht: Twee of meer eigenschappen van licht vormgeven in dans + iets onverwachts (een gebeurtenis of een eigenschap veranderen) en het dansstuk circulair maken, zodat het door kan gaan.
Feed back: wat werd er gedanst en wat werd er gezien?

Nabespreking

1. Mogelijkheden Dans/Natuurkunde n.a.v. bijv. 'Licht':
 - nog vele eigenschappen van Licht en andere natuurkundige verschijnselen te bedansen!
 - dansfysiek nog veel mogelijkheden om uit te werken.

- vele combinaties mogelijk met de musische invalshoeken:
 - dramatisch- gedichten, verhalen, mythen over Licht;
 - muzikaal- muziekstukken, gezangen over Licht, ritmen;
 - beeldend- schilderijen, moderne beeldende kunst, materialen.
- zoekend en dansend n.a.v. de vele analogieën over Licht: bijv. 'Licht' als idee/begrip; en "je licht ergens over laten schijnen", etc.
- persoonlijk engagement: lichtpuntjes en schaduwen in je eigen leven; er stralend uitzien; je ergens aan spiegelen; lichtgeraakt zijn; het daglicht niet kunnen verdragen, etc.
- Cultuurgegevens als Kerstmis, feest van het Licht; de Zonnewende en diverse Lichtmythen.

2. W.b. de Basis: integratief denken: het is hetzelfde kind dat danst en natuurkunde of bijv. nederlands leert. Schakel die kennis in en bovendien, iets wat je gedaan hebt blijft veel meer 'hangen'.
3. Het mes snijdt aan twee kanten: voor natuurkunde: een letterlijke verwerking van de geleerde stof, zover dat je er zelfs creatief mee kunt omgaan!
Voor dans: geschikte voeding voor de belevingskant van de dans (op eigen niveau), zeker op deze leeftijd!

Er is gewerkt met de volgende kerndoelen-dans voor de Basis:

- A.1. Betekenisgeving: De *leerlingen* kunnen gevoelens, ervaringen, ideeën, situaties en gebeurtenissen in dans weergeven.
- B.4. Basale aspecten: De leerlingen kunnen bewegingsvormen in dans vertalen met gebruikmaking van de basis-aspecten voor dans: ruimte, tijd en kracht.
- C.10. De leerlingen kunnen met gebruik van theatrale middelen, ritmische structuren en groepsformaties, uiteenlopende karakters in dans vormgeven.

Bijlage: adreslijst uit 'Op weg naar de basisvorming'

Scholen die belangstelling hebben voor het vak dans en zich nader willen oriënteren kunnen het beste contact opnemen met één of meer van de volgende instellingen. De adreslijst hieronder is geordend als volgt: eerst de dansvakopleidingen, vervolgens de relevante verzorgingsinstellingen en tenslotte de overige nuttige adressen.

Opleidingen

St. Hoger Onderwijs Zuid Nederland
Dansacademie Brabant
Kempenbaan 27
5022 KC Tilburg
013-350485

Amsterdamse Hogeschool voor de Kunsten
Faculteit Theater
Vendelstraat 2
1012 XX Amsterdam
020-6261241

Hogesch. voor Muziek en Theater Rotterdam
Rotterdamse Dansacademie
Tandwielstraat 1
3083 AV Rotterdam
010-4230011

Hogesch. voor de Kunsten Arnhem
Faculteit Theater, studierichting dans
Weverstraat 10
6811 EN Arnhem
085-535635

Verzorgingsinstellingen

Landel. Ondersteuningsinst. Kunstz. Vorming
Postbus 805
3500 AV Utrecht
030-332328

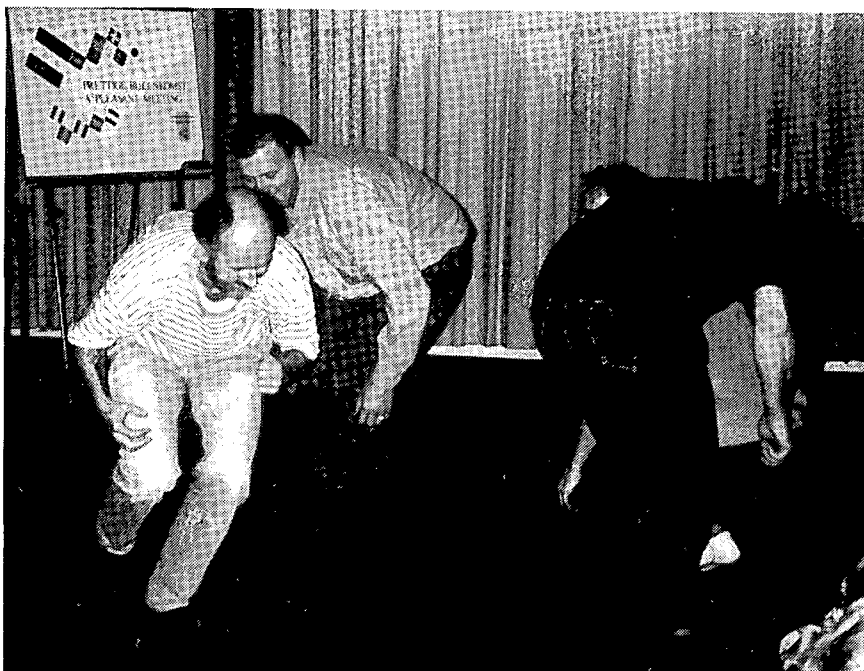
Inst.voor Leerplanontw. SLO
Postbus 2041
7500 CA Enschede
053-840840

Kath. Pedagogisch Centrum KPC
Postbus 482
5201 AL Den Bosch
073-215435

Overige nuttige adressen

Nederlands Inst. voor de Dans
Herengracht 174
1016 BR Amsterdam
020-6237541

St. Educatieve Dans
Angstelkade 7
3634 AJ Loenersloot
02949-1784



Beeldige fysica

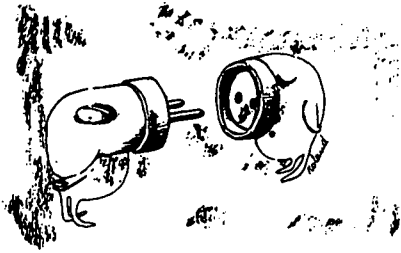
Werkgroep 2

S. Daems

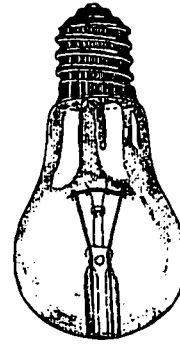
Als inleiding werden negen verschillende betekenissen van "beeld" toegelicht. Beeldige fysica kan dus op meerdere manieren geïnterpreteerd worden.

De opgave was, bedenk bij een cartoon een gepast onderschrift zodat de tekening een natuurkundige betekenis krijgt. De bedoeling is niet dit te gebruiken om fysica te leren maar wel om de creativiteit te stimuleren. Aan deze creativiteit is meestal een taalaspect verbonden. De ter beschikking gestelde cartoons zijn vooraf voor dit doel uitgekozen. Alle vormen en gradaties van lachen waren en zijn toegelaten. Het creatieve werk kan beoordeeld worden aan de hand van telkens twee geselecteerde onderschriften bij acht cartoons (het gaat hier om een beperkte selectie).

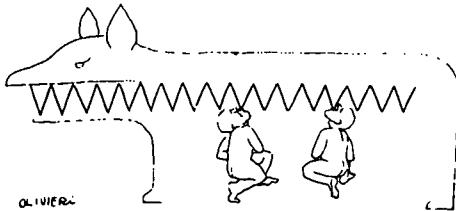




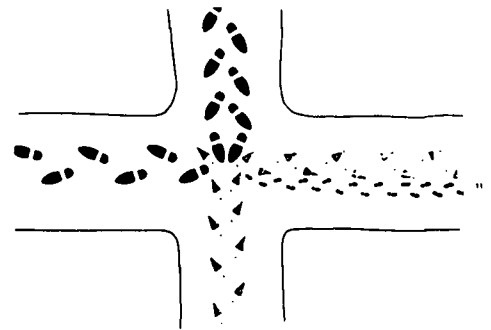
A. Eenheid
Op ieder potje past een deksel



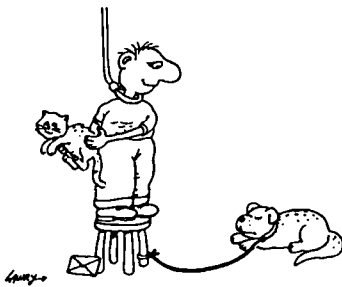
B. Foelamp
Uitstraling (Uit straling)



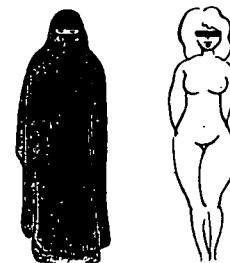
C. Ik proef het faseverschil
Spanningsdelers



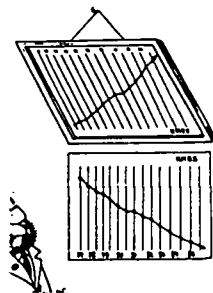
D. Feynmandiagram
Paarcreatie



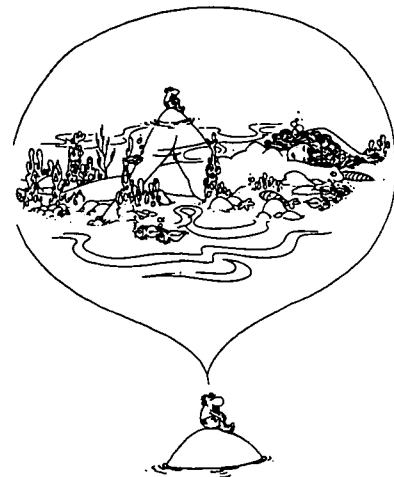
E. Kettingreactie
Regelsysteem



F. Wil niet herkend worden
Nieuw deeltje: moslim en antimoslim



G. Jokken liegen statistieken
Grafieken moet men interpreteren: een voorbeeld
van optische interpretatie



H. Werd het maar eb!
Modelvorming

De bredere cultuurcontext in de lessen fysica; voorbeelden en een discussie

Werkgroep 4

G. Dejonghe

1. Situering van de discussie

Het schoolvak fysica stelt hoge vakspecifieke eisen zowel op theoretisch als op experimenteel niveau. Ongetwijfeld engageren vele leraren fysica en hun leerlingen zich tot het grondig bestuderen van de fysica in die vakspecifieke aspecten en dat is ook nodig!

Het is echter spijtig dat het daarbij soms blijft. Dat is natuurlijk begrijpelijk en de reeds zo overbelaste leraar moet zich niet (weer eens!) schuldig gaan voelen. De druk van het lonkend academisch onderwijs is namelijk groot. Elke leraar wil dat zijn oud-leerlingen later goed varen in de hogere studies in de fundamentele, de toegepaste en de industriële wetenschappen.

Bovendien weet elke degelijk opgeleide leraar fysica "dat er meer is", dat de fysica nog zoveel rijker is. De leerkracht weet ook dat deze meerwaarde van het vak nu juist zo relevant is voor alle leerlingen. Dus ook voor de talrijke leerlingen die later met de fysica in enge zin niets meer te maken gaan hebben.

Maar "degelijk opgeleid" wil soms ook zeggen "eenzijdig" opgeleid, binnen het kleine kringetje van docenten en studenten in de fysica aan de universiteit. Aan deze vakgenoten moet men niet meer gaan uitleggen waarmee men bezig is (of niet?).

Kortom, de degelijk opgeleide leraar is onvoorbereid op de confrontatie met leken/leerlingen wanneer hij de vertrouwde vakgemeenschap der fysici verlaat, om bijvoorbeeld te gaan lesgeven.

Wat houden onze leerlingen van het schoolvak fysica over? Is het niet juist "dat beetje meer", dat de goede leerkracht weet mee te geven? Die meerwaarde die overblijft als alle formules, afleidingen en experimenten reeds lang zijn vergeten?

Laat ons die meerwaarde voorlopig "cultuur in de fysica klas" noemen.

Maar mag dat wel? Kan een leraar fysica wel over cultuur spreken? Brengt men (op school althans) "cultuur" niet

eerder in verband met artistieke vakken, literaire studie, geschiedenis en sociale vakken? Deze schoolvakken zouden bij uitstek met "de cultuur" bezig zijn.

Er bestaan zelfs niet mis te verstane termen voor: "de exacte wetenschappen en de cultuurwetenschappen". We raken hier het beruchte twee-culturen-probleem: de α 's en de β 's. In de publieke opinie zitten de α 's "cultureel" gezien wel een trapje hoger, terwijl de β 's natuurlijk vooral noodzakelijk en nuttig (soms schadelijk!) zijn voor de vooruitgang, het lieve comfort, de uitroeiing van ziekten, enz....

Dergelijke gedachtengang is breed verspreid maar leidt tot steriele tegenstellingen. Laat ons daarom deze naïeve concepten voor wat α - en β -cultuur zou zijn verlaten en werkdefinities hanteren die hopelijk vruchtbaarder zijn.

2. Cultuur als context

Na alternatieve werkdefinities van cultuur onderzocht te hebben, leun ik aan bij de inzichten opgedaan door wetenschapsantropologen die fysici in hun werkveld hebben bezocht en geobserveerd (het werkveld van de onderzoeksinstituten en de onderzoekslaboratoria).

"Cultuur" kan men best niet meer als extern aan het wetenschapsbedrijf beschouwen.

"Cultuur" is een intern element van het geheel. Ik stel voor "cultuur" te bekijken als de achtergrond van de figuur, of als de context van de tekst. Achtergrond of context kunnen dikwijls verborgen zijn.

Verder stel ik voor "die ongrijpbare cultuur" concrete inhoud te geven in elk te bestuderen geval. Om cultuur te ervaren moet men (net zoals in de kunsten!) concrete stijlen bestuderen. Zich terug gaan inleven in en nieuwe betekenis zoeken voor een particuliere stijl.

Ik wijs er op dat er ook zo iets bestaat als verschillende wetenschappelijke stijlen. We zijn - als leraren - echter zo gewoon een betoog te houden in termen van algemene wetmatigheden. We zijn veel minder comfortabel met het

voeren van een narratief over de bijzondere stijl van een welbepaalde fysicus (of een familie/team van fysici).

3. Twee voorbeelden

Twee wetenschappelijke stijlen werden besproken. Alhoewel de scheiding tussen theorie en experiment absoluut niet opgaat, wordt het (academisch) onderscheid tussen experimentatoren en theoretici, om pragmatische redenen, behouden.

Voor de eerste stijl, een meer experimentele stijl, wordt een scene opgebouwd: het bezoek van een leek/leerling aan een fysicallaboratorium. Aanvankelijk is er totale spraakverwarring tussen fysicus en bezoeker. Maar later kunnen beide partners voor elkaar begrip opbrengen via een langdurig (!) en interpretatief gesprek.

De verbinding met een meer schoolse en vakdidactische situatie wordt aangetoond.

Voor de tweede stijl, een meer theoretische stijl, moet men metaforen weten te appreciëren. Metaforen zijn vooral nog te vinden in de "context van ontdekking" (context of discovery).

Men kan hiervoor beter het werk van een creatieve fysicus bestuderen, in de periode dat de wetenschappelijke hypothesen nog moeten uitgevonden worden. Pas later zullen deze hypothesen op een meer formele manier worden gesteld.

Ik voer hier het geval Kepler (1571-1630) ten tonele, een vroeg moderne overgangfiguur die een embryonale fysica ontwikkelde: de eerste mathematische fysicus in de moderne betekenis van het woord.

Ik bespreek enkele typische Kepleriaanse metaforen waarvan sommige ons nu zeer vreemd en ouderwets voorkomen, maar die daarom niet minder boeiend en levend zijn! Zo komen we tot de appreciatie van een stijl à la Kepler.

4. Discussie in de groep

In een geanimeerd nagesprek bespreken de groepsleden hoe de (Kepleriaanse en andere) metaforen nog een betekenis kunnen hebben in onze postmoderne(?) tijd.

Verschillende groepsleden brengen ervaringen aan, vanuit hun praktijk als leraren in een concrete klas. Ik dank iedereen voor de boeiende discussie!

Boventonen in contexten

Werkgroep 5

B. Vrolijk



"Wij leven in een bezeten wereld en wij weten het" (Huizinga). Zijn er ook lichtpunten voor wie zich zorgen maakt over het verschijnsel mens? Ja: boventonen! Daarvoor is in klassieke en geïmproviseerde muziek groeiende belangstelling, in alternatieve kringen gebruikt men boventonen als meditatie en therapie. De natuur levert bij een stuk materiaal, bijvoorbeeld een deel van een muziekinstrument, grondtoon en boventonen. Over muziekstijlen, composities kun je twisten maar intervallen tussen boventonen zijn onverdacht. Bezig zijn met boventonen betekent terug naar de wortels. Het produceren en luisteren vraagt een mengeling van zich concentreren, inkeer haast en zich openstellen. Het blijkt een meditatieve bezigheid.

Boventonen bepalen de klankkleur van een toon door de verhouding van de intensiteit waarmee ze in die totaaltoon voorkomen. Daardoor onderscheiden muziekinstrumenten zich van elkaar, ook "zelfde" van verschillende bouwers en ook de klank van één instrument door verschillende muzikanten voortgebracht. Vooral bij spraak en zang verraaft de klankkleur iets over de bouw van stembanden, borstkas, het resonantiekanal en de diverse holtes in het hoofd, maar ook over de schedel en zeker over de conditie. Een helder hoofd resonanceert anders dan een hoofd waarvan de holtes door slijm versluierd zijn. Licht plant zich rechtlijnig voort, zien levert contouren. Geluid kruipt door buiging uit alle hoeken van 't lichaam naar de waarnemer. Zingen en spreken zijn interne uitingen.

- P De ± 6 m lange spiraalveer visualiseert met z'n eigen trillingen de reeks harmonischen van een snaar $f_n = n f_1$. Onder de boventoonintervallen neemt het octaaf als eenvoudigst herkenbare harmonie een bijzondere plaats in. Met m als volgnummer voor het octaaf geldt: $f_m = 2^m f_1$. Kies $f_1 = 16\text{Hz}$ dan is $f_2 = 32\text{Hz}$, een sprong met 16Hz verschil. $f_4 = 256\text{Hz}$, $f_5 = 512\text{Hz}$. Nu een sprong van 256 Hz. Ons gehoor ervaart de sprong even groot als die van 16 Hz. Het verschil in exponent is steeds 1, ons gehoor werkt logaritmisch.
- P De voorstelling van frequentie tegen het toetsenbord van een piano geeft een exponentieel verband.

Als bij elke rotatie een "klank" hoort, levert de aardrotatie een subtoon. Het 21e octaaf is hoorbaar: een g. Deze toon zou een stimulerende werking hebben! Het eerste octaaf ($T_1 = 12\text{h}$) bepaalt het dag-nacht ritme. Het 5e levert $T_5 = 3$ kwartier, een lesuur all over the world. De workshop moest langer duren?: $1,5\text{h} = T_4!$ Toeval natuurlijk Lichtgolven, het 66e octaaf ultraviolet en het 65e oranje-rood bevorderen volgens onderzoekers de celdeling. Olivier Messiaen associeerde het E-majeur accoord met de kleur rood.

- P Terug naar directer waarneembare verschijnselen. De hangende veer met als grondmodel een knoop boven en een kruik beneden, demonstreert de reeks oneven harmonischen. Een transversaal model voor de longitudinale situatie in een klarinet.
- P We vertellen dat in de totaaltoon de boventonen echt klinkend aanwezig zijn. Kunnen we die dan ook horen, zoals je in een drieklank op de piano de aparte tonen kunt onderscheiden? Met de klarinet als voorbeeld lukt het veel deelnemers soms wel drie boventonen te horen.
- P Vrijdags luisteren we, naar aanleiding van de vraag: "Bestaan *ondertonen*?" naar langaangehouden cellotonen uit Messiaens Quator ... op video. Maar alleen de inleider hoort parallelle octaaf-tonen! Een Belgische deelnemer noemt de tonen (verschil-tonen?) die bijvoorbeeld twee samenspelende blokfluitisten als hinderlijk ervaren. 't Begrip blijft onduidelijk.

Persoonlijke ervaringen

Bij het lange noten blazen op de klarinet ben je aan het luisteren, "proeven" en zoeken naar de goede klank, je past het embouchure aan, regelt de ademhaling en in het lage register luister je naar boventonen. Af en toe ervaar je de magie van de klank. Eén keer kon ik me voorstellen dat de rattenvanger van Hamelen echt bestaan heeft. Een andere keer ruimde een onverwachte huilbui een blokkade op. Een bevrijding. Puur klank duikt af en toe (vaker dan 40 jaar geleden?) op als zelfstandig element in de muziek. In een ingewikkelde harmonie bij een koor uit Messiaens "Transfigurati-on". In een improvisatie van de zwarte jazzangeres

Rachelle Ferrell als ze ineens blijft hangen op een lang aangehouden toon, alsof ze merkt dat ze daarin communiceert met een andere wereld.

- P In het Westen vindt herkenning plaats van de therapeutische en meditatieve betekenis van klank en trillingen van klankschalen, didjeridus en boventoonzang. Bij een juiste plaatsing van een klankschaal op het lichaam of er vlak boven kunnen de trillingen energie aan een orgaan geven of een blokkade losmaken. Hetzelfde geldt voor boventoonzang. Een groep didjeridus veroorzaakt een oceaan van klank, een weldadige massage! De therapeut kan bij verschillende personen verschil in resonantie = verschil in conditie constateren.

De boventoonreeksen van klokken, klankschalen en gongs zijn disharmonisch (legering, bewerking).

's Zaterdags hebben we de Chladni-achtige patronen bekeken in de zingende klankschaal met water. Een fonteinje in het midden kan het gevolg zijn van de interferentie van de golven uit de wand.

- P Zoals in synthesizers gebeurt, probeerden we elektronisch een klarinettoon samen te stellen uit een grondfrequentie f_1 , $3f_1$, $5f_1$, $7f_1$. Niet zo'n succes. De klank van een open orgelpijp simuleerden we met f_1 , $2f_1$, $3f_1$ ($4f_1$). Het scoopbeeld ervan, dat niet stilstond, leek af en toe wel op dat van de echte pijp. Zaterdags had een deelnemer een $\pm 2,5$ m lange metalen buis bij zich waar, afhankelijk van de plaats van beetpakken (= ophangpunt) heel fraai de boventonen te horen waren.

Ook een monochord gaf na aanstrijken z'n gekleurde totaaltoon waarna bij aanraking op een karakteristieke plaats (knoop) de boventonen $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$, $5f_1$ te horen waren.

- P Tenslotte, zaterdag met betere geluidskwaliteit dan vrijdag, volgden fragmenten met gebruik van boventonen: *Mompou* noteerde de boventonen van een Catalaanse boerenkerkklok: van laag naar hoog: fis, c, as, es, d. Dit "metaalaccoord" vormt het raamwerk voor een pianocompositie;

Boeddhistische monniken met boventonen en onwaarschijnlijk lage baszang;

David Hijkes solozang met de grondtoon samen met een hoge fluitende boventoon (Eén deelnemer kon het niet geloven!). En *samen* met anderen in religieus getinte boventoonkoorzang in een kathedraal.

Voor navraag naar CD-titels met boventoon of literatuur over de workshopstof kunt U bellen: 01611-1986.

Met dank aan:

Kees van den Assem - TOA

Leo Dekker - TOA

Hans Abbink - collega

Vincent Vrolijk - zoon

N.B.: P = praktisch moment; demonstratie



Lessen met licht en fotografie voor de onderbouw; m.n. het maken van fotogrammen

Werkgroep 6

L. van Baar



Deelnemers aan deze werkgroep kregen praktische informatie en ideeën over hoe op de *Open Schoolgemeenschap Bijlmer* met een klas leerlingen fotogrammen gemaakt worden en over de manier waarop leerlingen datgene wat ze gedaan, gezien en geleerd hebben, kunnen verwerken in hun verslag.

De werkgroep ging dus over een les waarin iedere leerling twee kunstwerken maakt: 'n fotogram en een verslag. Beide om trots op te zijn en dat werkt in de praktijk flink motivatie verhogend.

Iedereen ging praktisch aan de slag met het maken van fotogrammen van doorzichtige voorwerpen met als technisch probleem de belichtingstijd. Schriften van leerlingen over deze les en andere lessen uit de lessenserie, werden bekeken en besproken.

We hadden het over de achterliggende ideeën en hoe deze les uit deze werkgroep past in een serie over licht en fotografie.

Bij het gesprek aan het einde bleek het praktische karakter van de werkgroep gewaardeerd te worden. De lesopbouw en de opbouw van de totale lessenserie was voor een flink aantal deelnemers verrassend, alsmede de creativiteit en de grote zelfstandigheid die uit de schriften van de leerlingen sprak.

Een tiental deelnemers vroeg om het bijbehorende lesmateriaal dat binnen de school ontwikkeld is, opgestuurd te krijgen.

Klap-, flap- of klepzeiler

Werkgroep 8

A. Roskam

Een klapzeiler is een voertuig dat zich kan voortbewegen door middel van windkracht. Er is hierbij niet gekozen voor de traditionele zeilen aangezien die bij koersverandering allerlei handelingen zoals geipen (ij) en/ of overstag gaan noodzakelijk maken. Er is gekozen voor een molentje met kleppen. De as waarom het molentje draait is vertikaal gemonteerd.

Het molentje gaat draaien door de wind ongeacht de hoek waaruit de wind waait.

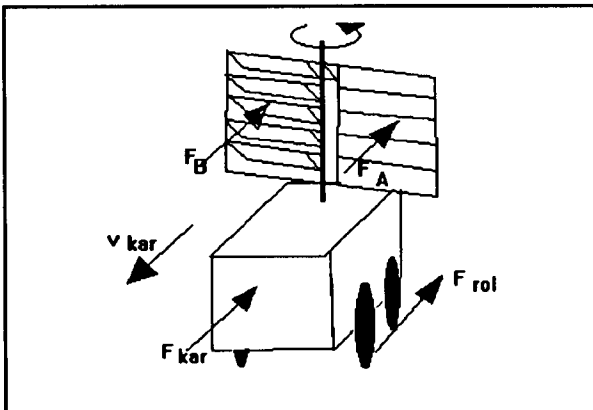
Het molentje gaat draaien door het verschil in luchtweerstand van de open en gesloten kleppen.

De keuze van een dergelijk kleppenzeil maakt het mogelijk dat het karretje tegen de wind in kan zeilen.

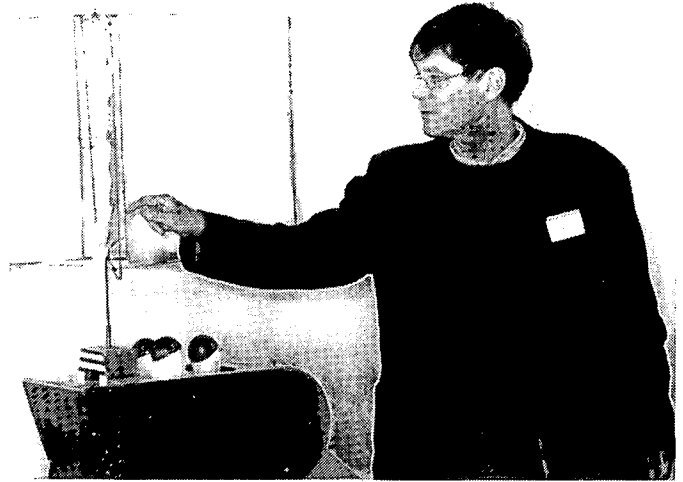
Er zijn een aantal mogelijkheden van kleppen uitgeprobeerd. Er is uiteindelijk gekozen voor kleine papieren kleppen scharnierend opgehangen aan een metalen draadje.

Als de wind van de ene kant komt waait het klepje open en komt de wind van de andere kant dan blijft het klepje dicht. Dit soort kleppen is licht, er werken kleine krachten op en is uiteindelijk makkelijk te vervaardigen.

Veel kleine klepjes vormen uiteindelijk een zeil waarvan er vier op de verticale as gemonteerd zijn.



Om enig idee te krijgen van de prestaties die in theorie mogelijk zijn, zijn er wat berekeningen uitgevoerd.



Hierdoor is het ook mogelijk om inzicht te krijgen op welke wijze de windsnelheid en de overbrengingsverhouding van molenas en wielas de prestaties beïnvloeden. Het benodigde vermogen wordt bepaald door:

$$P_{\text{benodigd}} = (F_{\text{rol}} + F_{\text{kar}} + F_A + F_B) \cdot v_{\text{kar}}$$

waarbij P = vermogen, F = kracht en v = snelheid

Het door de wind aan de zeilen geleverde vermogen wordt bepaald door:

$$P_{\text{geleverd}} = (F_A - F_B) \cdot v_{\text{zeil}} \cdot 0,6 \text{ (waarbij } 0,6 = \text{rendement)}$$

Voor de krachten geldt het volgende;

F_{rol} = rolweerstand

F_{kar} = luchtweerstand kar =

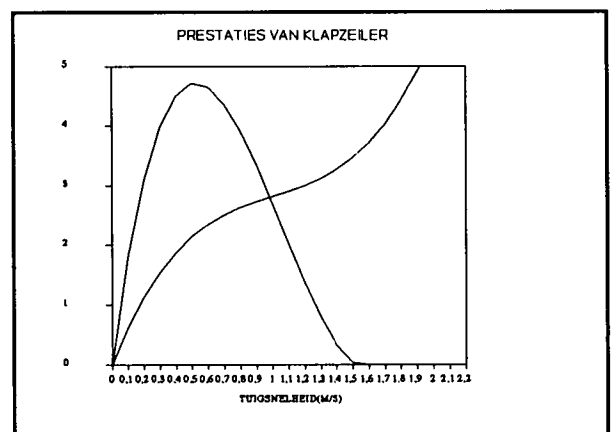
$$\frac{1}{2} \rho (v_{\text{kar}} + v_{\text{wind}})^2 \cdot C_{w \text{ kar}} \cdot S_{\text{kar}}$$

$$F_A = \frac{1}{2} \rho (v_{\text{wind}} + v_{\text{kar}} - v_{\text{zeil}})^2 \cdot C_{w \text{ dichtzeil}} \cdot S_{\text{dichtzeil}}$$

$$F_B = \frac{1}{2} \rho (v_{\text{wind}} + v_{\text{kar}} + v_{\text{zeil}})^2 \cdot C_{w \text{ openzeil}} \cdot S_{\text{openzeil}}$$

waarbij $v_{\text{zeil}} = v_{\text{kar}} \cdot R_{\text{zeil}} / (R_{\text{wiel}} \cdot \text{gear})$

waarbij R = straal en gear = hoeksnelheid wiel / hoeksnelheid mast



met de bovenstaande formules zijn berekeningen uitgevoerd rekening houdend met de maten van de gebouwde kar en dat gaf grafisch de volgende resultaten.

In de getekende grafiek is de windsnelheid 6m/s. De vermogens zijn vertikaal uitgezet en horizontaal de snelheid van de kar.

Het geleverde vermogen bedraagt 4,8W bij een kar-snelheid van 0,5m/s. De kruis-snelheid bedraagt 1m/s.

Prestaties van de kar kunnen verbeterd worden door de afmetingen van de zeilen te vergroten en/of een andere overbrenging te kiezen of wachten tot het harder waait dan 6m/s.

De basgitaar en de akoustische gitaar in de klas

Frequentieanalyse van de menselijke stem

Werkgroep 11

*P.P.M. Molenaar &
A. Pollmann*



In de natuurkundelessen over geluid is de gitaar een prachtig instrument. Een dikke kans dat heel wat leerlingen er een bespelen. In een bandje met wat optredens of eenzaam thuis ijverig proberend de populaire liedjes te beheersen.

Interesse in de werking hebben de leerlingen zeker en die interesse kunnen we als natuurkunde docenten goed gebruiken.

Het geluid is een fantastische context. Hieronder enkele voorbeelden van experimenten die vrij eenvoudig te realiseren zijn met de akoustische gitaar, de elektrische gitaar en stemanalyse.

De akoustische gitaar.

De gitaar wordt vertikaal gemonteerd. Eén van de snaren wordt losgehaald en dan kan een bakje met gewichten aan de snaar hangen (gewichten van 2 newton). Enkele concepten die goed door leerlingen te onderzoeken zijn:

- Relatie toonladder en lengte snaar
- Verband tussen spanning en toonhoogte
- Effect van manier van tokkelen op de klankkleur
- Grondtonen en boventonen aanslaan
- Flageoletten etc.

Het bepalen van een toon lukt redelijk door die te vergelijken met een geijkte toongenerator. Beter en sneller gaat het met een geluidssensor of een gitaarelement waarvan het signaal met de computer en IPOACH verwerkt is.

Computermetingen aan golven in een gitaarsnaar

De proef wordt uitgevoerd met een gewone gitaarsnaar met een standaard opnameelement (f40, in de muziekwinkel). De snaar wordt gemonteerd op een plank en het signaal wordt met IPOACH verwerkt (figuur 1).

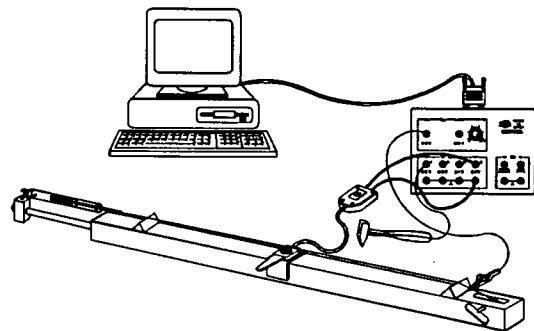


Fig.1: Opstelling proef: Golven in een gitaarsnaar.

Eigenschappen van lopende en staande golven in snaren zijn te analyseren zoals:

- Het effect van de plaats van de sensor (figuur 2).
- De overgang van lopende naar staande golf.
- Het uitdoven van alle niet harmonische trillingen (figuur 3).
- De invloed van de dikte van de snaar en spankracht in de snaar etc.

Een eenvoudiger experiment zonder triggering kan goed gebruikt worden voor een analyse van grondtoon en boventonen. Door de sensor steeds te verplaatsen kan men de invloed van de verschillende boventonen analyseren.

Sinds kort is het ook mogelijk een frequentieanalyse toe te passen.

Bij de afdeling Didaktiek Natuurkunde van de Universiteit van Amsterdam is een programma ontwikkeld waarbij binnen het IPOACH-programma frequentieanalyse uitgevoerd kan worden met behulp van F.F.T. (Fast Fourier Transformation) of Lineaire Predictie.

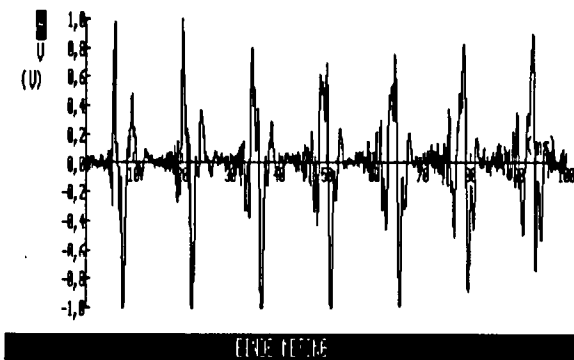


Fig.2: Sensor aan het eind van de snaar. Het signaal vanaf $t = 0$ sec.

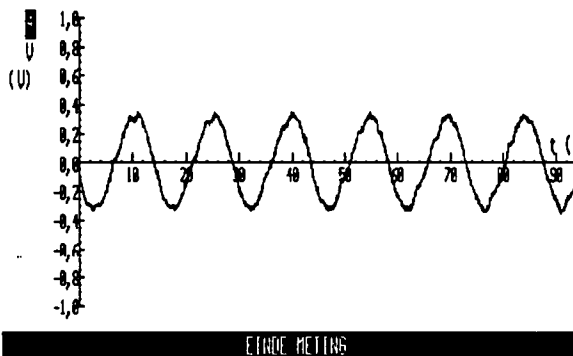


Fig.3: De sensor in het midden. Het signaal 30 sec na de aanslag.

Fourieranalyse is natuurlijk een fysisch uiterst belangrijk concept dat zonder dat het hier uitputtend aan de orde komt toch leerlingen reeds enig idee geeft over signaal-analyse!

Met FFT wordt op een snelle manier een energie/frequentie-diagram gemaakt. De Lineaire Predictie heeft een zeer hoge frequentieresolutie en is zeer geschikt voor het bekijken van formanten omdat het een omhullende produceert van het energie/frequentie-diagram. Hiermee kan men precies zien hoe de onderlinge sterkte van de frequenties varieert.

Beide methodes kunnen lineair of logaritmisch bewerkt worden.

Het blijft voor de leerlingen zeer verrassend hoe groot het effect is van kleine faseverschillen op het signaal als functie van de tijd terwijl het energie/frequentie-diagram onveranderd blijft.

Met behulp van deze frequentieanalyse kan heel mooi het signaal van bijvoorbeeld een snaar geanalyseerd worden in grond- en boventonen.

Stemanalyse

Een heel aardige motiverende context is de frequentie-analyse van de stem. Helaas dreigt deze zo dicht bij de leerling staande context (de eigen stem) weer uit het programma te verdwijnen. Jammer, want er zijn schitterende experimenten mee te doen.

Vooraf met behulp van de Lineaire Predictie-methode zijn goede metingen van formanten uit te voeren.

Bijvoorbeeld:

- Karakteristieken van een bepaalde stem.
- Verschil in formanten bij verschillende klinkers.
- Verschil in effect tussen signaal bij de keel. (ongemoduleerde signaal van de stembanden en signaal uit de mond (na de filtering)).

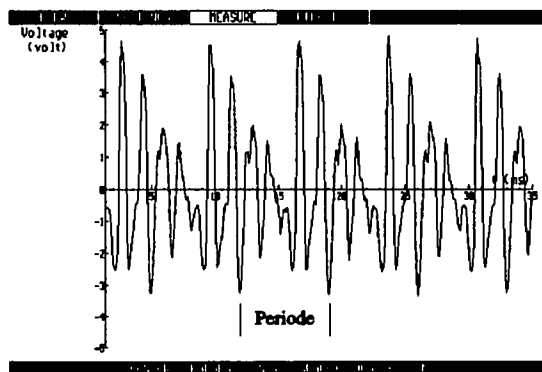


Fig.4: De klinker A uit 'aap'. Met een grondtoon van 140 Hz. Signaal als functie van de tijd.

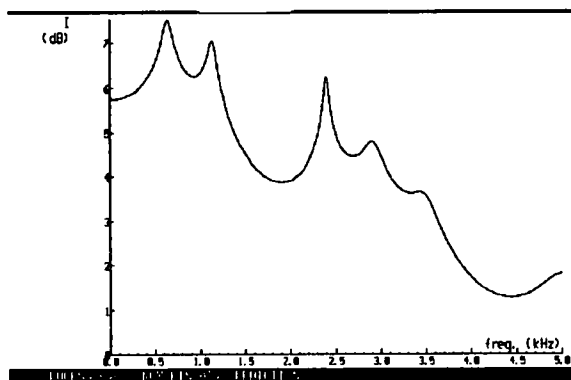


Fig.5: De resonantiefrequenties van het klankkanaal bij het uitspreken van een A. Analyse met Lineaire Predictie.

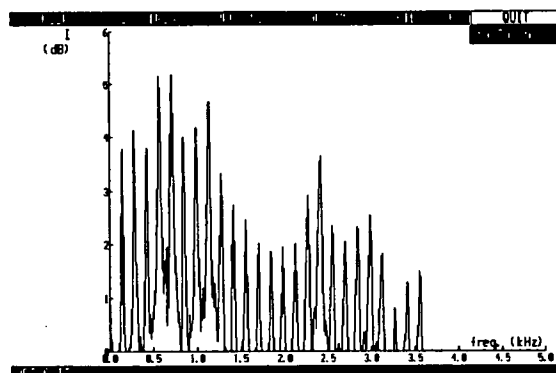
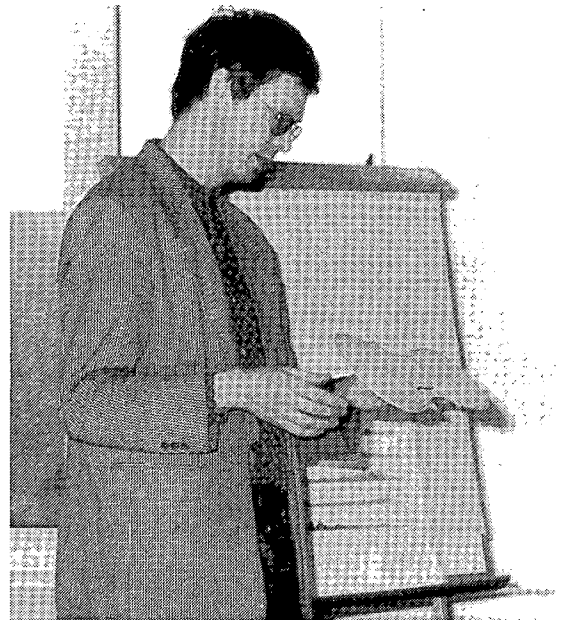


Fig.6: Spectrum van een A uit 'aap'. Met een grondtoon van 140 HZ. Analyse met Fast Fourier Transformation.

Vioolbouw

Werkgroep 12

M. Besseling



De eerste violen werden ± 1550 in Italië gebouwd. (Brescia, Cremona). Deze instrumenten hadden van meet af aan een hoge kwaliteit; na ± 100 jr. *empirische ervaring* werden de 17e eeuwse meester-instrumenten gebouwd (Amati, Stradivari) zonder enige kennis van de natuurkunde! Proefondervindelijk leren (empirie) is nog steeds voor de vioolbouwer van cruciaal belang: een grote produktiviteit, waarbij met de talrijke variabelen systematisch wordt omgesprongen, levert uiteindelijk de kennis en kunde om een viool te bouwen met voorspelbare kwaliteit. De moderne bouwer kan kiezen voor de *klassieke benadering*, (waarbij eenvoudige zaken als kloppen, voelen en luisteren het uitgangspunt zijn), maar de tegenwoordige kennis van akoestiek en elektro-akoestiek is voor sommige bouwers niet meer weg te denken, al is het alleen maar als hulpmiddel.

Niet alleen de vioolbouw, maar de bouw van muziekinstrumenten in het algemeen betekent voortdurend: keuzen maken in de richting van een *klankideaal*. Het zelf goed kunnen bespelen van het instrument is voor de bouwer van groot belang. Houtkeuze is een van de eerste keuzen, vergelijkbaar met de schilder aan wie vele kleuren ter beschikking staan, teneinde een schilderij naar eigen stijl te kunnen maken. Het karakteristieke geluid van een bepaalde bouwer is veelal herkenbaar aan de specifieke verhouding der boventonen zoals duidelijk werd gemaakt aan de hand van *frequentie-karakteristieken*.

De bouw van de viool

Aan de hand van violen in verschillende fasen van de bouw, werd stapsgewijs de bouw van de viool beschreven. In iedere fase werd met name ingegaan op elektro-akoestisch achtergronden.

Een wetenschappelijke methode om de kwaliteit van hout te testen wordt door sommigen gezien in de *Lucchi-meter*: twee elektroden worden op afstand van elkaar in het hout geprikt en vervolgens wordt de trillings-geleidingstijd gemeten. (ook gebruikt bij selectie van hout voor strijkstokken). Bij proeven waarbij een vioolbouwer twee

'identieke' violen moest maken, de één van volgens de test optimaal hout en de ander van intuïtief gekozen hout, bleek intuïtie de beste graadmeter.

- de viool wordt meestal om een mal (vorm) gemaakt, welke jaren lang gebruikt kan worden.
- de zijkanten (esdoorn) worden gebogen m.b.v. water en warmte.
- boven-en onderblad worden uit de plank uitgestoken.
- bovenblad: *fiçhte-hout* (een soort spar).
- onderblad: *esdoorn*.
- functie van het bovenblad: *akoestisch membraan*.
- functie onderblad: een 'veer' welke t.g.v. de impulsen van de stapel uitbocht en weer terugveert. Ook weergave hoge boventonen. De verschillende functies van boven-en onderblad hebben tot gevolg dat de bladen verschillend worden uitgewerkt.
- nadat de welvingen aan de buitenkant zijn aangebracht, worden de bladen vanuit de 'achterkant' uitgehold en van de 'juiste' dikten voorzien: deze zijn zeer variabel, afhankelijk van het hout.

Voor het uithollen zijn twee methoden mogelijk:

- volgens de klassieke vioolbouw: luisteren naar kwaliteitsontwikkeling van de kloptonen, naarmate het blad dunner wordt (grafiek: afname gewicht uitgezet tegen toonafname), andere maatstaven: *elasticiteit*: voelen, *meten*: m.b.v. diktemeter.
- gebruik van moderne elektro-akoestisch hulpmiddelen: ieder onderdeel van de viool tijdens de bewerkingsfase, reageert op het aanbieden van een reeks frequenties (op gestandaardiseerde wijze) met vibreren, waarvan de uitslag frequentie afhankelijk is. Op deze wijze kan b.v. tijdens het uithollen van een blad een *frequentie-response-curve* worden opgesteld in verschillende stadia van uithollen. Ook bij elektro-akoestisch onderzoek blijkt het mogelijk om op grond van empirische ervaring een *ideaal-curve* op te stellen, welke op zijn beurt als leidraad kan dienen.

Ook de *Chladnische figuren*: kunnen bij het uithollen van de bladen als hulpmiddel gebruikt worden (ijzervijlsel gaat

zich ordenen in patronen van buiken en knopen, afhankelijk van de aangeboden frequentie)

De oude meester-instrumenten hebben bewezen dat het hier gaat om hulpmiddelen, welke de bouwwijze meer aanschouwelijk kunnen maken, doch welke niet onmisbaar zijn.

Dynamisch model van de viool: bij de goed-gebouwde viool hebben alle krachten een tegenkracht, b.v.: het onderblad zakt uit door de stapel druk, maar dit wordt tegengegaan door de trekkracht van de hals via het lipje. Compressie in het bovenblad met als resultante een opwaartse druk, wordt door de druk van de snaren op de kam teniet gedaan. Hoe groter de druk op het bovenblad, hoe groter de basbalk dient te zijn ter ondersteuning (basbalk: versteviging van het bovenblad onder de lage snaren-kant). Vóór de periode van plm. 1850 waren alle violen min of meer in 'barok-staat': rechte hals, lage kam, lage A, darmsnaren: dus met weinig druk op de kam. Na 1850 vindt *ombouw* plaats (Stradivarius-violen allemaal!), waarbij de druk wordt verhoogd, en derhalve de basbalk wordt vervangen door een grotere. Bij de ombouw van barok naar 'modern' neemt in het timbre de nasaliteit en de brillantie toe!

Kanttekeningen bij het opstellen van objectieve normen voor eigen tonen van boven-en onderblad, frequentie-response-curves etc.:

1. kloptonen worden in het bovenblad beïnvloed door de grootte van de basbalk; in de barok-periode waren de basbalken veel kleiner dan nu; toch was ook de Stradivari in originele staat een goede viool!
2. Veel antieke instrumenten zijn dermate gerestaureerd met klosjes, voeringen, perkament-strips etc. dat de chladnische figuren totaal veranderd zijn t.o.v. de originele; toch klinken deze instrumenten veelal heel goed!
3. Optimale curves kunnen leiden tot de bouw van violen of stokken welke prima functioneren, maar desalniettemin "dood" zijn: zo zijn strijkstokken van fiber ontwikkeld welke perfecte speelbaarheid hebben, maar toch niet de 'levendigheid' welke een musicus verlangt.

De *ideale frequentie-karakteristiek*: heeft voldoende vertegenwoordiging in de lage frequentie-gebieden (U-, O- en A-klank), voldoende spreiding zonder dippen en heeft in de hoge frequentie-gebieden voldoende om brilliant te zijn, maar niet te veel (I-klank, N-klank). De frequentie-curve heeft voor een bouwer veelal dezelfde karakteristieken, welke in al zijn instrumenten terugkomen: vergelijk hiermee: de karakteristieke speelwijze van een groot musicus: herkenbaar en niet te imiteren. De frequentie-karakteristiek kan dan ook worden gezien als vinger-afdruk van het betreffende instrument: bij authenticiteitsbepaling wordt steeds meer van dit gegeven gebruik gemaakt.

Slotvraag: wat was het geheim van Stradivari?

Hij was *één van de vele* bouwers die in Italië tijdens het hoogtepunt van de vioolbouw-cultuur, volgens hoge standaard en met zeer hoge produktie violen bouwde gedurende meer dan 70 jaar. Indien Stradivari een geheim bezat, dan gold dit evenzeer voor b.v. een schilder als Rembrandt!



"Meten aan spraak"

Werkgroep 13

*L. C. W. Pols &
A. van Wieringen*



Spraak is betekenisvol geluid, dat meestal geproduceerd en beluisterd wordt door mensen ten behoeve van intermenselijke communicatie. De spraaktechnologie heeft inmiddels echter ook sprekende (spraaksynthese) en luisterende (spraakherkenning) systemen voortgebracht, meestal ten behoeve van meer of minder geavanceerde mens-machine communicatie.

Spraakgeluid bevat, behalve de talige betekenis, ook vele interessante fysische eigenschappen, waarvan er met de tegenwoordige PC's vele zijn te meten en ook systematisch te manipuleren. In deze werkgroep werden een aantal spraakanalysemethoden gedemonstreerd, die werken in het tijds- en/of het frequentiedomein. Tevens werd een spraaksynthesesysteem voor het Nederlands gedemonstreerd, waarmee ingevoerde tekst wordt omgezet in goed verstaanbare spraak.

Bovenstaande tekst diende als reclameboodschap om deelnemers te trekken voor deze werkgroep. Zowel op vrijdagavond als op zaterdagmorgen was de belangstelling groot.

Dezelfde tekst diende tevens als voorbeeldtekst om te demonstreren hoe goed een tekst-naar-spraak synthesesysteem voor het Nederlands klinkt. De software die op een krachtige 486 PC draaide is ontwikkeld in een nationaal samenwerkingsproject 'Analyse en synthese van spraak' en in een Esprit-project Polyglot (KUN). Voor de feitelijke geluidsgeneratie werd gebruik gemaakt van een digitale signaalprocessor (DSP) kaart van Loughborough.

Met behulp van dezelfde software konden de verschillende fasen vanaf tekstinvoer en foneemselectie tot aan formantwaarden en intonatiecontour, systematisch worden gedemonstreerd. De doelwaarden voor ieder van de fonemen in het Nederlands werden getoond, alsook de overgangen van de ene klank naar de andere. Het amplitudespectrum kon zichtbaar worden gemaakt, inclusief de formantpieken in het omhullendespectrum en de harmonische fijnstructuur die gerelateerd is aan de lokale periodiciteit van het signaal. Zelfs is het programma in staat spectrogrammen

weer te geven: het dynamisch verloop van het spectrum als functie van de tijd, als een zwartings- (of eigenlijk wittings-) patroon. De uitspraak van b.v. het woord 'Leeuwenhorst' kon gewijzigd worden door in plaats van het doelfoneem 'o' een 'a' te kiezen. Overigens kan een soortgelijk effect worden bereikt door de formantwaarden zelf van b.v. de 'o' te wijzigen. Het syntheseprogramma bepaalt zelf welke woorden in een zin accent krijgen. Door het toonhoogteverloop in een zin te manipuleren kon eenvoudig worden gedemonstreerd hoe het zinsaccent vrijwel volledig bepaald wordt door de plaatsing van een toonhoogtestijging en -daling. Een neutrale zin kan door een finale toonhoogtestijging omgezet worden in een vraagzin.

Het wezenlijke verschil tussen tekst-naar-spraaksynthese (iedere willekeurige tekst als invoer) en resynthese (teruggenereren (in onderdelen) van wat vooraf is ingesproken en al dan niet in gecodeerde vorm is opgeslagen) werd benadrukt. Een Nederlands sprekend horloge werd gedemonstreerd als een interessant voorbeeld van resynthese.

Vervolgens werd een tweede signaalanalyseprogramma gedemonstreerd dat is ontwikkeld aan de Universiteit van Utrecht en gebruik maakt van een eenvoudige DSP-kaart. Hiermee kunnen geluiden, en dus ook spraakklanken en woorden, worden opgenomen, opgeslagen in het geheugen en vervolgens op diverse manieren weergegeven, gemanipuleerd, en geanalyseerd. Zo kon overtuigend worden gedemonstreerd dat slechts door toevoeging van wat stilte tussen de 's' en de 'l' van het woord 'slijt', het woord 'splijt' ontstaat.

Tenslotte werd aandacht besteed aan de stemkwaliteit. De stembanden vormen de periodiek trillende motor die het mondkanaal aanstuurt. De verschillende vormen van het mondkanaal (en de neusholte bij nasale klanken) bepalen de klankkleur van het geluid, maar de aan- of afwezigheid van het trillen van de stembanden bepaalt het periodieke

karakter van het geluid en de trillingsfrequentie zelf bepaalt de toonhoogte. Het precieze openings- en sluitingsgedrag van de stembanden is verder nog van invloed op de precieze stemkwaliteit. Met de Laryngograaf kan het trillingsgedrag van de stembanden zeer goed worden weergegeven. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van eenvoudig aan te brengen oppervlakte-electroden op de keelwand. Omdat tevens het mondgeluid via een microfoon wordt opgenomen en tegelijk met de stembandbewegingen kan worden weergegeven, krijgt men een fraaie illustratie van het grotendeels onafhankelijke gedrag van stembanden en mond/keel/neusholte.

Wanneer, b.v. door keelkanker, het gebruik van de stembanden niet meer mogelijk is, kan men o.a gebruik maken van een electrolarynx. Dit is een externe vibrator die men op de keelwand zet, waarna men bij normale spreekbewegingen van de mond, goed verstaanbare spraak kan produceren. Omdat de toonhoogte van de electrolarynx niet varieert, klinkt dit spraakgeluid wel erg monotoon. Ook het gebruik van de electrolarynx werd gedemonstreerd. Dit eenvoudige instrument lokte veel participatie van de aanwezigen uit. Ook toen tot slot vrijwilligers gevraagd werden voor een demonstratie met de electrolarynx van de zangstem, bleken er voldoende natuurkundecenten met zangtalent aanwezig te zijn!

Veel van de demonstraties werden gezien als uitstekende illustraties van wat er allemaal komt kijken bij spreken en luisteren en werden zeer verhelderend gevonden voor een beter inzicht in zulke begrippen als harmonisch spectrum, periodiciteit, formanten, klankkleur of timbre, toonhoogte, e.d.

VWO studenten kunnen, o.a. aan de Universiteit van Amsterdam, Fonetiek of Spraakcommunicatie gaan studeren. De studie bevat twee hoofdrichtingen, de een meer toegespitst op de spraaktechnologie, de ander meer gericht op vroege spraakontwikkeling. Deze multidisciplinaire bovenbouwstudie is niet eenvoudig maar wel zeer interessant en biedt een behoorlijke garantie op een latere baan of op een onderzoekproject als aio.

Nadere informatie is te verkrijgen bij het Instituut voor Fonetische Wetenschappen, Universiteit van Amsterdam, Herengracht 338, 1016 CG Amsterdam, tel.: 020-5252183.

Natuurkunde Overal uit de kunst

Werkgroep 15

*P.G. Hogenbirk &
K.W. Walstra*

Inleiding

Hoe kun je Kunst, kunstvormen, kunstuitingen en kleine kunst gebruiken bij natuurkundeonderwijs?

Voorbeelden zijn er te over uit de

- literatuur
- beeldende kunst
- architectuur
- schilderkunst
- muziek
- danskunst

Werkgedeelte

In kleinere groepen kon een keus gemaakt worden uit een aantal opdrachten, waarin kunst in natuurkundeonderwijs wordt uitgewerkt.

De opdrachten:

- Optische illusies: toetsvraag, klasgesprek, praktijkproef of bronnenonderzoek
- Een praktikum: een mobiel ontwerpen; Natuurkunde Overal deel 3HV blz.183
- Bruggen: een klasgesprek, praktikum, open onderzoek, tentoonstelling; Natuurkunde Overal deel 3HV blz. 181
- Kleuren zien
- Muziekinstrumenten maken
- Spiegelen
- Bronnenonderzoek: Piet Grijs, Tisch mit Kugel; Natuurkunde Overal deel 5V blz. 320 en 321
- Gekoppelde slingers; Natuurkunde Overal deel 4V blz.258: een klasgesprek
- Excursie waaggebouw
- Bronnenonderzoek aan historische natuurkunde
- Dansen: een toetsvraag; deel 5V blz. 41

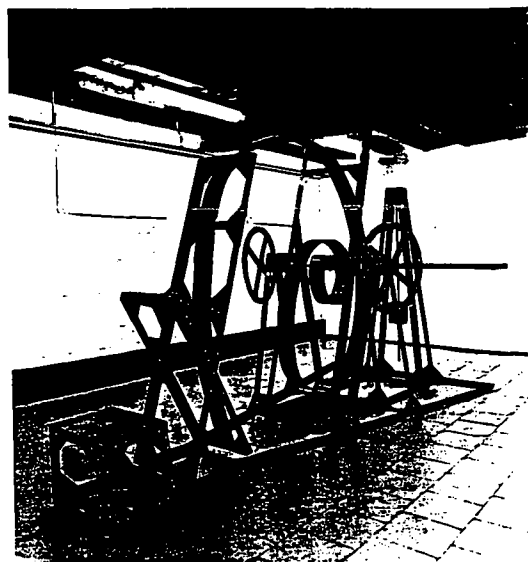
Vragen bij elk voorbeeld:

- Welke werkvorm is mogelijk, c.q. goed geschikt?
- Voor welk niveau is het onderwerp inzetbaar?
- Heeft u commentaar op de uitwerking?
- Kunt u een alternatieve uitwerking maken?

Twee voorbeelden

Beeld en Verbeelding, Tussen kijken en zien, van Irvin Rock, deel 7 van *Natuur & Techniek's Wetensch.Bibl.* ISBN 90 70157 57 8 kan inspireren tot veel moois;

Op pag. 258 4V van *Natuurkunde Overal*, begint hoofdstuk 7 "Trillingen en tonen" met: "*Op de deining van de tijd*" van Paul van den Nieuwenhof; dat kan ook aanleiding zijn voor een toetsvraag, een klasgesprek, een (praktikum-)proef, een voordracht, een bronnenonderzoek-opdracht, of een eigen ontwerp van een "maakbare" "trillingsmachine".



258

Hoofdstuk 7 Trillingen en tonen

Een excursie naar een Waaggebouw

Bijvoorbeeld n.a.v.

2MHV, hd.2, pag.52: fig.2.32 Meetinstrumenten voor massa van een voorwerp: een weegschaal, een balans en een unster

3M, hd.1, pag.23: fig.1.17a en b (Instrumentenkader *balans*)

3HV, hd.1, pag.21: fig.1.16 (Instrumentenkader *balans*)

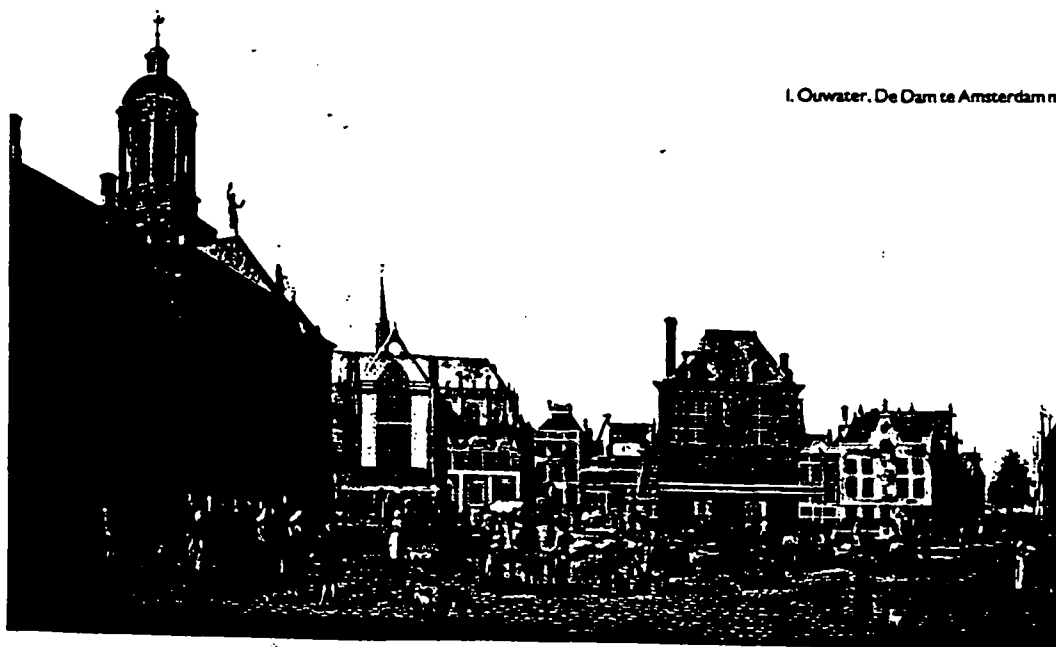
Literatuur

Een Etymologisch Woordenboek, Waar komen onze woorden vandaan?

(Prisma Woordenboek 27, J.de Vries/F.de Tollenaere, ISBN 90 275 3459 X)

- *Wâghe* is middelnederlands voor 'weegtoestel'. In 't oudnederfrankisch *wâga* en het nieuwengels hebben ze het nog steeds over *weigh*. In veel steden (en dorpen) zijn Waaggebouwen te vinden. Er zijn nog wel eens spreuken te lezen die betrekking hebben op het eerlijk vaststellen van de massa van handelswaar. Of zijn er zelfs nog oude 'weegtoestellen' te zien? en Het Waagstuk, Wegen en waaggebouwen in Nederland (red.C.H.Slechte en N.Herweijer, De Bataafse Leeuw, A'dam, '90, ISBN 90-6707-240-0)
- Ken je een 'waaggebouw' in je omgeving? Zo niet, dan kun je eens bij een plaatselijke VVV informeren of (achter) op een plattegrond van een stad kijken. Misschien vind je een overzicht zoals in 'Het Waagstuk'.
- Denk aan apothekers, bakkerijen. Zijn er méér bedrijfstakken waar gewogen wordt? Soms gaat het om nauwkeurigheid, soms vooral om grote hoeveelheden. Zijn er ook andere manieren om hoeveelheden te meten?

- I. Beschrijf een bezoek aan een 'weeggebouw'
- II. Kun je iets opmerken over de ligging van het 'weeggebouw' in de plaats?
- III. Probeer na te gaan of het om snelle bepaling van grote hoeveelheden ging of vooral om nauwkeurige bepaling van kleine massa's. Wat noem je 'groot' of 'klein'?
- IV. Kun je aan het 'weeggebouw' nog zien waarvoor het gebruikt is? Hoe dan?
- V. Wanneer 'werkte' het weegtoestel nog regelmatig?
- VI. Weet je of ze toen al kilogrammen of andere eenheden gebruikten bij het wegen?
- VII. Bedenk een titel voor je beschrijving. Schrijf er een datum en je naam boven. Lever het in.



I. Ouwater, De Dam te Amsterdam met waag, 1782. cat.nr.2

Natuurwetenschap, kunst & cultuur

Werkgroep 17

M. ten Oever & L. Knol

Technologie Museum NINT is een museum dat zich ten doel stelt belangstelling voor wetenschap en technologie te wekken. Bezoekers maken er kennis met een aantal basisprincipes uit de natuurwetenschappen en de toepassingen daarvan. In het museum bevinden zich allerlei toestellen en machines (wij noemen deze exhibits) waarmee de bezoeker mag spelen. Hij/zij kan zo zelf de werking van de natuurwetten ontdekken. Zo kun je interferentie uitleggen door een grote zeepbel te maken en daarin allerlei kleuren ontdekken of ervaren wat oppervlaktetension is doordat de bel uiteindelijk altijd weer rond wordt.

Technologie Museum NINT is een van de oudste musea in Nederland op het gebied van techniek en werd in 1923 opgericht door de schilder *Herman Heyenbrock* onder de naam *Museum van den Arbeid*. De werkende mens en de veiligheid op het werk stonden centraal. Na sluiting in de oorlog werd het museum in 1954 nieuw leven ingeblazen en werd de naam *Nederlands Instituut voor Nijverheid en Techniek*, het huidige NINT. In de loop der jaren heeft er steeds meer een verschuiving plaatsgevonden van techniek naar technologie. Niet puur de auto- of bouwtechnieken staan centraal, maar de natuurwetenschappen, de fenomenen en de toepassingen ervan. Zo kun je in het NINT op de begane grond het exploratorium vinden. Hier bevinden zich allerlei interactieve opstellingen die natuurkundige basisprincipes uitleggen. Door ermee te "spelen", ontdek je iets over bijvoorbeeld pneumatiek, geluid en waarneming. Op de eerste verdieping vind je tentoonstellingen over de streepjescode, computers die gebruik maken van meerdere media, zoals een CD-ROM speler, een beeldplaat en een video-camera, tentoonstellingen over holografie en biotechnologie. Momenteel bezoeken ruim 120.000 bezoekers het NINT jaarlijks. Daarvan is het grootste percentage in de leeftijdsgroep 6-16 jaar. In schoolverband of gezinsverband. Voor schoolgroepen hebben we speciale programma's ontwikkeld, zoals demonstraties over zeep of waarneming, een rondleiding langs verschil-

lende exhibits, een diashow en demonstraties bij de tentoonstelling biotechnologie.

De Toekomst

Het huidige NINT zal eind 1995 overgaan in het *Nationale Centrum voor Wetenschap en Technologie* in Amsterdam. Hiervoor is de afdeling Presentatie en Educatie aan het bestuderen hoe het NCWT een rol kan spelen voor het onderwijs door verrijking, ondersteuning, en aanvulling op het curriculum. Hiervoor zal ik eerst het doel van het NCWT uiteenzetten.

Het NCWT stelt zich ten doel om bezoekers van alle leeftijden (waaronder gezinnen, schoolgroepen en docenten) te stimuleren in hun belangstelling voor wetenschap, technologie en industrie. Om dit doel te bereiken creëert het NCWT een aantrekkelijke en inspirerende omgeving waar bezoekers worden aangemoedigd om te exploreren, om ervaringen op te doen en om inzicht te verkrijgen in ontwikkelingen en toepassingen in wetenschap, technologie en industrie.

Hoe kan het NINT en straks het NCWT een rol spelen bij de ondersteuning van het onderwijs?

Het NCWT zal voor het onderwijs op het gebied van de "science" vakken een ondersteunende en stimulerende functie hebben. Het centrum zal zich presenteren op vier gebruikersniveaus; er zijn vier 'typen' gebruikers die op hun eigen wijze van het NCWT gebruik zullen maken:

1. als *science supermarket*, waar iedereen die zich interesseert en zich wil verdiepen in wetenschap en technologie iets van z'n gading kan vinden om zich te amuseren of te recreëren. Veel schoolgroepen zullen in eerste instantie op deze manier het NCWT bezoeken en ermee kennismaken in het kader van een dagje uit. Om dit dagje te ondersteunen begeleiden we de leerkrachten om het NCWT te gebruiken met hun leerlingen.

2. als *informatiemarkt*, waar een ieder die zich op het terrein van wetenschap en technologie wil informeren te weten kan komen wat men te weten wil komen. Zijn er problemen, vragen? Wil je iets weten over studie en beroep? Het NCWT heeft gegevens ter beschikking. Er is veel gedrukte informatie, audiovisueel materiaal, een database en natuurlijk personeel om je te helpen.
3. als *open leercentrum*, waar iedereen die iets wil leren op het terrein in kwestie terecht kan. Voor scholen zou dit het raadplegen van de infolink zijn, het gebruiken van de materialen en boeken voor een scriptie/ spreekbeurt, e.d. Voor leerkrachten zijn er workshops/lezingen en het gebruik van materialen voor hun lessen op school en in het centrum.
4. als *georganiseerde leeromgeving*, waar verschillende leermogelijkheden zijn gecreëerd. Voor het onderwijs zijn daarvoor de speciale onderwijsthema's, de demonstraties en rondleidingen, workshops en lesmaterialen. Er kan in dit kader ook gedacht worden aan een 3-daagse werkweek voor middelbare scholieren. Nu eens niet 'op de hei', maar in het kader van Amsterdam als educatieve stad.

Welke thema's kun je vinden in het NCWT?

Er zullen in het NCWT verschillende zones komen, hierin zijn de thema's ondergebracht om de bezoekers te helpen zich in de veelheid van mogelijkheden te oriënteren en hun bezoek voor te bereiden. Sommige thema's presenteren traditionele onderwerpen, terwijl andere zijn gebaseerd op moderne technologieën en ontwikkelingen. De zones zijn:

De mens

Energie

Fenomenen

Technologie

Communicatie

Deze zones kun je terugvinden in een *exploratorium* van ± 3700 m². Voor kinderen in de leeftijd van 4-7 jaar zal er een speciaal op hen afgestemd *kinderexploratorium* van ± 200 m² komen met dezelfde thema's.

Hoe vullen we deze thema's educatief in?

We hebben dat in het verleden op verschillende manieren gedaan. In een museum denk je als eerste vaak meteen aan een rondleiding. In ons museum is dat minder voor de hand liggend. De exhibits zijn namelijk interactief en die kun je het best zelf bekijken en proberen. We kozen dus voor *demonstraties en science theater*. We komen hiermee meer in de richting van het thema van deze conferentie: natuurkunde, kunst en cultuur. In een technologie museum is volgens sommigen de kunst en cultuur ver te zoeken, maar een theatervoorstelling kun je toch wel onder die noemer laten vallen. Ook al is het in ons geval "science theater". Wanneer kiezen we voor een theaterform en wanneer voor een demonstratie? Voor bezoekers die naar het museum komen in het kader van een dagje uit en het museum dus gebruiken als een *science supermarkt* moet de overdracht van je informatie speels, inter-

actief en vooral *ontspannend* zijn. *Science theater* is daar een uitstekend medium voor. Science theater is theater met een *wetenschappelijke inhoud*. Het zijn inspirerende voorstellingen die aanzetten tot nadenken over oorsprong en werking van fenomenen, uit de natuur- en/of menswetenschappen. Het emotionele deel van het onderwerp, de vragen *waar, waarom en hoe* kan met behulp van deze theatervorm goed uitgelegd worden. Je vergroot met een theater de interesse, je prikkelt de nieuwsgierigheid en de aangeboden informatie beklijft beter. Je gebruikt het theater als vervoermiddel voor informatie. Bij alle voorstellingen heeft het publiek een *actieve* rol. Het wordt uitgedaagd om mee te doen, oplossingen te bedenken en dingen te proberen. De oorsprong van science theater ligt in Engeland en de VS. Het is een andere vorm van communiceren dan bijvoorbeeld een diashow, video of rondleiding. Enkele voorbeelden van science theater door het NINT ontwikkeld in samenwerking met *Pandemonia science theater* zijn:

Inzicht in zicht gezichtsbedrog

Intensive Scare de medische zorg

Chemi Case de chemische industrie en de consumment

Tegen de draai in natuurkundige fenomenen

Een andere vorm om een thema aan te pakken is een *demonstratie*. Voor de groepen die het museum bezoeken als een georganiseerde leeromgeving is dit een goed middel. Schoolgroepen krijgen op een *speelse* manier meer *informatie* over een begrip. In tegenstelling tot een science theater wordt er meer uitgelegd *waarom* iets zo is en zijn er raakvlakken met exhibits die ze later in de tentoonstelling kunnen zien. In een tentoonstelling kun je veel dingen niet laten zien, omdat daar iemand voor nodig is om dat te laten zien, *te demonstreren*. In een aparte ruimte, of een laboratorium-achtige plek bij de tentoonstelling kan er wel het een en ander gedemonstreerd worden. Denk hierbij aan een demonstratie met zeepbellen, een van der Graaf-generator, het spuitgieten van plastic, enzovoorts. Een demonstratie is instructiever dan een theatervorm, maar zeker niet minder speels. Het theater kenmerkt zich verder natuurlijk nog door z'n decor, de rol van de speler. Een demonstrator is gewoon zichzelf in een daarvoor geschikte omgeving.

BAVO-materiaal K.U.Nijmegen

Werkgroep 20

P.v.d.Hurk & J.v.Lieshout

In onze werkgroep, maar ook op de goed bezochte tentoonstelling, hebben we de BAVO-methode natuur- en scheikunde van de KU Nijmegen gepresenteerd. Door analyse van een stukje leerlingentekst en door demonstratie van speciaal ontwikkeld practicummateriaal hebben we laten zien hoe de kerndoelen, met name ook de algemene vaardigheden, geoperationaliseerd worden. Behalve aan de leerlingvriendelijke tekst en het letterlijk en figuurlijk doorzichtige practicummateriaal is uitgebreid aandacht besteed aan de organisatievorm van de methode. Leerlingen werken samen in groepjes en regelen binnen bepaalde grenzen hun eigen tempo. Binnen deze organisatievorm worden diverse werkvormen toegepast. Sommige leerlingen moeten voortdurend gestimuleerd worden, anderen hebben voldoende aan af en toe een korte toelichting. Door deze differentiatiemogelijkheden, zowel wat betreft diepgang als tempo, is het mogelijk leerlingen met verschillende begaafdheden in één lokaal aan het werk te houden.

Hoe dat in de praktijk werkt kun je het best zien in de klas, en dat kan want nu al wordt de methode in tweede klassen gebruikt. Je kunt ook een indruk krijgen door video-opnamen te bekijken. Daarvan zijn er tijdens de werkgroep enkele vertoond.

De BAVO-KUN-methode gaat uit van een inrichting van de basisvorming volgens het model "integreren en profileren": gedurende ongeveer twee jaaruren worden natuur- en scheikunde geïntegreerd aangeboden, daarna krijgen de aparte vakken natuurkunde en scheikunde kans zich te profileren. Dat is niet alleen belangrijk i.v.m. een goede aansluiting op de aparte vakken in de bovenbouw maar ook i.v.m. een verantwoorde keuze van leerlingen voor die aparte vakken.

In de methode is ook informatiekunde en techniek verwerkt.

Zo sorteren de leerlingen al in een van de eerste practica flesjes volgens eigen gekozen en aangereikte gezichtspunten. Ze herhalen die selectie met een tabel, daarna met

steekkaarten en tenslotte met een computer(programma). Gegevensverwerking middels via ja/nee-beslissingen wordt op deze manier ingeleid en toegepast. In practica waarin leerlingen zelf met porties gas manipuleren, wordt ruim aandacht besteed aan ventielen en pompen. Doorgesneden fietsventielen maken het begrijpen van de werking ervan makkelijker.

Door goed te luisteren naar leerlingen, en dat kan als ze in groepjes zitten te werken, kom je preconcepten op het spoor die bij leerlingen leven. Door leerlingen wordt bijvoorbeeld gedacht en soms ook verwoord: "Gas is niks". De opdrachten in de tekst zijn dan ook gericht op een zorgvuldige begripsontwikkeling, de ene opdracht bereidt de andere voor.

Organisatie en begeleiding van groepswerk zijn vaardigheden die je kunt leren. Daarom wordt voor docenten en TOA's nascholing bij de methode georganiseerd. Geïnteresseerden konden zich opgeven tijdens de werkgroep en markt, het kan ook nog via onderstaand adres. Daar kun je ook (nog meer) kennismakingsexemplaren van deel 1 van de gepresenteerde BAVO-KUN-methode bestellen (maak f 10,- over op giro 1803519 van Directoraat B-Faculteiten te Nijmegen o.v.v. FN 3071 "bavoboek deel 1").

Frans Arnold	Werkgroep BAVO-KU Nijmegen
Piet v.d.Hurk	p/a afdeling didactiek
Jac. v.Lieshout	Toernooiveld 1
	6525 ED Nijmegen

DBK-na. Klaar voor de basisvorming

Werkgroep 21

J. Frankemölle & R. Koot

Deze werkgroep werd geleid door: Jan Frankemölle (leraar Dr. Mollercollege Waalwijk, mede-auteur DBKna) en Ruud Koot (eindredacteur DBKna; mede-auteur blokken over scheikunde).

De basisvorming is van start gegaan. Voor de meeste scholen zal komend schooljaar de basisvorming bij Natuurkunde/Scheikunde beginnen. Dit was een uitstekende aanleiding om de methode DBK-na in een nieuw jasje te steken.

Het leerlingenboek is nu volledig full-colour. De kerndoelen zijn (voor zover dat nodig was) in de methode erbij geschreven. Er is gehoor gegeven aan gebruikerswensen.

Tijdens de werkgroep werden onder andere de volgende problemen besproken:

De basisvorming

DBK-na(mhv) bevatte al veel van de kerndoelen. Op een aantal plaatsen hebben onderwerpen wat meer aandacht gekregen. Op andere plaatsen is de tekst uitgebreid. In de bestaande methode zijn de kerndoelen verdeeld over de gehele stof. Dit levert mogelijk problemen voor de scholen waar maar een beperkt aantal uren beschikbaar is. Voor de leerlingen op deze scholen die geen natuurkunde in het pakket kiezen, moeten eerst de kerndoelen behandeld worden. Voor deze groep leerlingen is een nieuwe versie ontwikkeld: vm deel 1 en 2, waar alleen de basisvorming behandeld wordt (zowel voor Natuurkunde als voor Scheikunde). In figuur 1 is een beeld gegeven van alle mogelijkheden met DBK. Deel 2vm+ zorgt voor de aansluiting met de bovenbouw, zowel voor Natuurkunde als voor Scheikunde.

Door een goede keuze van onderwerpen is een overstap van de vm-reeks naar de mhv-reeks mogelijk (en andersom). In de methodeleidraad staat vermeld wat dan wegge laten kan worden of wat men extra moet doen.

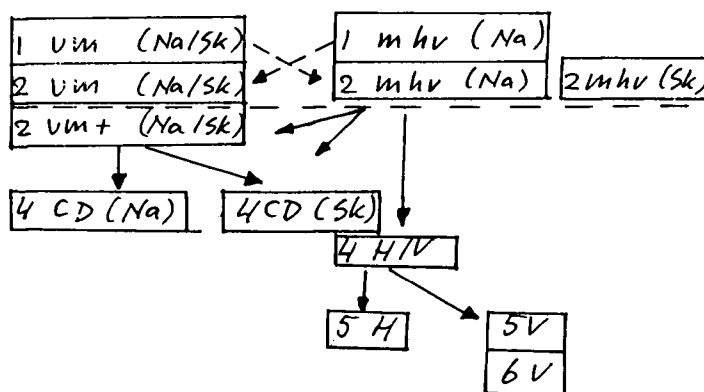


Fig.1

De DBK-methode, ook bij minder lessen ?

DBK is de afkorting van Differentiatie Binnen Klasseverband.

In figuur 2 is een overzicht gegeven van de verdeling van lessen per hoofdstuk (blok).

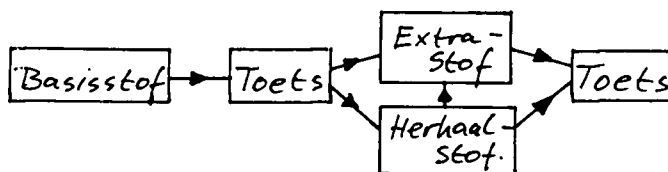


Fig.2

Met 3 uren per week houdt dit in:

basisstof 8 lessen; toets 1 les; herhaal/extra stof 2 lessen; toets 1 les.

Per blok dus gemiddeld 12 lessen; 8 blokken per jaar.

Bij een teruggang naar 2 uren per week kan het als volgt worden:

basisstof 6 lessen; toets 1 les; herhaal/extra stof 1 les; toets 1 les.

Per blok nu gemiddeld 9 lessen; 7 blokken per jaar.
Zowel met de mhv, als met de vm-versie kan men hiermee de basisvorming afwerken.

DBK is toch een practicummethode ?

Nee. Het practicum vormt wel een wezenlijk onderdeel van de methode, maar het is niet noodzakelijk elke les practicum te doen. Alle stof staat in de theorie. Er wordt in de theorie niet zonder meer verwezen naar het practicum.

Verskillende praktica kunnen als demonstratie gedaan worden. Soms is een practicum een discussie, het verzamelen van gegevens, of het herhalen van aanwezige kennis als leerlingenactiviteit in de klas. De ervaring leert dat met de helft van de lessen in het practicumlokaal, men met de methode uit de voeten kan.

Toetsing van de kerndoelen

Bij de methode horen ook toetsen. Bij het antwoordvel van iedere toets wordt verwezen naar de herhaalbladen. Maar er staat ook bij welke kerndoelen getoetst zijn.

Angst een nieuwe methode te kiezen, waar van slechts één deel in te zien valt

Op de conferentie was een (zwart-wit)-kopie van deel 1vm aanwezig. Inmiddels zijn de delen 1vm en 1mhv voorhanden. De gebruikers zagen veel van de bestaande methode terug. Men was goed te spreken over de aanpassingen bij enkele knelpunten.

Deel 2mhv (oude versie) geeft een goed beeld van de aanpak en de inhoud van delen 2vm en deel 2mhv.

Voor presentexamplaren, maar ook voor andere inlichtingen kan men terecht bij Malmberg Den Bosch (doorkiesnr: 073-288 766).

De 'kunst' van het experimenteren met de computer

Werkgroep 24

C.de Beurs & A.N.H. Ockhuijsen

Er was verheugend veel belangstelling voor de werkgroepbijeenkomst van VANACOM. Helaas hebben we een groot aantal belangstellenden moeten teleurstellen omdat er niet genoeg plaats was. Uitgaande van negen (computer)opstellingen leek een groeps grootte van 25 personen het maximaal haalbare. De meetopstellingen (IP-Coach) en systeemborden stonden klaar in een roulatiepracticum, met bijbehorende VANACOM-lesbrieven.

Als opdracht bij het practicum werd gevraagd de lesbrieven (doelgroep: bovenbouw vwo) kritisch tegen het licht te houden:

- Zijn de opdrachten zinvol en interessant voor leerlingen? Is de organisatie van zo'n (computer)practicum uitvoerbaar voor docenten? Wat vindt men van de onderzoeksvragen?
- Is de vorm waarin de lesbrieven worden aangeboden geschikt voor flexibel gebruik door docenten?

Voorbeelden van onderzoeksvragen bij het practicum:

- Hoe groot is de snelheidsverandering van een karretje onder invloed van een krachtstoot? Is de stoot gelijk aan de impulsverandering? [meten en analyseren]
- Wat is de relatie tussen de luchtwrijving en de snelheid bij een gedempte trilling? [meten, modelleren en vergelijken]
- Hoe kun je uit een (plaats, tijd)-registratie van een beweging de krachten (zwaartekracht, opwaartse kracht, wrijvingskrachten) bepalen die de beweging veroorzaken [meten en analyseren]
- Hoe (ont)laadt een condensator via een weerstand, hoe maak je daar een instelbare tijd klok mee [systeembordpracticum, meten en modelleren].

Aan het eind van de bijeenkomst was tijd ingeruimd voor uitwisseling van ervaringen. De reacties waren duidelijk positief. Het grootste deel van de aanwezige docenten gaf aan dit materiaal zeker in de klas te willen gebruiken. Ook over de vorm waarin het lesmateriaal wordt uitge-

bracht (lesbrief + diskette met tekstbestanden en meetbestanden) was men te spreken. De meetbestanden zijn goed te gebruiken bij een klassikaal practicum in het computerlokaal en bevatten daarnaast voorbeeldinstellingen voor de uitvoering van het experiment. De tekstbestanden (WP-files) bieden de docent genoeg ruimte om de lesteksten aan te passen aan eigen didactische inzichten en (practicum)mogelijkheden.

Er ontstond zich een aardige discussie rond de vraag of het voor leerlingen niet vervreemdend is een krachtsensor (principe rekstrookjes) te gebruiken voor de bepaling van de plaats van een voorwerp. Is dat minder het geval bij gebruik van een 'waterpotmeter' of van een 'ultrasone afstandsensor'? Moet het (fysische) werkingsprincipe van de sensor door de leerling begrepen worden (wat bijv. te denken van een ampèremeter)? Of is het vooral verwarrend dat een sensor die bedoeld is voor het meten van kracht, gebruikt wordt voor het meten van plaats? Moeten we het dan maar geen krachtsensor noemen?

In ieder geval moet het leerlingen duidelijk zijn dat een sensor in het algemeen een spanningswaarde afgeeft die verandert als de gemeten grootte verandert. Het verband tussen de afgegeven spanning en de gemeten grootte wordt via een ijking vastgelegd. Deze ijking kan door leerlingen zelf worden uitgevoerd, of gedemonstreerd worden. Dat eenzelfde sensor gebruikt wordt voor het meten van verschillende grootheden hoeft dan niet tot begripsproblemen te leiden.

Tot zover een korte impressie van de werkgroepbijeenkomst. Voor ons betekende dit een stimulans om door te gaan met onze activiteiten. Daarbij zijn we sterk afhankelijk van ideeën die vanuit 'de klas' worden aangeleverd. Als op uw school - bijvoorbeeld bij de keuze-opdracht in 5/6 vwo - interessante (Coach)projecten worden bedacht geef ze dan aan ons door! Ook ideeën voor onderbouwpractica zijn natuurlijk welkom.

Secretariaat Vanacom
Drs. A.N.H. Ockhuysen
Kometenlaan 34
3721 JT Bilthoven



Elektronische bouwstenen samenvoegen tot een werkend systeem

Werkgroep 26

R.J. van Os

Het *eerste* argument om deze werkgroep op te zetten was het feit dat men voor Techniek in de Bavo nog altijd zoekt naar goedkoop en goed inzetbaar practicummateriaal. Regelmatig worden wij (de firma Breukhoven b.v.) door natuurkundedocenten benaderd met vragen naar dergelijke apparatuur.

Het *tweede* argument was dat voor Natuurkunde-Scheikunde in de Bavo methodes verschijnen, waarin (deze) elektronische bouwstenen worden genoemd.

Het *derde* argument is dat in de bovenbouw Natuurkunde het systeembord wordt gebruikt en er vragen zijn naar een eenvoudiger uitvoering als opstap naar het systeembord, alsmede uitbreiding op het principe van het systeembord in losse modules.

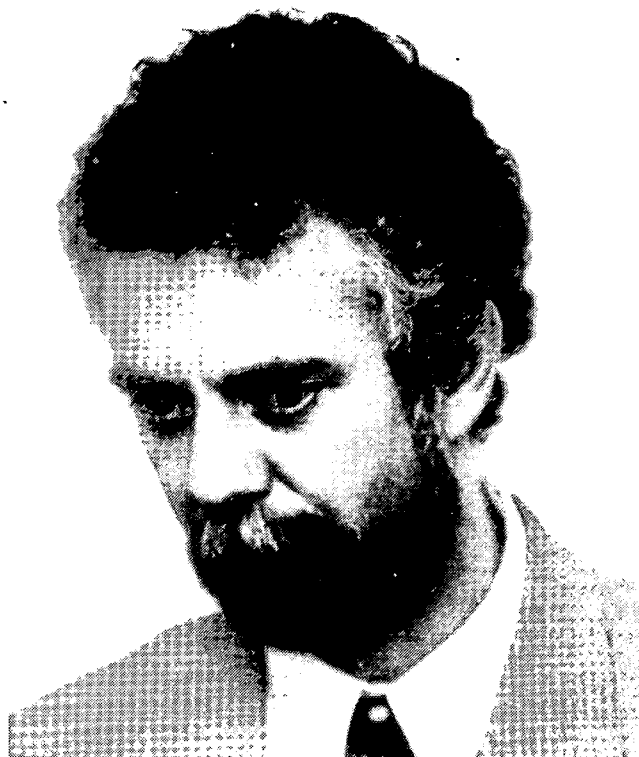
De aanwezigen hadden verschillende redenen om de werkgroep te volgen en in ongeveer 6 groepen is men aan de slag gegaan.

Omdat de methode Sensor-Verwerking-Actuator met plugin modules een zekere voorkennis vraagt van de werking van de afzonderlijke modules, was een bepaalde inwerktijd ingeruimd.

Echter, de nieuwsgierigheid naar het al dan niet werken van de ad hoc bedachte schakeling was dermate groot dat al snel tot bouwen werd overgegaan. De ontworpen schakelingen werden gaande de tijd groter en ingewikkelder: op den duur was er een tekort aan modules en de geplande tijd van anderhalf uur werd door sommigen royaal overschreden.

Bij de E&L-methode behoren een docentenhandleiding en leerlingenboeken. Tijdens de werkgroep was het echter niet noodzakelijk deze nader in te zien.

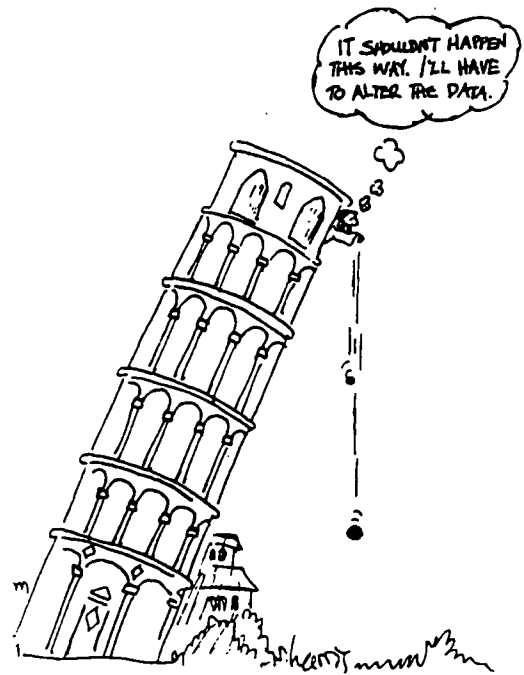
Uit de vele positieve reacties van de deelnemers hebben wij kunnen concluderen dat de werkgroep als zeer nuttig is ervaren. Met succes kijken wij hierop terug en staan open voor demonstraties aan belangstellenden.



Practicum en onderzoek: in basisvorming en WEN

Werkgroep 27

E. v.d. Berg & J. Buning



Inleiding

Zowel basisvorming als WEN benadrukken onderzoek: het kunnen uitdenken/opzetten, uitvoeren en analyseren van experimenten of misschien algemener gesteld: het genereren en valideren van informatie via experimenten. Welke "onderzoeksvaardigheden" zijn hiervoor nodig en hoe onderwijs je die? Wat zegt didactisch onderzoek daarover? Hoe kunnen bestaande practica aangepast worden om meer expliciet die onderzoeksvaardigheden te ontwikkelen?

Het nu volgende artikel is een samenvatting van het "theoretische gedeelte" van de workshop. De in de workshop besproken practicum voorbeelden, zijn op verzoek verkrijgbaar bij de auteurs.

Doelen van practicum

Het gebruik van practicum kan verschillende doelen hebben, bijvoorbeeld:

1. Ondersteuning van theorie d.m.v. verificatie of "ontdekkings"proeven.
2. Het leren onderzoeken met behulp van experimenten (het komen tot een vraagstelling, variabelen vertalen in meetbare grootheden, hypothesen stellen en toetsen, conclusies trekken, experiment relateren aan theorie, etc.).
3. Het leren gebruiken van een aantal meetinstrumenten en practicum technieken (meten van temperatuur, pH, stroomsterkte, titreren, gebruiken van een microscoop, etc.).
4. Motiveren van leerlingen.
5. Betekenis laten zien van "experimentele" wetenschap.

De term "practicum" is natuurlijk niet eenduidig en kan slaan op vaardigheidstraining in het gebruik van een microscoop tot het doen van eigen onderzoek. We beschouwen een lesmethode als "practicum" als leerlingen zelf meten of waarnemen en apparatuur hanteren.

Onderzoek naar practicum

Onderzoeksresultaten m.b.t. de effectiviteit van practicum zijn nogal teleurstellend. Samengevat moet uit tientallen onderzoeken het volgende geconcludeerd worden (Bates, 1978; Hofstein & Lunetta, 1982; van den Berg & Giddings, 1992; Hodson, 1993):

1. Practicum is beter dan andere lesmethoden in het leren gebruiken van apparatuur en meettechnieken.
2. Practicum is niet beter dan andere methoden in het leren van theorie/begrippen.
3. Practicum is niet beter dan andere methoden in het leren onderzoeken.
4. Practicum kan inderdaad leiden tot een wat betere motivatie (maar zoals te zien in 2 en 3 vertaalt zich dat niet direct in betere prestaties).

Dit zijn "gemiddelde" resultaten, gemiddeld over veel klassen en docenten in tientallen studies. Er kunnen dus best klassen en docenten zijn waar practicum tot goede resultaten leidt, maar "gemiddeld" vallen de resultaten van practicum sterk tegen.

We kunnen twee alternatieve conclusies trekken: òf 1) practicum geeft geen betere resultaten dan andere methoden, òf 2) de practicum methode wordt verkeerd toegepast en kan met een betere didactiek wèl betere resultaten opleveren dan andere lesmethoden. Wij kiezen voor het tweede alternatief want onderzoek wijst ook uit dat er nogal wat didactische problemen zijn rond de uitvoering van het practicum. Die problemen betreffen o.a. doelen van practicum, inconsistentie van doelen en practicuminstructies, begeleiding en evaluatie.

Drie soorten practicum

Eerder werd een lijstje gegeven van doelen van practicum. Die doelen zijn zeer verschillend en vereisen een verschillende didactiek. Het zich niet voldoende bewust zijn van die verschillen is zeker één van de oorzaken van tegenvallende practicum resultaten.

Apparatuurpracticum: Voor veel practicumvaardigheden als solderen, titreren, of het gebruik van een ampèremeter bestaat een beste of veiligste manier. Een paar duidelijke aanwijzingen en uitgebreide oefening met supervisie kunnen tot goede resultaten leiden. Eventuele discussie is tamelijk convergent: "waarom doen we het *z*us en niet *z*o". Een "apparatuurvaardigheden" practicum is daarom kookboekachtig met duidelijke voorschriften en aanwijzingen, en veel oefening. Beasley (1979, 1983) is één van de weinigen die gewerkt heeft aan didaktiek voor dit soort practica.

Onderzoekspracticum: Bij leren onderzoeken gaat het om cognitieve vaardigheden m.b.t. het verwerven en toetsen van kennis. Dit soort vaardigheden wordt vaak *process skills* genoemd in de internationale onderwijs literatuur. Voorbeelden van dergelijke vaardigheden zijn (Tabel 1): het komen tot een probleemstelling, het vertalen van een probleem in concrete vragen, het vertalen van vragen in een experiment, het vertalen van variabelen in meetbare grootheden (komen tot operationele definities), observeren, meten, verwerken van gegevens in tabellen en grafieken, conclusies trekken, beperkingen erkennen, etc. De meeste van deze vaardigheden staan genoemd in het WEN programma en een aantal deelvaardigheden staat ook in de kerndoelen voor de basisvorming.

In tegenstelling tot het apparatuurpracticum, vereist het onderzoekspracticum juist vrijheid voor de leerling om (soms) een eigen onderzoeksvraag te formuleren, en keuzes te maken in de opzet van experimenten. Ook is ruimte vereist voor discussie tussen leerlingen onderling en met de docent over de vóór- en nadelen van diverse mogelijkheden. Verder zullen, zeker in de onderbouw, diverse vaardigheden apart geoefend moeten worden en soms kan dat zelfs zonder apparatuur (bv. oefenen met tabellen en grafieken).

Soms zal de nadruk liggen op het vóórwerk, het ontwerpen van experimenten (vaardigheden 1.1 - 1.5 uit de tabel), soms op uitvoering, soms op presentatie en verwerking van gegevens. De meest algemene vaardigheden als observeren, meten, opschrijven en verwerken van resultaten, komen in vrijwel elk practicum aan bod. Onderzoeksvaardigheden kunnen niet volledig gescheiden worden van natuurkunde kennis (de context) waarmee geoefend wordt. Als de nadruk in een bepaald practicum ligt op oefening in onderzoek, dan is het beter om te werken met relatief gemakkelijke leerstof opdat begripsmoeilijkheden het leren van onderzoeksvaardigheden niet in de weg staan.

Begripspracticum¹: Een practicum ter ondersteuning van begripsontwikkeling moet juist bestaan uit een uitgekende serie activiteiten waarbij -beginnend bij leerlingideeën en intuïties- zorgvuldig een begrip wordt opgebouwd en afgezet tegen zogenaamde misconcepties. De vereiste sturing in zo'n proces rechtvaardigt een gestructureerde benadering, maar ook een open interactie tussen leerlingen en docent, opdat verkeerde interpretaties van leerlingen duidelijk naar voren komen. Als de nadruk ligt

op begripsontwikkeling, dan is het beter ingewikkelde apparatuur en hoge eisen aan experimenteervaardigheid te vermijden, opdat het proces van begripsvorming niet onnodig gecompliceerd wordt. Kwalitatieve "houtje-touwje" proeven zijn vaak beter voor begripsvorming dan nauwkeurige metingen met ingewikkelde apparatuur.

Eén van de problemen met practicumonderwijs is dat deze drie soorten practicum nu juist niet onderscheiden worden. Bijvoorbeeld, in een onderbouw elektriciteitspracticum verwachten we dat leerlingen schakelingen lezen en maken, meters juist plaatsen, etc. We verwachten ook nog dat begrippen als stroom en spanning beter begrepen zullen worden. De problemen met het schakeling maken, zullen de begripsvorming vertroebelen. Veel beter is het om de vaardigheidscomponent te scheiden van de begripsdoelen van het practicum. Oefen leerlingen eerst in wat basisvaardigheden als schakelingen bouwen met meters erin. Dat kan snel en efficiënt (één les). Pas als dat lekker loopt, gebruik dan die vaardigheden in een practicum om meer over de begrippen stroom en spanning te leren (bv. serie en parallel schakeling, wet van Ohm, etc.). In veel practica kunnen nieuwe vaardigheden even van te voren geoefend worden (5-10 minuten) alvorens met begrippen of onderzoeksvaardigheden aan de slag te gaan. Een voorbeeld daarvan is het practicum over warmtetransport (verkrijgbaar bij de auteurs).

Op onderbouw niveau is het goed de begrips-, onderzoeks-, en apparatuurpractica goed uit elkaar te houden. Op hogere niveaus zullen practica meer geïntegreerd zijn, maar ook dan is het belangrijk duidelijke prioriteiten te stellen m.b.t. leerdoelen. Voor een bepaald practicum moet men zich afvragen wat de twee of drie belangrijkste doelen zijn i.p.v. alles tegelijk te willen bereiken. Met een duidelijke keuze van doelen en prioriteiten weten docenten en leerlingen beter waar ze aan toe zijn.

Het zal duidelijk zijn dat het onmogelijk is een begripspracticum uit te voeren dat geen apparatuurvaardigheden vereist, of een onderzoekspracticum zonder begripskennis. Ons voorstel is echter practica zo in te richten dat het accent op één van de drie (begrip, onderzoeksvaardigheden, apparatuurvaardigheden) ligt, bijvoorbeeld, dat een begripspracticum niet met (voor de leerlingen) nieuwe apparatuur gedaan wordt en niet geheel nieuwe analysevaardigheden eist, of dat een onderzoekspracticum niet teveel gebruik maakt van begrippen die nog niet beheerst worden.

Tabel 1: onderzoeksvaardigheden

1.0	OPZET VAN EXPERIMENT
De leerling:	
1.1	Formuleert te onderzoeken probleem.
1.2	Formuleert hypothese.
1.3	Ontwerpt experiment (onafhankelijke en afhankelijke variabelen).
1.4	Ontwerpt observatie- en/of meetprocedures voor elke variabele (operationele definities).
1.5	Voorspelt resultaten.
2.0	UITVOERING VAN EXPERIMENT
De leerling:	
2.1	Observeert, meet.
2.2	Manipuleert.
2.3	Schrijft resultaten op.
2.4	Berekent.
2.5	Legt uit of belist over experimentele technieken.
2.6	Werkt volgens eigen opzet.
3.0	ANALYSE EN INTERPRETATIE
De leerling:	
3.1	Transformeert resultaten in standaardvorm (tabellen).
3.2	Stelt relaties vast (inclusief grafieken).
3.3	Beschrijft/bespreekt nauwkeurigheid gegevens.
3.4	Beschrijft/bespreekt aannames.
3.5	Formuleert generalisaties.
3.6	Verklaart relaties.
3.7	Formuleert nieuwe vragen/problemen.
4.0	TOEPASSINGEN
De leerling:	
4.1	Voorspelt gebaseerd op resultaten van onderzoek.
4.2	Formuleert hypothesen voor follow-up.
4.3	Past experimentele techniek toe op nieuw probleem.

Werkbladen

In de zestiger jaren legden nieuwe curricula in de VS veel nadruk op onderzoeksvaardigheden. Leerlingen moesten leren onderzoeken. Kennis heeft vaak slechts tijdelijke waarde, maar het kunnen vergaren en valideren van benodigde kennis is een vaardigheid die een leven lang van belang is. Dit alles onder het motto: *Geef me een vis en ik heb eten voor een dag, leer me vissen en ik eet een leven lang*. Een aantal jaren geleden analyseerde een groep onderzoekers practicumwerkbladen van bekende Amerikaanse curricula (o.a. van de natuurkunde curricula PSSC, en Harvard Project Physics, de diverse versies van BSCS biologie, en CBA en CHEM Study voor scheikunde). Ze kwamen met de volgende conclusies (Tamir and Lunetta, 1981, p. 482):

Zelden of nooit wordt de leerling gevraagd om:

- a. een onderzoeksvraag te formuleren;
- b. een hypothese te formuleren of te toetsen;
- c. experimentele resultaten te voorspellen;
- d. te werken volgens eigen ontwerp;
- e. nieuwe vragen te formuleren gebaseerd op onderzoek;
- f. een experimentele techniek toe te passen gebaseerd op een zojuist uitgevoerd onderzoek.

Practicuminstructies in Nederland zijn ook vaak kookboekachtig met uitgebreide meetvoorschriften. Vragen over verwachtingen/voorspellingen en over verwerking van resultaten komen pas aan het eind aan bod, wanneer het experiment al door de leerlingen is uitgevoerd. De schrijvers of docenten hebben het experiment goed doordacht, maar dit denkwerk is de leerlingen ontnomen. De docent denkt voor de leerling.

Als van leerlingen nooit geëist wordt dat ze voorspellingen doen, of onderzoeksvragen formuleren, of zelf een proefje uitdenken, hoe kun je dan verwachten dat ze onderzoeksvaardigheden leren? Resultaten van proeven in veel boeken en practicumhandleidingen zijn reeds bekend voordat een leerling de proef doet, of kunnen elders in de practicuminstructies gevonden worden. Dus is de leerling erop gericht het juiste antwoord te krijgen i.p.v. na te denken over doel en methoden van de proef. Soms kunnen bestaande practicumwerkbladen met enkele eenvoudige veranderingen meer onderzoeksgericht worden. Voor uitgewerkte voorbeelden verwijzen we naar de serie bovenbouwpractica ontwikkeld door TU Eindhoven (Feiner-Valkier, 1993), de internationale *science education* literatuur (Warwick Process Science, APU documenten) en Van den Berg (1979, 1981), en enkele voorbeelden van practica die in de workshop zijn uitgedeeld en op verzoek verkrijgbaar zijn.

Begeleiding

Wat denken leerlingen gedurende een practicum? Kijk eens naar de volgende voorbeelden opgenomen in Nieuw-Zeeland en gerapporteerd in Osborne en Tasker (1982).

Voorbeeld 1: Het volgen van instructies

Observator (O) in klas met 30 leerlingen die in paren werken:

O: Wat zijn jullie aan het doen ?

L1: Hmmm...die hier (wijst naar stap 3 in boek) nummer 3.

O: Wat is dat ?

L1: (Kijkt naar partner die niets zegt, pakt dan het boek).

O: Kun je het me vertellen zonder eerst te lezen ?

L1: Ik ben het vergeten.

O: Waar gaat het experiment over ?

L1: (Geen antwoord, een grijns).

Later is hetzelfde paar jongens bezig een gele stof te verwarmen.

O: Wat ben je nu aan het doen ?

L1: Dit aan het verwarmen.

O: O ja, waarvoor ?

L1: Wel...(rent naar zijn tafel aan de andere kant van het lokaal en komt terug met zijn boek) we doen nummer 5.

O: Wat deed je voordat je het begon te verhitten ?

L1: Deze hier (wijst naar nummer 3 en 4 van de instructies).

O: Kun je me vertellen wat je gevonden hebt ?

L1: We hebben dit gele spul.

O: Weet je waar dit experiment voor dient ?

L1: Nee, eigenlijk niet.

Voorbeeld 2: Een voorbeeld van "control" in een experimentele opzet.

De observator (O) leest uit een leerlingenschrift: Er was geen glucose in de controlebuis.

O: Wat is een controlebuis ?

L1: Was dat de beker ?

L2: Een andere buis of zoiets.

L1: O ja, we moesten een reageerbuis gebruiken met iets anders erin.

O: Dus die controlebuis is een speciale buis of zoiets ?

L2: Nee, het is een gewone buis.

O: Waarom wordt het controlebuis genoemd ?

L1 & L2: (Halen schouders op en giechelen een beetje)

Kortom, leerlingen volgen instructies maar weten niet waar het om gaat. Oplossing: Formuleer voor elk practicum een stuk of drie kernvragen en ga daarmee de klas in tijdens het practicum (bv. *waar gaat het om in dit practicum? of wat leer je van deze proef?*). Dat helpt in het focuseren van het practicum op enkele hoofdzaken, zowel voor docent als leerling.

Practicumevaluatie

Practicumevaluatie gebeurt vaak op grond van schriftelijke toetsen over de inhoud van het vak en niet over onderzoeksvaardigheden. Als die wel worden geëvalueerd, is dat meestal via practicumverslagen die vaak te standaard en te algemeen zijn om te zien of bepaalde vaardigheden nu wel of niet beheerst worden.

Een deel van de onderzoeksvaardigheden kan schriftelijk getoetst worden, bijvoorbeeld: het maken van een onderzoeksopzet, het werken met tabellen en grafieken. Een ander deel zal via practicumtoetsen moeten, of via individuele toetsing gedurende leerlingpraktika, bijvoorbeeld: meetvaardigheden, vragen over meetopstelling en nauwkeurigheid, vaardigheid met apparatuur. Het is daarbij belangrijk dat leerlingen weten waarop ze beoordeeld worden. Net als alle andere werkvormen moet practicumonderwijs duidelijk zijn in doelstellingen.

Conclusies

1. Stel vast of een practicum begrips-, onderzoeks-, of apparatuurpracticum is.

Voor een onderzoekspracticum:

2. Zijn er apparatuurvaardigheden die nog geoefend moeten worden? Doe dat dan eerst en apart alvorens in het onderzoeksgedeelte van het practicum te duiken.
3. Kies enkele onderzoeksvaardigheden en richt de aandacht daarop i.p.v. alles tegelijk te doen. Zorg dat in een practicumserie de meeste vaardigheden aan bod komen.
4. Is voor de gekozen vaardigheden practicum wel de efficiëntste manier, of kan het sneller/effectiever op een andere manier (bv. het leren werken met tabellen en grafieken)?
5. Schrijf of selecteer (uit bestaande practica) instructies en check vervolgens of het resulterende werkblad echt doet wat beoogd wordt.
6. Begeleiding: Bedenk een paar begeleidingsvragen om mee de klas in te gaan.
7. Plan discussie vóór en na practicum. Vóór het practicum over wat onderzocht gaat worden, hoe zou je dat kunnen doen, wat moet je meten, etc. Na het practicum over wat er gevonden is, hoe je dat zou kunnen interpreteren, geldigheid van conclusies, etc.
8. Het maken van een experimenteerplan en het uitvoeren van het experiment kan heel goed gescheiden worden in 2 (deel)lessen. Bijvoorbeeld, het maken van het plan kan in de les voor het practicum of als huiswerk gedaan worden.
9. Zorg dat evaluatie echt gaat over gekozen doelen (zie 3) en dat leerlingen dat ook zo ervaren.

Noot

1. De didactiek van het begripspracticum is uitgebreid besproken in een artikel van Van den Berg & Bosch, Woudschotenverslag 1991.

Literatuur

- Bates, G.R. (1978). The role of the laboratory in secondary school science programs. In: M.B. Rowe (Ed.), *What research says to the science teacher* (Vol 1). Washington D.C.: National Science Teachers Association.
- Beasley, W. F. (1979). The effect of physical and mental practice on psychomotor skills on chemistry student laboratory performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 16, 5, 473-479.
- Beasley, W.F. (1983). Mental practice as a technique to improve laboratory skill development. *Journal of Chemical Education*, 60, 6, 488-489.
- Berg, E. van den (1979). Het praktikum: Onderwijs in onderzoek. *Faraday*, 48, 5, 203-208.
- Berg, E. van den (1981). Krentenfysica: Een oefening in observatie. *Faraday*, 50, 1, 31-32.
- Berg, E. van den, Giddings, G. (1992). *Teaching in the Laboratory: An alternative view*. Monograph. Perth: Science and Mathematics Education Centre, Curtin University of Technology.
- Feiner-Valkier, S. (1993). *Een programma van experimenten*. Enschede: Instituut voor Leerplanontwikkeling.
- Garrett, R.M., Roberts, I.F. (1982). Demonstrations versus small group practical work in science education. A critical review of studies since 1900. *Studies in Science Education*, 9, 109-146.
- Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52, 2, 201-217.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Liem, T. (1987). *Invitations to Inquiry*. Boston: Ginn and Company.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science: The Implications of Children's Science*. London: Heinemann.
- Tamir, P., Lunetta, V.N. (1981). Inquiry-related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education*, 65, 5, 477-484.

Werken in natuurkunde- onderwijs in ontwikkelingslanden

Werkgroep 28

*E. van den Berg, P. Dekkers &
J. Ruijschoot*

Dit verslag heeft twee doelen: I) een kort overzicht te geven van problemen in natuurkundeonderwijs in ontwikkelingslanden, en II) en III) dit te illustreren met twee schetsen van persoonlijke ervaringen en tenslotte IV) informatie te geven over werkgelegenheid in derde wereld natuurkundeonderwijs. Om die schetsen persoonlijk te houden, hebben de auteurs met opzet afzonderlijk geschreven in hun eigen stijl.

I. Natuurkunde-onderwijs in ontwikkelingslanden

Over de rol van onderwijs in ontwikkelingslanden is veel geschreven. In de jaren zestig dacht men dat met goed onderwijs alle problemen van ontwikkelingslanden wel snel opgelost zouden zijn. Dat is tegengevallen. Na teleurstellingen is er nu toch een nieuwe golf van steun voor "ontwikkeling via onderwijs". De Wereldbank, de Nederlandse overheid, en andere grote donoren trekken meer geld uit voor onderwijsprojecten. Onderwijs in exacte vakken krijgt in alle ontwikkelingslanden een hoge prioriteit, wetenschap en techniek zijn belangrijk in de economische ontwikkeling. Maar juist dat onderwijs in de exacte vakken is problematisch in de meeste ontwikkelingslanden. Er zijn tekorten aan goede docenten, faciliteiten ontbreken en zijn duur, examenresultaten zijn vaak zeer slecht, projecten voor verbetering hebben een laag rendement, etc. In het volgende geven we een korte inleiding in de problematiek gevolgd door twee korte schetsen van ervaringen als docent exacte vakken in ontwikkelingslanden (Indonesia, Lesotho). We besluiten met een beknopt overzicht van uitzendmogelijkheden voor natuurkundedocenten naar ontwikkelingslanden.

Resultaten: Bij alle problemen die we zullen noemen, moet bedacht worden dat vrijwel alle ontwikkelingslanden enorme resultaten hebben geboekt in het uitbreiden van

onderwijs van een koloniale elite naar de massa. In een land als Indonesia (180 miljoen inwoners, 3000 bewoonde eilanden) gaat nu vrijwel 100% van de leeftijdsgroep 6-12 jaar naar de basisschool en is het percentage leerlingen dat naar een onderbouw van een middelbare school gaat, in 10 à 15 jaar toegenomen van 20% tot rond 50% van de leeftijdsgroep 12 - 15 jaar. In Zimbabwe is het aantal scholen sinds de onafhankelijkheid vertienvoudigd.

Voorbeeld: Zimbabwe werd in 1980 onafhankelijk. In de 10 jaar vanaf 1979: toename van 2401 tot 4505 lagere scholen, 178% meer leerlingen, toename van 177 naar 1502 middelbare scholen, 950% meer leerlingen. Daar komt nog bij dat er een grote bevolkingsgroei plaatsvindt; in Zimbabwe zo'n 3.5% per jaar, d.w.z. er zou dagelijks een nieuwe school geopend moeten worden om die 3,5% groei bij te houden.

In de meeste andere Afrikaanse landen hebben soortgelijke stijgingen plaatsgevonden in aantallen scholen, leerlingen en docenten. Dat bij die enorme uitbreiding de kwaliteit het slachtoffer werd...dat kan toch haast niet anders?

Geld: Veel van de huidige problemen hebben met geld te maken. Te weinig geld betekent lage salarissen voor docenten, dus kiezen de meest getalenteerde liever niet meer voor het leraarsberoep of gebruiken het als een "stepping stone" naar een betere baan. Vroeger was dat anders. Een aantal Afrikaanse en Aziatische presidenten is in het onderwijs werkzaam geweest. Weinig geld en arme leerlingen betekent ook dat er vaak te weinig leerboeken zijn, vaak niet meer dan 5 per klas van 45 leerlingen. Practicum apparatuur is er soms wel, soms niet. In veel landen heeft men apparatuurprojecten gekend. Vaak staat de apparatuur nog ongebruikt in de kast vanwege allerlei redenen waaronder: praktikumvaardigheden worden niet

(nationaal) geëxamineerd en examensyllabi zijn overvol, docenten vertrouwen zichzelf niet met apparatuur (gebrekkige opleiding), practicum kost tijd docenten hebben bijbaantjes (noodzakelijk) en toa's zijn zeldzaam buiten Nederland en bestaan gewoon niet in de meeste ontwikkelingslanden. Alle problemen bij elkaar kunnen zorgen voor een weinig opwekkend klimaat in veel scholen, bijv. spijbelen van docenten en andere praktijken. Sommige landen (Indonesië) zijn in staat geweest veel te investeren in onderwijs. In andere landen (Afrika) zijn onderwijsbudgetten juist sterk gedaald in de tachtiger jaren. Tussen 1980 en 1987 halveerden onderwijsbudgetten in Afrika (van \$32.- tot \$15.- per hoofd van de bevolking per jaar). Als je vervolgens salarissen aftrekt, dan blijft er per leerling zo'n \$1 à \$4 te besteden voor alle vakken samen, in westerse landen ligt dat rond de \$250.- - \$300.- per jaar. Daar kun je wat aan doen via schoolgeld, maar in een arm land kan schoolgeld ook tot "drop-out" leiden. In Zimbabwe kan schoolgeld een tientje per jaar zijn, maar op een "cash" gezinsinkomen van drie à vier tientjes per jaar.....

Qualificaties: In veel landen is er een tekort aan gekwalificeerde leraren exacte vakken. Bijvoorbeeld, in Namibia zijn 8500 van de 12.000 docenten exacte vakken niet gekwalificeerd. Een aantal Afrikaanse landen gebruikt nog steeds buitenlandse docenten, in Botswana en Zimbabwe zijn zo'n 30% van de docenten exacte vakken buitenlands hetgeen uiteraard problemen geeft met de continuïteit. Docenten die wel gekwalificeerd zijn, hebben vaak een gebrekkige opleiding gehad.

Docentenopleidingen hebben veel te snel moeten groeien om aan de vraag naar docenten te voldoen.

Taal: Meestal wordt onderwijs gegeven in een 2de of 3de taal, niet in de moedertaal van de leerling (er zijn vaak teveel lokale talen en dialecten) noch in de moedertaal van de docent. Op goede scholen hoeft dat geen probleem te zijn, op slechte juist wel. Leerlingen verstaan het onderwijs gewoon vaak niet (of verstaan het verkeerd).

Cultuur: In de literatuur wordt vaak melding gemaakt van de discrepantie tussen traditionele religies of bijgeloven en de, uit het westen komende, wetenschappelijke verklaringenprincipes, die het leerproces met name in de exacte vakken in de weg zitten. Enerzijds moet benadrukt worden dat de "wetenschapscultuur" ook voor westerse leerlingen een vreemde cultuur is. Verder is uit vergelijkend onderzoek gebleken dat leerlingen in ontwikkelingslanden dezelfde typische misconcepties of leerling-ideeën hebben als in westerse landen (Thijs & van den Berg, 1993). Anderzijds is het haast ondenkbaar dat de niet-westerse cultuur en leefomgeving geen speciale invloed zouden hebben. Wellicht is het zinniger cultuur en traditie te gebruiken als aanknopingspunt voor het ontwerpen van relevant onderwijs, dan de relatie cultuur-wetenschap als problematisch te zien. Men kan traditionele techniek (muziekinstrumenten, etc.) gebruiken voor

fysica en ook op allerlei andere manieren de leerstof verbinden met de leefwereld van leerlingen.

Allerlei zaken versterken elkaar. Gebrek aan leerboeken betekent dat veel lessen zullen ontfaan in dictee. Een leraar die zijn vak niet zo goed beheerst zal zich eerder onzeker voelen, vragen van leerlingen zijn dan bedreigend. Dat leidt al gemakkelijk tot onderwijs waar de leraar centraal staat, dat gesloten is, weinig ruimte voor discussie laat, en waar kennis verwordt tot uit het hoofd geleerde tekst. Dat zal zeker het geval zijn als de leraar slecht getraind is in actieve onderwijsvormen en die zelf als leerling of student ook nooit ervaren heeft. Dat sluit prima aan bij het culturele verwachtingspatroon van studenten.

Aan de andere kant, de motivatie van leerlingen is hoog. Men wil best graag leren. Er zijn nauwelijks ordeproblemen, ook niet in klassen van meer dan 40 leerlingen. Het lesgeven in een ontwikkelingsland kan bijzonder plezierig zijn mits men beschikt over improvisatietalent en een grote flexibiliteit.

III. Indonesië (Ed van den Berg)

Rond 1978 maakte de Indonesische regering plannen om een noodprogramma voor de lerarenopleiding te starten in tekortvakken. Er was een enorme groei van het middelbaar onderwijs aan de gang en er was vooral een tekort aan docenten exacte vakken. Over een periode van 10 à 15 jaar groeide het percentage van de leeftijdsgroep dat doorging na de lagere school, van 20 tot 60%.

Als één van de beste particuliere universiteiten mocht Satya Wacana Christian University (SWCU) in Salatiga, Midden-Java, zo'n noodprogramma starten. Dat werd een twee-jarige docentenopleiding (onderbouw, zeg maar 2de graads) voor wiskunde met bijvak natuurkunde, en een twee-jarige opleiding voor natuurkunde en biologie met als bijvak fysische geografie. In een nieuw samenwerkingsverband van VU en SWCU werd deze opleiding aangekaart als een eerste project. Later werden ook volledige 4 jarige programma's geopend voor wiskunde en natuurkunde, en een driejarige opleiding voor biologie. VU steun bestond uit mijn (Ed van den Berg) uitzending (1981-91), uitzending van dr Cor van Huis (1985-88), beurzen voor studenten en voor verdere studie van stafleden, geld voor apparatuur/bibliotheek en algemene ondersteuning. Financiering kwam voornamelijk van de gereformeerde en hervormde zendingen, ICCO en de Unie School en Evangelie. In de periode 1981-1991 leidde SWCU ruim 500 docenten exacte vakken op.

Eind 1979 keerde ik terug van een Unesco baan in Nairobi (Kenya) in de verwachting na een taalcursus snel naar Indonesië te kunnen. Dat viel tegen. Tot mei 1981 (18 maanden) verkeerde ik in onzekerheid over een werkvergunning en visum. Dit was een bijzonder onprettige tijd. Per 1 juni 1981 kon ik toch beginnen en in augustus stond ik voor de klas met mijn nog gebrekkige

Indonesisch. Mijn taken waren: 1) het ontwikkelen van een goed programma en van ondersteunend lesmateriaal voor de natuurkunde en didactiek componenten van de opleiding, 2) training van Indonesische stafleden, 3) zelf lesgeven (veel), en 4) contacten leggen met christelijke scholen in geheel Indonesië (o.a. voor recrutering van studenten en plaatsing van door ons opgeleide docenten).

Mijn Indonesische collega's waren leeftijdsgenoten. Ze waren gezellig, hard werkend en zeer gemotiveerd om meer te leren. We hebben vooral veel lesgegeven en de andere taken daarmee geïntegreerd. Door bepaalde colleges samen met Indonesische stafleden te geven, konden we tegelijkertijd lesgeven en aan staftraining doen plus samen lesmateriaal ontwikkelen: drie vliegen in één klap. Bovendien wordt zo de kans veel groter dat -door buitenlanders (mede)ontwikkeld- lesmateriaal ook na vertrek door Indonesische collega's gebruikt zou worden (de vierde vlieg in dezelfde klap). Dit *team teaching* werd het middel voor opleiding van jonge staf in onze afdeling. De zo opgeleide Indonesische stafleden passen dit middel nu toe in de training van hun jongere collega's.

Het lesgeven was heel gevarieerd. In het begin (1981-85) gaf ik vooral middelbare school natuurkunde, didactiek (ook voor biologie), en fysische geografie. Later verschoof het accent naar de 3de en 4de jaars colleges van een nieuwe vierjarige docentenopleiding voor natuurkunde. Een deel van die colleges werd samen met Indonesische stafleden gegeven, die dan op den duur het college overnamen, terwijl wij dan weer een nieuw college verder ontwikkelden. Toch moesten er ook nog heel andere vakken gegeven worden, bijv. statistiek en methodologie van onderwijskundig onderzoek, methodologie aan een cursus voor docenten bij het hoger onderwijs, statistiek voor studenten in een Masters programma plattelandsontwikkeling, etc. Kan dat allemaal? Tja, iemand die in Nederland 10 jaar alleen een college mechanica geeft, zal dat beter kunnen dan wij met onze 4 of 5 verschillende colleges per semester plus neventaken.

Aantal inwoners:	183 miljoen
Bevolkingsgroei:	afgenomen tot minder dan 2% per jaar
Aantal bewoonde eilanden:	3000
Economische groei:	6 a 7% per jaar
Nationale taal:	Indonesisch (2de taal voor de meesten)
Onderwijssysteem:	6 jaar basisschool 3 jaar onderbouwschool (SMP) 3 jaar bovenbouwschool (SMA) (of 3 jaar middelbaar beroepsonderwijs)
Percentage van leeftijdsgroep in lager onderwijs:	bijna 100%
Percentage van leeftijdsgroep in onderbouw:	50%, binnenkort wordt de leerplicht verlengd tot 15 jaar

De studenten kwamen van de beta richting van de middelbare school. Ondanks een nationaal eindexamen en een nationaal curriculum, varieerde de kwaliteit van leerlingen zeer sterk van school tot school. Via een toelatingsexamen konden we studenten kiezen, maar uiteraard konden we dat pas goed na een aantal jaren ervaring met selectie. De studenten waren in het algemeen bijzonder prettig en gezellig. Velen kwamen van de wat armere kant van de middenklasse, uit gezinnen die net wel of net niet hun opleiding konden betalen en dat gaf bij velen behoorlijke spanningen tegen de tijd dat collegegeld betaald moest worden.

De "oosterse" cultuur verschilt nogal van de "westerse". Westerlingen, en vooral Nederlanders, zeggen waar het op staat en nemen geen blad voor de mond. Als men het ergens niet mee eens is, dan blijkt dat duidelijk. Als men iets goed vindt, dan zal een Amerikaan dat nog vaak zeggen, maar een Nederlander spendeert weinig woorden aan lof, vooral academisch geschoolde Nederlanders. Oosterlingen zijn veel voorzichtiger. Kritiek wordt

indirect geuit of gereserveerd voor het roddelcircuit (dat in alle culturen bestaat). Nee zeggen is moeilijk, het is dan nog altijd veel beleefder "ja" te zeggen en "nee" te doen. Een Javaan denkt van zichzelf dat hij/zij gemakkelijk het verschil kent tussen het "ja" dat ja is en het "ja" dat nee is of "ja, maar". In de praktijk blijken ook Javanen daar fouten mee te maken. In zuid-oost Azië is men ook nogal gewend om overal wat achter te zoeken. Extraverte westerlingen hebben het daarom vaak gemakkelijker dan introverte. Een gezellig extravert figuur, die zal niet veel verbergen, maar zo'n introverte, wat voert die in zijn schild?

In de meeste ontwikkelingslanden hebben hogergeplaatsten en ouderen veel meer gezag dan in Nederland. Net als de Indonesiërs accepteerden wij de beslissingen van onze (overigens heel geschikte) superieuren. Wel zorgden we voor veel discussie met allerlei voorstellen en alternatieven. Als buitenlander moet je dingen in beweging brengen, anders had men beter een extra Indonesische collega kunnen inhuren. Aan de andere kant ben je te gast en moet je voorzichtig zijn met waar je je wel en niet mee

bemoeit. Dat kan heel moeilijk zijn, vooral als beslissingen wel eens onrechtvaardig lijken (impulsieve en onwetende westerlingen zoals ik reageerden nog wel eens te snel). Collega's voelden zich (terecht) uiterst gegrieft wanneer ze ten onrechte onrechtvaardigheid verweten werden. Dergelijke gevoelens leven heel lang in het Oosten!

Lesmethoden: Typische klassesituaties in ontwikkelingslanden zijn reeds beschreven in de inleiding. Wat voor lesmethoden propageer je nu voor de typische Indonesische school situatie? In welke methoden train je nu je aanstaande docenten exacte vakken? Voor onze tweejarige programma's maakten we een duidelijke keuze. We propageerden geen moderne lesmethoden zoals sterk geïndividualiseerd onderwijs of veel gebruik van practicum. Grote klassen, overladen examenprogramma's, gebrek aan faciliteiten en zelfs leerboeken, en de positie van een nieuwe jonge docent in een Indonesische school zouden sterk afwijkende lesmethoden onmogelijk maken. Daarom kozen we voor verbeterde conventionele methoden. De verbeteringen die we benadrukten waren: nadruk op interactie met leerlingen d.m.v. vragen, interactieve demonstraties met eenvoudige middelen, gebruik van andere eenvoudige hulpmiddelen om de leerstof aanschouwelijk te maken en gebruik van voorbeelden en verschijnselen uit het dagelijks leven. In het wiskunde programma werd veel gedaan met modelletjes maken van papier, karton en andere dingen. Toevallig kwamen twee van onze wiskunde docenten van een Indonesische opleiding (de enige?) waar dat veel en goed gedaan werd. We oefenden dus geen druk uit op onze studenten om later als docent veel practicum te doen, we lieten hen in ons programma echter wel veel practicum doen opdat ze goed demonstraties zouden kunnen geven. Gedurende practica lieten we studenten ook nog al eens verschillende proeven doen die ze dan aan elkaar moesten demonstreren. Vanaf het eerste semester van de cursus deden we veel aan micro-teaching waarbij onze studenten minilessen gaven van 10 minuten aan een groepje van 6-8 medestudenten, die dan vervolgens kritiek gaven. We deden dat graag op zaterdagmorgen omdat dan voldoende lokalen beschikbaar waren. Soms alleen, soms met een collega rende ik dan heen en weer tussen 5 groepen van 8 studenten die dan in verschillende lokalen aan het oefenen waren. Dat kritiek geven op medestudenten ging redelijk goed, ondanks de Aziatische cultuur waarin openlijke kritiek vaak niet acceptabel is. Indonesische collega's dachten eerst dat dat niet kon, dat alleen de docent de microlessen van studenten kon bekritisieren. We hebben het toen geprobeerd door studenten eerst iets positiefs te laten noemen en dan iets "wat verbeterd zou kunnen worden". Al vrij snel lieten studenten dat positieve maar weg en moesten we dat als docenten zelf inbrengen. Doordat we als opleidingsteam controle hadden over 80% van het programma, konden we de methoden die we propageerden ook zelf in onze eigen natuur- en wiskundelessen toepassen.

Misschien klinkt dit vrij ideaal. In de praktijk waren onze eigen lessen toch vaak te klassikaal en kregen de studenten de wetenschap vaak teveel op een dienblad aangeboden. Aan de andere kant kwam ons "trademark" er wel goed uit, de nadruk op interactie, demonstraties en voorbeelden uit het dagelijks leven. Dat was vooral duidelijk in nascholingen waar onze alumni vaak duidelijk zichtbaar waren.

We (mijn vrouw Daday en ik) hebben geboft met onze uitzending. Ten eerste de gelegenheid 10 jaar te blijven, dat is zeldzaam. Ten tweede de uitstekende verhouding met prettige en zeer hard werkende Indonesische collega's aan een relatief goed functionerende universiteit met een briljant Indonesisch projecthoofd. Ten derde de perfecte begeleiding van de VU en de stimulerende interesse van de kerkelijke donororganisaties. Vaak is de situatie heel wat minder ideaal. Talloze buitenlanders hebben in Indonesië moeten leven met grote frustratie en weinig resultaat.

Waarom zijn we uiteindelijk toch teruggedaan terwijl we het zo naar de zin hadden? Verzelfstandiging eist nu eenmaal dat de buitenlanders weggaan wanneer alles goed loopt. Dat hoort bij het vak van ontwikkelingswerker!

III. Lesotho (Jon Ruijmschoot)

Behalve zeven en een half jaar in het Nederlandse onderwijs, bestaat mijn leservaring uit ruim drie jaar lesgeven in Zambia en zes jaar in Lesotho.

In Zambia heb ik van 1978 tot 1981 les gegeven in natuurkunde, scheikunde, biologie, gezondheidsleer en landbouwkunde aan een rijksschool met 1600 leerlingen. De bemiddelende organisatie was Dienst Over Grenzen (Zeist).

In Lesotho heb ik van 1987 tot 1993 lesgeven in natuurkunde in een brugcursus voor schoolverlaters in Lesotho die toegang proberen te krijgen tot de universiteit. Dit project werd gefinancierd door de EG en de Nederlandse Overheid en uitgevoerd als een samenwerkingsverband tussen de Universiteit van Lesotho en de Vrije Universiteit.

De situatie in het middelbaar onderwijs is in de meeste landen in Afrika buitengewoon zorgwekkend. Botswana is er misschien nog het beste aan toe omdat dat land enerzijds een relatief goede financiële positie heeft en anderzijds een goed onderwijsbeleid voert. In Lesotho en Zuid Afrika is de toestand zeer beroerd. In Lesotho, een land met bijna twee miljoen inwoners en 200 middelbare scholen, waarvan 100 met een bovenbouw, slagen jaarlijks slechts ongeveer vijftig leerlingen voor het eindexamen voor de beta richting, gemiddeld een halve leerling per school. Het niveau van het eindexamen, wat in Engeland (Cambridge) wordt nagekeken, is te vergelijken met HAVO 4 waarbij leerlingen met een "vier" al als geslaagd worden beschouwd en vervolgens

toegang krijgen tot de universiteit.

Eén van de redenen voor het abominabele lage niveau is dat 20% (één op de vijf!) van de leraren exacte vakken zelf voor het eindexamen was gezakt en toen wegens gebrek aan alternatief voor een hongerloon van rond de vijfhonderd gulden per maand kon gaan lesgeven omdat de betreffende school gewoon geen betere docenten kon krijgen. Een vervolgstudie aan de lerarenopleiding zit er voor deze 20% niet in. De uitval onder wel gekwalificeerde docenten is groot, velen trekken als gastarbeider naar Zuid-Afrika.

Voor een gediplomeerde docent bedraagt het salaris in Lesotho op het moment ongeveer duizend gulden per maand, zonder pensioen en andere zekerheden. Een bijstand bestaat niet, vandaar dat men doorgaans alles aanpakt wat men kan krijgen. Kosten voor voedsel en onderkomen zijn in Lesotho lager dan in Nederland. Kosten voor geïmporteerde goederen (tv etc.) zijn veel hoger. 's Winters kan het erg koud zijn in dit bergland en is verwarming noodzaak.

Het tekort aan leerkrachten is uiteraard om genoemde en nog vele andere redenen dan ook groot. Gezien het aantal scholen en het feit dat (gekwalificeerde) leraren gemiddeld zo'n vier jaar in het vak blijven zijn in Lesotho jaarlijks zeker 150 nieuwe leraren exacte vakken nodig. Van de lerarenopleiding en de Universiteit samen halen er jaarlijks ongeveer 30 het diploma, éénvijfde van het benodigde aantal!

Men kan zich dan ook wel voorstellen dat er een grote behoefte bestaat aan buitenlandse leraren, overigens niet alleen voor exacte vakken maar ook bijvoorbeeld voor het vak Engels. Probleem hierbij is dat buitenlandse leraren niet gemakkelijk te krijgen zijn en duur zijn vanwege de reiskosten en de salaris-eisen.

Al met al is de onderwijsproblematiek in deze landen vrijwel onoplosbaar, hetgeen zeer demotiverend is voor de lokale overheden en de samenlevingen als geheel. Geld voor goed onderwijs hebben de lokale overheden in volstrekt onvoldoende mate. Voor de middelbare school wordt in Lesotho *jaarlijks tweehonderd gulden per leerling* besteed (salarissen inbegrepen)! Geld voor demonstratie en practicum materialen en andere voorzieningen in de vaklokalen is er dan ook niet. Van alle 200 scholen zijn er slechts ongeveer 20 waar één, overigens niet opgeleide, "amanuensis" is. Verder zijn er slechts ongeveer vijf scholen waar wel eens wat wordt gedemonstreerd. Voor het lager onderwijs is de situatie nog veel erger terwijl daar juist de basis voor de ontwikkeling van de kinderen wordt gelegd.

Lesgeven in de natuurkunde is overigens in deze landen zéér motiverend. Ondanks het feit dat je voortdurend moet improviseren door tekort aan materiaal en er les dient te worden gegeven aan groepen van soms 50

leerlingen (ik heb wel eens een klas van 80 gehad in Zambia) zijn de leerlingen buitengewoon gemotiveerd en doen alle moeite te snappen wat er wordt uitgelegd. Ordeproblemen komen dan ook zelden voor. Wat belangrijk is, is juist hoe de natuurkundebegrippen moeten worden uitgelegd aan leerlingen die vaak uit een omgeving komen waar geen elektriciteit, stromend water, toilet enz. is, leerlingen die nooit de luxe hebben gehad met speelgoed zoals LEGO en puzzels te kunnen spelen of video te kunnen kijken, waarvan de ouders analfabeet zijn en geen begrip hebben van de moderne technische wereld. Een wereld die overigens onhoudbaar snel wel tot in de uithoeken van al deze landen door begint te dringen.

Het "traditionele" onderwijs heeft, trouwens net als in Nederland!, de neiging om natuurkunde te presenteren als een mystieke wereld die niets te maken heeft met de wereld om ons heen, met formules die je gewoon in je hoofd moet stampen. Problemen worden op de scholen dan ook opgelost door simpelweg de eerste de beste formule uit de kast te halen en toe te passen. Wat nu precies de betekenis is van bijvoorbeeld 5 m/s^2 of bijvoorbeeld 6 volt, of waarom er verschil is tussen kracht en massa en waarom een voorwerp versnelt als er een constante netto kracht op werkt en zo meer, dat komt nooit aan de orde, in veel gevallen omdat de docenten dat zelf ook niet weten. En dat maakt het lesgeven aan deze leerlingen juist zo leuk. Je niet te zeer bekommeren om al die formules maar juist proberen met veel geduld en op diverse manieren die begrippen (concepten) in de natuurkunde duidelijk te maken.

Zelf heb ik in die zes jaar ook bijscholing gegeven aan zo'n honderd van die 20% ongekwalificeerde leraren exacte vakken. Voor de meesten was het voor het eerst in hun leven dat ze zelf iets konden doen, zoals een elektrische schakeling met één lampje, één batterij en een schakelaar bouwen. Velen deden de eerste vijf minuten niet anders dan de schakelaar aan en uit doen! Daarna kwam natuurlijk het meer interessante probleem te snappen wat nu precies de ampère- en voltmeter meten en dergelijke.

Ook in Zuid Afrika zelf, waar de VU inmiddels is begonnen met een soortgelijke brugcursus exacte vakken, bestaat enorme behoefte aan scholen en docenten exacte vakken. De situatie is voor veel jonge zwarte leerlingen nog hopelozener dan in Lesotho. De kwaliteit van onderwijs voor niet-blanke kinderen is vele jaren als onderdeel van de apartheidspolitiek op een zeer laag en niet relevant niveau gehouden. Zeker enige miljoenen kinderen zijn hier slachtoffer van geworden. Men spreekt dikwijls van de verloren generatie. Hoewel velen in Nederland zeggen dat die blanken dat onderwijsprobleem zelf maar moeten oplossen omdat ze dat probleem zelf geschapen hebben, ben ik van mening dat de buitenwereld zich niet lijdzaam aan de zijlijn moet opstellen. Het aantal blanken is ongeveer vijf miljoen, terwijl het aantal zwarten ongeveer

30 miljoen bedraagt. Je kunt nu eenmaal niet verwachten dat die vijf miljoen in staat zullen zijn goed onderwijs te verzorgen voor alle meer dan 30 miljoen inwoners. Dat is net zoiets als eisen dat het Nederlandse onderwijsveld eens even de gehele Engelse bevolking goed onderwijs zal geven. Daar komt bij dat ook het onderwijs onder de blanken niet op "modern Europees niveau" ligt. Ik verwacht dan ook dat er na de verkiezingen op 27 april dit jaar op grote schaal leerkrachten van buiten Zuid Afrika zullen worden gerecrueteerd. Veelal zullen dit leerkrachten zijn uit andere Afrikaanse landen die om wat voor redenen liever in Zuid Afrika werken dan in eigen land. Maar ik verwacht ook veel vraag naar leraren uit met name Engeland, de VS en Nederland.

Al met al hoop ik dat velen in Nederland zich interesseren in de situatie in Afrika en besluiten beschikbaar te zijn om les te geven daar waar onderwijs nog veel harder nodig is dan hier in Nederland.

IV. Werkgelegenheid in natuurkundeonderwijs in de derde wereld

1. Middelbaar onderwijs: Een aantal nederlandse organisaties waaronder Dienst Over Grenzen (DOG) en het Komitee Zuidelijk Afrika (KZA) bemiddelt al ruim 25 jaar in de plaatsing van docenten aan middelbare scholen in diverse Afrikaanse landen. De Stichting Nederlandse Vrijwilligers heeft ook wel eens een passende positie voor een docent exacte vakken. Er zijn nog steeds landen waar een groot tekort is aan docenten exacte vakken. Dat tekort wordt dan aangevuld door docenten uit andere Afrikaanse en Aziatische landen en vrijwilligers uit Noord-Amerika en Europa. Het is zeer wel mogelijk dat ook Zuid-Afrika op korte termijn docenten zal moeten gaan recrutereren voor het zwarte middelbaar onderwijs. De laatste jaren is het aantal uitgezonden tamelijk constant. Wel vindt er een verschuiving plaats in de plaatsing. Meer docenten worden geplaatst in beroeps en tertiair onderwijs (polytechnics) of nascholingsprojecten, terwijl het aantal dat geplaatst wordt in middelbare scholen wat afneemt. Plaatsing in landen buiten Afrika (Azië, Zuid-Amerika) komt zelden voor. Veel landen verlenen geen werkvergunningen voor buitenlandse docenten in het middelbaar onderwijs.

Uitzendvoorwaarden gaan meestal uit van een lokaal salaris waaraan een Nederlands pakket van sociale en ziekteverzekeringen wordt toegevoegd. Voor nadere informatie over voorwaarden verwijzen we naar de genoemde organisaties.

De Engelse vrijwilligersorganisatie VSO heeft sinds enige tijd een afdeling in Nederland. VSO zendt veel docenten exacte vakken uit en naar een veel wijder gebied dan DOG en KZA (bijvoorbeeld ook naar Azië). De voorwaarden zijn echte vrijwilligersvoorwaarden. Onlangs stond er een aardig artikelje over het werk van VSO in *Onze Wereld* (Broere, 1994).

2. Tertiair onderwijs

- a. Elk jaar wordt een *klein* aantal posities in het tertiair onderwijs geadverteerd door Nederlandse universiteiten en hun partners in ontwikkelingslanden. Daarbij gaat het vooral om nascholingsprojecten voor docenten in het middelbaar onderwijs in een ontwikkelingsland en om brugcursussen om de overgang van middelbaar onderwijs naar universitaire programma's voor natuurwetenschappen te vergemakkelijken. Vooral de Vrije Universiteit is actief op deze gebieden en heeft enkele tientallen mensen in het veld. Ook enkele andere universiteiten (Groningen, Delft) hebben in het verleden docenten exacte vakken uitgezonden. Docenten met eerdere ervaring in ontwikkelingslanden hebben meestal de voorkeur in de selectie. Uitzendvoorwaarden zijn Nederlands, d.w.z. een Nederlands salaris, aangevuld met toelagen en verzekeringen.
- b. Ook DGIS (Directoraat Generaal voor Internationale Samenwerking van het Ministerie van Buitenlandse Zaken/Ontwikkelingssamenwerking) adverteert wel eens voor specialisten in onderwijs exacte vakken.
- c. Er zijn ook universiteiten uit ontwikkelingslanden die op de open markt adverteren en buitenlandse docenten werven op een lokaal of speciaal aangepast salaris. Dergelijke advertenties vindt men in bladen als de *Times Higher Education Supplement*.
- d. Tenslotte zijn er ook (buitenlandse) zendingsorganisaties die docenten exacte vakken zoeken. De Overseas Missionary Fellowship (OMF) zendt regelmatig mensen uit naar universiteiten in Azië. Dan gaat het vaak om mensen met een PhD of equivalente graad en theologische scholing.

3. Christelijke middelbare scholen: Soms zijn er aparte uitzendmogelijkheden via missie/zendingsorganisaties. Informatie is verkrijgbaar bij de diverse organisaties in Nederland (en eventueel andere Europese landen).

4. Internationale scholen: In vrijwel elk land zijn er internationale scholen voor de zoons en dochters van buitenlanders die er werkzaam zijn. Dergelijke scholen bevinden zich meestal in de hoofdsteden en enkele andere zeer grote steden. Arbeidsvoorwaarden zijn op internationaal niveau en er is een internationale organisatie van deze particuliere en zichzelf bedruipende scholen. Informatie kan ingewonnen worden via internationale scholen in Nederland (bijv. Amsterdam, Den Haag). Deze scholen hebben niets met ontwikkelingssamenwerking te maken, maar het zijn vaak wel interessante plaatsen om de interactie van allerlei culturen te ervaren.

5. Overige: Er zijn soms ook andere particuliere scholen die wel eens buitenlanders aannemen, bijvoorbeeld in India en Pakistan.

Literatuur/adressen

- Broere, M. (1994). De kracht van jong en vrijwillig.
Onze Wereld (maandblad uitgegeven door NOVIB),
januari 1994, 75-77.
- Frencken, H. (1988). *Voor de klas in Zimbabwe: Over de
geschiedenis van het onderwijs in Zimbabwe en
problemen in de lespraktijk*. Amsterdam: VU
Uitgeverij.
- Thijs, G.D., Berg, E. van den. (1993). Cultural factors in
the origin and remediation of alternative conceptions.
In: *Proceedings of the Third International Seminar on
Misconceptions and Educational Strategies in Science
and Mathematics*, Ithaca: Cornell University
(verkrijgbaar van auteurs).
- Dienst Over Grenzen: Zusterplein 22, Zeist, 03404-
24884.
- Komitee Zuidelijk Afrika: O.Z. Achterburgwal 173, 1012
DJ Amsterdam, 020-6270801.
- Dienst Ontwikkelingssamenwerking Vrije Universiteit:
020 - 548 5040 (nummer wijzigt per 1 juli 1994).

Interactieve video in de natuurkundeles

Werkgroep 29

*T. Ellermeijer &
W. van Elsacker*



De werkgroep is twee keer uitgevoerd met in totaal zo'n 30 deelnemers. Uiteraard was de tijd aan de krappe kant en maakten sommige deelnemers van de gelegenheid gebruik na afloop verder 'te spelen'.

We hebben geprobeerd de deelnemers de 'ins en outs' van (digitale) interactieve video te vertellen:

- de ontwikkeling van stand-alone beeldplaatapparatuur, via integratie van (analoog) videobeeld met de computer naar de digitale video;
- de noodzaak van compressie van het videobeeld van plm. 1 Mb per beeldje naar plm. 8 kb, niet alleen vanwege de opslag, maar ook nodig i.v.m. de grenzen aan de snelheid van het datatransport;
- dat wil je zelf video digitaal 'opnemen' je altijd hardware nodig hebt: de zogenaamde capture-card;
- en dat voor het 'afspelen' (en decomprimeren) tegenwoordig de keus is tussen een speciale hardware voorziening (delivery-board) of volledig door de centrale processor (bijv. Video for Windows).

We hebben twee 'platforms' laten zien:

- een IBM uitgerust met een MMotion card en gekoppeld aan een beeldplaatspeler: hierbij blijft de (analoge) videobron noodzakelijk. De beeldkwaliteit van deze oplossing is erg goed, de flexibiliteit minder: je kunt geen eigen video-opnames bewerken;
- een IBM uitgerust met een ActionMedia II kaart. Nu wordt de video realtime (30 beeldjes per seconde) gedigitaliseerd en gecomprimeerd (plm 150 keer). Van de mogelijkheden voor digitale video geeft deze kaart de beste resultaten. Ook het 'afspelen' wordt verzorgd door speciale chips op de kaart en gebeurt full-screen en met 30 beeldjes per seconde.

De experimentele video module van IP-Coach ondersteunt beide platforms. Vanaf de 'video-clips' kan worden gemeten: x- en/of y-richting en tijd. Dit kan nadat een ijking en nog wat andere instellingen hebben plaatsgevonden.

Na enkele demonstraties reageerden de deelnemers zeer positief over de didactische mogelijkheden. De reeds vele beschikbare videoclips gaven een goede indruk van de activiteiten die leerlingen zouden kunnen doen. Ook werd enige tijd gekeken en gesproken over in een onderzoeksproject ontwikkeld lesmateriaal voor kinematica. In dit materiaal wordt leerlingen een roulatiepracticum aangeboden met traditionele experimenten, metingen met Coach, modellingsactiviteiten en metingen aan Video met verwerking in Coach.

Uiteraard werd ook gevraagd naar de beschikbaarheid van e.e.a. in de (nabije) toekomst.

Naar onze mening is de weg via beeldplaat voor Nederland niet meer verstandig. De mogelijkheden voor digitale video zullen in de komende jaren vrij snel goed haalbaar zijn. Zeker als er geen aparte hardware meer nodig is voor de decompressie en bijvoorbeeld veel videoclips kunnen worden aangeboden op relatief goedkope CD-ROM's.

Docenten Informatie Systeem (DIS)

Werkgroep 30

H.A.J. Verstappen

Het NIMON-project betekent Nieuwe Media voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen. Het is een SLO-project en is bedoeld om voorbeelden te krijgen op leerplanniveau van de integratie van leeractiviteiten met behulp van nieuwe media.

"Vaardigheden en planning" is een deelproject van NIMON en wel een praktijkstudie in de zin dat de beschrijving tot stand komt door een beproeving in de praktijk.

Het deelproject maakt gebruik van DIS, een softwarepakket van Mobius-software.

Uitgangspunten DIS

De opzet van DIS is:

1. systematisch meer informatie verzamelen uit toetsen
2. deze informatie beheersbaar, dus overzichtelijk maken met als oogmerk:
 - a. Beter feedback naar leerlingen/ouders voor beter resultaat.
De feedback moet uiteraard een cijfer opleveren maar ook hoe je dat cijfer kunt verbeteren. Daartoe moet dus een beter inzicht in de mogelijkheden en de ontwikkeling van leerlingen gegeven worden.
 - b. Beter feedback naar docent voor beter onderwijs door:
 - beheersbare planning: zie verder
 - kijk op vaardigheden: zie verder
 - gemakkelijke en valide registratie van variabelen.
 - c. Als je de werkzaamheden hetzelfde laat, mag gebruik van DIS niet meer tijd kosten.

Dit deelproject van NIMON richt zich op twee aspecten van het lesgeven:

- planning

Lesvoorbereiding bestaat voor een gedeelte uit plannen. Tijdens een schooljaar moet een aantal activiteiten uitgevoerd worden. In het begin van het schooljaar

plant een docent: welke onderwerpen worden behandeld en hoeveel lessen staan er voor elk onderwerp? Meestal is daarna de gang van zaken dat er beginnen wordt en dat men op het einde van het jaar ziet hoever men gekomen is. We willen onderzoeken of het met DIS mogelijk is om de planning beheersbaar te maken. Eerst wordt het aantal lessen per onderwerp, de jaarplanning en het rooster van de docent ingevoerd. En direct ziet men of men lessen genoeg heeft of niet. In het begin van het jaar kan men dan al inkorten op onderwerpen die men zelf wil, in plaats van altijd het laatste. Zodra zaken als ziekte, roosterwijzigingen, meer tijd nodig voor een onderwerp, oorzaak zijn voor een tekort aan lessen, wordt men gewaarschuwd en kan men kijken wat er aan te doen valt.

- ontwikkeling van vaardigheden

Bij de evaluatie van het curriculum voor de leerlingen baseert men zich op cijfers en intuïtie. Wij willen nagaan of het met DIS mogelijk is de ontwikkeling van een aantal vaardigheden (bijvoorbeeld probleemoplossende en practicumvaardigheden) bij leerlingen zichtbaar te maken. Op deze manier kan bij het voorbereiden van lesactiviteiten meer rekening worden gehouden met verschillen tussen leerlingen. Bovendien wordt rapportage aan leerlingen en ouders overzichtelijker, vollediger en dus zinvoller.

Tijdens de werkgroep is een demonstratie van het softwarepakket gegeven en hoe de praktische invulling van het project heeft plaatsgevonden.

Tenslotte zijn de resultaten van een kleine enquête besproken:

Hieruit blijkt dat om met het pakket te kunnen omgaan een normale leertijd nodig is en dat de doelstellingen van het pakket redelijk tot goed bereikt worden. Het pakket is daarbij door alle vakken in het voortgezet onderwijs te gebruiken. Als totaalcijfer werd gemiddeld een 9 gescoord.

Toetsing in de basisvorming

Werkgroep 31

H. Bruijnesteijn



Afsluiting van de basisvorming

De door de minister ter beschikking te stellen toetsen, worden door het Cito ontwikkeld. De opzet van de afsluitende toetsing ziet er als volgt uit:

1. Drie schriftelijk toetsen van ieder één lesuur, waarbij de domeinen over de toetsen verdeeld worden.
2. Een practicumtoets, die twee lesuur beslaat.

In de *schriftelijke toetsen* worden kennis, inzicht en schriftelijk te bevragen vaardigheden toepassingsgericht getoetst. Een toets zal daarom bestaan uit ongeveer vijf situatiebeschrijvingen, die elk de context vormen voor ongeveer vijf (open en gesloten) vragen. In totaal dus een toets van ongeveer 25 vragen/opdrachten.

De *practicumtoets* bestaat uit ongeveer drie opdrachten, die in de vorm van een carroussel (met acht à tien opstellingen per opdracht) kunnen worden uitgevoerd.

Voor het *vakgebied "Natuur"* (natuur-/scheikunde én biologie) komt een aparte afsluitende toetsing, die logischerwijs omvangrijker zal zijn. Deze toetsing zal onderdelen van toetsing van de aparte vakken bevatten, maar ook onderdelen waarin de integratie van de vakken tot zijn recht komt.

Naast de afsluitende toetsing van het ministerie is de school vrij ook *eigen toetsen* bij de afsluiting te betrekken. Daarvoor kunnen naast 'gewone' proefwerken ook alternatieve toetsvormen worden gebruikt.

De vorm van de totale afsluiting van de basisvorming kan door de school zelf gekozen worden en behoort derhalve tot het *schoolbeleid*. Het geheel zal in het schoolwerkplan (en per vak in het vakwerkplan) beschreven moeten worden. De resultaten van de toetsing moeten in de verslaggeving naar de inspectie opgenomen worden.

Verandering in het toetsen

In de basisvorming wordt het accent op toepassingen, vaardigheden en samenhang gelegd. Dit heeft consequenties voor de manier van toetsen. Het toetsinstrumentarium van scholen voor het vak natuur- en scheikunde zal verbreed moeten worden.

Er zal in de opgaven een verschuiving plaatsvinden van schoolgebonden contexten naar maatschappelijke contexten. De vaardigheden uit Domein A, zoals "een beargumenteerde mening kunnen weergeven" en "een relatie kunnen leggen met de praktijk van beroepen" zullen ook getoetst moeten worden.

Maar ook de toetsing van de algemene doelstellingen van de basisvorming zullen voor een sectie een belangrijke rol gaan spelen. Zo zullen "een presentatie van de resultaten van een slotwateronderzoekje van een groepje van vier leerlingen" of "het gegevens verwerken met behulp van de computer" getoetst en beoordeeld moeten worden.

Het beoordelen zal een ruimere betekenis krijgen. Het toetsen in het algemeen zal meer gebruikt worden bij de begeleiding en advisering van leerlingen en minder voor een constante selectie. De advisering zal zich er op richten elke leerling na de basisvorming op de juiste schoolsoort en afdeling te krijgen. Over het voorkómen van het zitten blijven moet nadrukkelijk worden nagedacht.

Samenhang aanbrengen tussen vakken kan naast informatie-uitwisseling of afstemming van leerstof ook vakoverstijgende activiteiten zoals bijvoorbeeld een gezamenlijke lessenserie of een schoolbreed project betekenen. Het uitvoeren en de resultaten van deze activiteiten moeten ook beoordeeld worden. Samen doceren betekent samen evalueren. Met collega's samen het werk en het werken van leerlingen beoordelen zal voor velen nieuw zijn.

Tenslotte moeten leerlingen in de basisvorming leren aan de hand van criteria hun werk zelf te beoordelen. Het (met de leerlingen) opstellen van deze criteria en het bespreken van de zelfbeoordeling van de leerling zijn beoordelingsvormen die in het onderwijs tot nu toe verre van ingeburgerd zijn.

Alternatieve toetsvormen.

Veel van de huidige proefwerken en repetities zijn vooral gericht op het reproduceren van kennis en het toepassen van inzicht. In de kerndoelen en de algemene doelstelling van de basisvorming komen een groot aantal vaardigheden aan bod. Sommige van deze vaardigheden kunnen niet op de traditionele manier van schriftelijke proefwerken getoetst worden. Het gaat hier met name om het bereiken van doelen die samenhangen met persoonlijke ontwikkeling, maatschappelijke vorming, beroepskeuze en de daarbij horende communicatieve en sociale vaardigheden. Ook het toetsen van het werken met de computer of het doen van een onderzoek vereisen een andere manier van toetsen.

Beoordeling bij andere toetsvormen.

In de vakken natuur- en scheikunde (en biologie) is de laatste decennia al veel ervaring opgedaan met het beoordelen van proefverslagen, werkstukken, excursieverslagen, presentaties en practicumopdrachten, waaronder het praktisch schoolonderzoek. Deze tendens zal zich in de basisvorming met het accent op toepassing en vaardigheden doorzetten.

Niet alleen het leerresultaat, maar ook het leerproces wordt begeleid en beoordeeld. Bij deze beoordeling zijn de criteria minder hard en minder doorzichtig, maar dat maakt de beoordeling en de begeleiding niet minder waardevol. Voorbeelden van andere toetsvormen zijn:

- de uitvoering van practicum observeren aan de hand van tevoren opgestelde criteria
- beargumenteerde meningen beoordelen op hun consistentie
- de samenwerking in een groepje beoordelen op grond van observatie en aan de hand van een vantevoren afgesproken taakverdeling.

Toetsen met maar gedeeltelijk toezicht en beoordelen met mindere harde en minder doorzichtige criteria brengen andere beoordelingsnormen met zich mee. Cijfergeving, aan de hand van te voren vastgestelde criteria, is niet onmogelijk, maar kan bij onvergelykbare uitwerkingen een hachelijke zaak worden. De volgende beoordelingen behoren dan tot de mogelijkheden:

- "naar tevredenheid uitgevoerd"
- "voldoende, maar op die en die punten nog aanvullen"
- "zeer behoorlijk werk"
- "goed, maar vat de resultaten nog eens in een schema samen!"
- "onvoldoende, volgende week overdoen en dan moet je die en die punten verbeteren".

De 'gewone' proefwerken

De kernverandering van de basisvorming voor het vak natuur- en scheikunde is dat kennis, inzicht en vaardigheden toepassingsgericht aangeleerd moeten worden. Het vak niet als doel, maar als middel. Het vak als gereedschap om iets met die kennis, inzicht en vaardigheden in andere vakken, maar vooral buiten de school te kunnen doen. Of deze doelstelling bij leerlingen is bereikt, kan

alleen getoetst worden met opdrachten in een context. Een context in de betekenis van een voor een leerling herkenbare praktijksituatie uit het dagelijks leven. Deze praktijksituatie moet in de toets eventueel met behulp van illustraties beschreven worden. Uit deze situatiebeschrijvingen halen leerlingen informatie, waarna ze met hun kennis, inzicht en vaardigheden vragen moeten beantwoorden en opdrachten moeten uitvoeren. De contexten zijn geen doel op zich. Ze moeten ertoe leiden dat de geleerde natuur- en scheikunde beter bruikbaar wordt gemaakt, toepasbaar in concrete situaties. Dit alles stelt eisen aan de contexten voor een proefwerk.

Wat maakt contexten geschikt voor opname in een toets?

Bij het zoeken naar geschikte contexten voor een toets kan men op de volgende punten letten:

1. *Is er wel sprake van een praktijksituatie?*
Functioneert de natuur- en scheikunde in deze praktijksituatie of is de praktijksituatie er met de haren bijgesleept en functioneert hij alleen maar als lokkertje?
Kan de praktijksituatie nu beter worden begrepen met behulp van de natuur- en scheikunde?
2. *Is de praktijksituatie herkenbaar voor (alle) leerlingen?*
Dit herkenbaar zijn hoeft niet altijd direct de leefwereld te betreffen, maar mag ook op de belevingswereld of fantasiewereld betrekking hebben (b.v. een onbewoond eiland, een ruimtereis, tropisch regenwoud, de woestijn, e.d.).
Met herkenbaar voor alle leerlingen wordt bedoeld: herkenbaar voor zowel meisjes, als jongens, als allochtone leerlingen. Niet elke praktijksituatie zal aan deze eis kunnen voldoen, maar er kan wel gekeken worden of in een toets alle praktijksituaties bij elkaar aan deze eis voldoen!
3. *Is de praktijksituatie wel realistisch beschreven?*
Daarmee wordt niet bedoeld of alle details zijn gegeven maar of de situatie wel bestaat en niet te veel van de werkelijkheid afwijkt.
4. *Is de praktijksituatie niet te complex?*
Met andere woorden is de natuur- en scheikunde nodig om de praktijksituatie beter te begrijpen niet te moeilijk? Vaak is de praktijk ingewikkelder dan het model waarmee de natuur- en scheikunde de praktijk beschrijven. De context werkt dan verwarrend in plaats van verhelderend.
5. *Is de praktijksituatie niet te overdadig beschreven?*
De context is dan te vet. De leerlingen zien door de bomen de natuur- en scheikunde niet meer, doordat er te veel afleidende details worden gegeven of dat er erg veel tekst wordt gebruikt.

.....

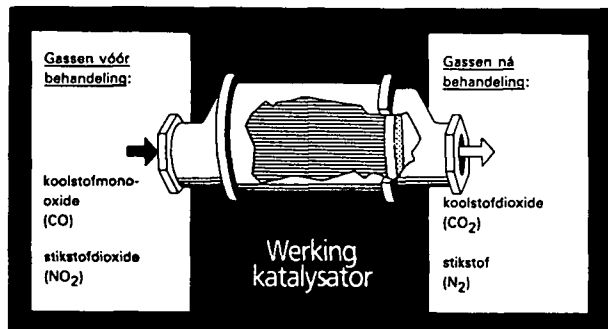
Het volgende voorbeeld van een geschikte context komt uit een CD-examen scheikunde:

Hieronder staat een gedeelte uit de uitgave 'De auto met katalysator' van het ministerie van Volksgezondheid:

Hoe werkt zo'n katalysator

De werking van een katalysator is moeilijk in een paar woorden uit te leggen. Het komt er op neer dat de verbrandingsgassen een nabehandeling ondergaan, waardoor schadelijke gassen worden omgezet in onschadelijke gassen.

In figuur 5 is één van de reacties die in de katalysator optreedt schematisch weergegeven.



Geef de vergelijking van de reactie die in figuur 5 schematisch is weergegeven.

Aan de vragen in een contextopgave moeten nog de volgende eisen gesteld worden.

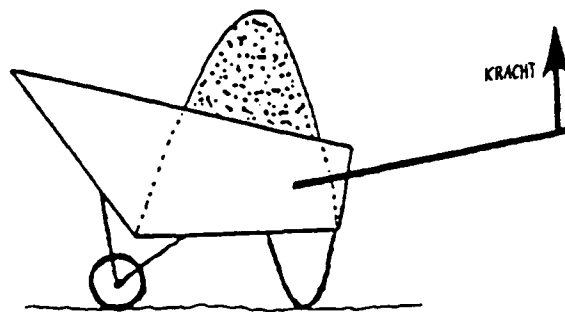
1. Is natuur- en/of scheikundige kennis nodig om de vraag te beantwoorden?

Bij het gebruik van herkenbare praktijksituaties (contexten) is het denkbaar vragen te stellen, die ook zijn te beantwoorden zonder natuur- of scheikundige kennis. Op zichzelf is af en toe een dergelijke vraag er tussendoor geen probleem, maar het is wel van belang dat de toetsconstructeur zich van deze kwaliteit van de vraag bewust is. Beter is dat dit soort vragen niet te veel en niet los van echte contextvragen gesteld moeten worden: alleen als aanvulling, als bijdrage van de natuur- en scheikundelessen aan algemene vorming van de leerlingen. Het voorbeeld hieronder van een dergelijke vraag komt uit de "voorbeeldopgaven afsluitingstoetsen basisvorming", voorbeeld 4: "Remmen in de mist":

Vraag 2: "Hoe komt het dat de remweg op een nat wegdek langer wordt?"

2. Is het taalgebruik bij de situatiebeschrijving en in de vraagstelling niet te moeilijk, te veelomvattend en/of verwarrend.

Deze eis aan "taal in het onderwijs" is niet nieuw, maar blijft altijd actueel. Zoals uit het volgende voorbeeld uit het boekje "Werken met Contexten" blijkt:



Men legt de lading in de kruiwagen meer naar links. Wat heeft dat voor gevolg voor de kracht waarmee je moet tillen?

Sommige leerlingen antwoorden: "je moet dan met je linkerhand meer kracht geven omdat de kruiwagen anders naar links omvalt."

Voor deze leerling was het vanzelfsprekend dat de vraag was gesteld vanuit het perspectief van iemand die zelf een kruiwagen tilt en niet vanuit dat van iemand die er van opzij tegenaan kijkt.

Waar zijn geschikte contextopgaven te vinden?

Sinds de invoering van het nieuwe CD-examenprogramma Natuurkunde met zijn expliciete aandacht voor context(gebieden) is het construeren van goede contextopgaven van de grond gekomen.

In CD-examens natuur- en scheikunde komen steeds meer goede contextvragen voor.

Ook methoden proberen steeds meer dit soort opgaven in de herhalingsopgaven voorbeeldproefwerkopgaven en/of toetsbundels op te nemen. Hiervoor geldt echter dat veel vragen louter de berekening van krachten, drukken, energieën, stroomsterktes en spanningen omvatten, zonder dat de uitkomsten op een voor leerlingen relevant gemaakte vraag antwoord geven.

Er zijn veel contextvragen te vinden in het boek "Natuurkunde in de praktijk getoetst" (NIB). Dit boek bevat een selectie van opgaven van Plon-examens voor de mavo in de periode 1978-1987. De ideeën voor de vragen zijn aardig, maar een aantal vragen zijn moeilijk, bijvoorbeeld doordat de gevraagde stappen groot zijn of dat van leerlingen veel praktisch inzicht wordt gevraagd.

Verder kan verwezen worden naar de periodieken "Exactueel" en "Chemie Aktueel" die krantenartikeltjes of folderartikeltjes voorzien van vragen en opdrachten, zodat het materiaal meteen in de klas bruikbaar is. Misschien niet direct voor toetsdoeleinden, maar op zijn minst om ideeën voor geschikte contexten op te doen.

In de eerste delen van de nieuwe methoden voor de basisvorming komen goede contextvragen nog mondjesmaat voor. Je ziet nog veel schoolpracticumsituaties en geen praktijksituaties. Toch is er de tendens van de verschuiving van schoolgebonden contexten naar praktijkcontexten. De voorbeeldopgaven van het Cito hebben de trend gezet en de verschuiving gaat verder.

Zelf opgaven maken

Bovenstaande heeft duidelijk gemaakt dat niet alle opgaven die in een methode staan, geschikt zijn om in een toets op te nemen. Voor het samenstellen van goede toetsen is zeker in het begin tijd nodig. Goed georganiseerde samenwerking in de sectie kan dit probleem (voor een deel) oplossen.

Ook is het verstandig bij het lezen van kranten, tijdschriften, (reclame)folders, brochures, etiketten e.d. de schaar bij de hand te hebben. Maak ook eens wat foto's van situaties in de school, de omgeving van de school, in de woonplaats of van thuis. De vragen komen dan later wel, soms is het zo dat één en dezelfde context een hele serie verschillende vragen mogelijk maakt, vanuit verschillende onderwerpen. Ook de uitgevers van de methoden zullen hier hulp kunnen bieden via aanvullend toetsmateriaal, periodieken en gebruikersbijeenkomsten. Toetsmateriaal op schijf zal een nieuwe trend worden.

Bovenstaande maakt ook duidelijk dat het van belang is een (zelfgemaakte) toetsopgave aan een kritische beschouwing te onderwerpen. Onderstaande checklist kan daarbij behulpzaam zijn. Elke docent kan voor haar/zijn eigen onderwijssituatie er punten aan toevoegen, want iedere specifieke groep leerlingen stelt soms specifieke eisen aan 'goede' opgaven.

- is het een context die leerlingen aanspreekt?
- is het een context uit de belevingswereld of ervaringswereld van de leerlingen?
- spreekt de context of het totaal aan contexten meisjes, jongens en allochtone leerlingen min of meer evenveel aan?
- is de vraagstelling realistisch?
- is de context een echte praktijksituatie?
- is de context niet te complex, te veelomvattend?
- is de context niet te overdadig beschreven?
- toetst de opgave natuur- en/of scheikunde?
- is het taalgebruik eenvoudig genoeg?
- zijn er relevante illustraties toegevoegd of toe te voegen?
- is de opgave eenvoudig te scoren?
-
-

Beleid

De basisvorming met zijn vele vakken, nieuwe doelstellingen, niveauproblematiek, adviesprocedures, doorstroomproblematiek en afsluitingsprocedures vereist een grondige en consistente aanpak van de toetsing in de vakken door de jaren heen. Toetsing dient daarom deel uit te maken van het schoolbeleid.

Om een volledig overzicht te krijgen over de gehele problematiek en om keuzen te kunnen maken is een goede wisselwerking tussen sectie en schoolleiding essentieel.

In het kader van de basisvorming zijn scholen verplicht aan een schoolwerkplan en een jaarlijkse rapportage te werken. De keuzen ten aanzien van toetsen zullen daar een onderdeel van uitmaken. Daarin zullen zaken geregeld

worden rond de afsluiting van de basisvorming, zoals:

- hoe en wanneer wordt de basisvorming afgesloten?
- welke toetsen en toetsvormen worden naast de verplichte afsluitende toetsen gebruikt?
- hoe worden de leerlingresultaten beoordeeld en de score van de verplichte toetsing gewaardeerd?
- welke herkansingsmogelijkheden zijn er?

De natuur- en scheikundesectie heeft in eerste instantie de handen vol met het nieuwe vak, het opzetten van een (nieuw) practicum, het maken van (nieuwe) toetsen, het ontwikkelen van nieuwe toetsvormen en eventueel het invoeren van een nieuwe methode. Het door uitgevers en leermiddelenleveranciers geleverde materiaal moet geschikt gemaakt worden voor de eigen school.

Daarnaast moet de sectie ook meedenken over het toetsbeleid op schoolniveau, waaronder de afsluitende toets van de basisvorming. Hierbij kunnen de volgende vragen worden gesteld:

- wanneer zijn voor natuur- en scheikunde de kerndoelen afgerond?
- is dat voor alle leerlingen op hetzelfde moment?
- gebruiken we naast de verplichte opgaven nog andere toetsen?
- hoe interpreteren we de toetsresultaten van de leerlingen?
- hoe organiseren we de gehele toetsing in de school?
- verandert de manier van rapporteren in de school?
- welke rol speelt het vak bij tussentijdse advisering?
- welke nieuwe toetsvormen pakken we het eerst aan?

Het is van belang dat alle betrokkenen geïnformeerd worden over het geformuleerde toetsbeleid en de gekozen organisatievorm. Vooral leerlingen, maar ook ouders behoren op de hoogte zijn van zaken als jaarplanning, toetsvormen, beoordelingswijzen, scoringsregelingen, waarderingswijzen en de manier van rapporteren. Er komt, en niet alleen op het gebied van toetsen, veel op de sectie af. Het lijkt zinvol niet teveel tegelijk aan te pakken en verschil te maken tussen lange termijnbeleid en een plan van aanpak voor het eerstvolgend schooljaar.

Steun van het APS.

Het samenwerkingsverband natuur- en scheikunde, waarin het APS samenwerkt met de Hogescholen, Cito en SLO, zal via nieuws- en informatiebrieven zorgen voor verspreiding van informatie over toetsen en toetsing in de basisvorming.

Op door het APS georganiseerde conferenties, zoals de Koppelconferenties en de Reehorstconferentie, zullen werkgroepen worden georganiseerd met als onderwerp toetsen, toetsvormen en contexten in toetsen.

Daarnaast zal in het schooljaar 93-94 een toetsenbundel voor de eerste jaren van de basisvorming worden samengesteld, waarin allerlei nieuwe, maar ook "oude" toetsvormen worden opgenomen.

Tenslotte

De soms heftige discussies die losbarsten als toets- of examenvragen besproken worden, geven aan dat toetsen een belangrijke plaats in de vernieuwing van het onderwijs innemen. De problemen die worden ervaren bij het bedenken, opstellen en beoordelen van nieuwe toetsopgaven zijn deels nieuw. Het zoeken naar oplossingen voor dit soort problemen vereist opnieuw inzicht krijgen in de doelen van het onderwijs in de basisvorming. Mede door de ontwikkeling van goede toetsen kan dit onderwijs concreet gestalte krijgen.

Bronnen

1. Werken met contexten in het Natuurkunde Onderwijs, H.M.C. Eijkelhof e.a., uitgeverij NIB, Zeist, 1989.
2. Voorbeeldopgaven Afsluitingstoetsen Basisvorming, CITO, mei 1993.

Verder lezen en bestellen:

Chemie Aktueel, een jaarabonnement (drie nummers) kost f 10,-. U kunt zich abonneren bij het KPC, Informatie dienst, Postbus 482, 5201 AL Den Bosch

Exactueel, Theo Smits, Katholieke Universiteit, Toernooiveld 1, 6526 ED Nijmegen, tel. 080 - 652819 (van 9.00 - 12.00 uur)

Bio-Aktueel, Jan Marijnissen, Katholieke Universiteit, adres en tel. als bij Exactueel.

Drie basisvormingsmethoden Natuur- en Scheikunde: Direkt, Mix en Scan

Werkgroep 33

H. v. d. Veen

Op de meeste scholen zal het overleg binnen de secties natuurkunde en scheikunde nu in het teken staan van de integratie van deze vakken in de onderbouw; een integratie die voortkomt uit de wet op de Basisvorming.

Basisvorming: één set kerndoelen voor alle leerlingen.

Toepassingen, vaardigheden en samenhang: voor elke docent én leerling de uitgangspunten voor alle vakken in die onderbouw.

Na de zomervakantie doet de basisvorming z'n intree in de tweede klassen. Op de meeste scholen betekent dat dat daarmee voor het eerst het nieuwe vak natuur- en scheikunde op de tabel zal staan. Daardoor zullen de traditionele natuurkunde- en scheikundemethoden op slag verouderd zijn.

Wolters-Noorhoff heeft daarom nu met **Mix**, **Direkt** en **Scan** geïntegreerde natuur- en scheikunde-methoden beschikbaar. Die methoden hebben onderling zowel overeenkomsten als duidelijke verschillen.

De overeenkomsten tussen **Mix**, **Direkt** en **Scan** zijn ontstaan, omdat ze alle drie ontwikkeld zijn voor de basisvorming.

Die overeenkomsten zijn:

- alle kerndoelen komen aan de orde, zowel de kennis als de vaardigheden,
- natuurkunde en scheikunde worden geïntegreerd aangeboden,
- de aansluiting met de bovenbouw wordt gegarandeerd, zowel qua kennis als qua niveau,
- de heldere structuur, die zowel houvast als vrijheid geeft,
- steeds wordt uitgegaan van context en experimenten,
- de methodes zijn compleet; dat wil zeggen met voldoende ondersteunend materiaal,
- bij elke methode zijn speciaal voor die methode Cito-toetsen ontwikkeld.

Vanzelfsprekend zijn er ook verschillen. Verschillen omdat elke docent(e) zijn/haar eigen lesstijl heeft, en omdat klassen en leerlingen verschillen. Daarom is er voor elke vakvrouw of vakman een geschikt WN-gereedschap: **Direkt**, **Mix** of **Scan**.

In **Direkt** staat de kennis centraal. Via kleine, duidelijk omschreven stappen worden de leerlingen naar een opmerkelijk niveau geleid. De taal die daarbij gebruikt wordt, is kort en bondig, zonder omhaal. De belangrijkste (tussen)conclusies zijn duidelijk in de paragrafen herkenbaar. De kennis kan ingeoeffend worden door middel van tal van vragen: van eenvoudige reproductie-vragen tot meer open vragen. Zo kunnen leerlingen vanuit de kennis begrip opbouwen.

Direkt is geschreven voor vbo/mavo en voor brede scholengemeenschappen.

Mix is een methode voor brede scholengemeenschappen en voor alle soorten categorale scholen: van vbo tot vwo. Elke paragraaf start na een motiverend intro met een aantal proeven over onderwerpen die herkenbaar zijn voor leerlingen. Vanuit de waarnemingen wordt daarna uitgelegd hoe de theorie in elkaar steekt. In dat samenspel tussen experiment en theorie komen zowel begripontwikkeling als kennisverwerving aan bod. **Mix** biedt een grote variatie aan vragen: reproductie- en toepassings-gericht, van eenvoudige tot duidelijk moeilijker. **Mix**, in alle opzichten een evenwichtige methode.

Scan is een natuurwetenschappelijke methode die gebaseerd is op begripvorming. Dat begrip wordt opgebouwd als leerlingen zelf bezig zijn met de (open geformuleerde) proeven. Daarna wordt de theorie kort en bondig neergezet. Bij eigenlijk alle vragen wordt gevraagd om dat begrip en die kennis toe te passen in een context. **Scan**, voor mavo, havo en vwo.

Zo is er voor elke sectie minstens één methode die uitstekend bij u en uw leerlingen past.

