

WOUDSCHOTEN

'97

# *Natuurkunde en gezondheid*

# **Verslag Woudschoten Conferentie 1997**

**Werkgroep Natuurkunde-Didactiek**

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

**Bestuur**

**Voorzitter: H.M.C. Eijkelhof**

**Penningmeester: J. Kortland**

**Leden: M. Bollen**

**F. Budding**

**J. Hellemans**

**G. Munters**

**M. Vloemans**

**P.J. Wippoo**

**Verslag**

**Redactie: J. Kortland, F. Budding, G. Munters**

**Typewerk/layout: J. Andriese, W. van Eijsden**

**Foto's: J.J. Wijnmalen**

**Omslag: Brouwer, Utrecht**

# Inhoud



## Inhoud

### Programma

#### Voorwoord

1

### Lezingen

#### Medische apparatuur in de gezondheidszorg

*S.R. Vaartjes*

5

Fysieke ergonomie thuis, op school en tijdens het werk *C.J. Snijders*

9

Echo-Doppler technieken in de geneeskunde

*J.M. Thijssen*

13

Fysica van spraak en gehoor *J. Wouters*

21

Biofysica-onderwijs: méér dan alleen natuurkunde-onderwijs *C.J. Erkelens*

27

Kunstledematen *L.J. Peeraer*

29

Opkomst van Diode Lasers in de geneeskunde

*R.M. Verdaasdonk*

33

Fiber delivery systemen voor medische laser-toepassingen *R.M. Verdaasdonk*

39

Medische aspecten van de ruimtevaart *A. Kuipers*

45

Ioniserende straling in en rondom ons *A.J.J. Bos*

53

## Wergroepen

1. Hoe blijf je gezond met Algemene Natuurwetenschappen *L. Heimel & A. Teekens-Veldkamp* 59
2. Zien met twee ogen: het schatten van afstand en richting uit twee gezichtspunten *C.J. Erkelens* 60
3. Wijs of onwijs wijzen!? *E.J. Nijhof* 61
4. Tastillusies *A.M.L. Kappers & I.M.L.C. Vogels* 64
5. HBO Technische Natuurkunde neemt bezit van de ziekenhuizen *F. Bouts* 67
6. Ergonomie als context voor binas-lessen *H. Poorthuis & E. Scheringa* 68
7. Cochleair implantaat of kunstbinnenoor *J. Wouters* 69
8. Internettoepassingen in het natuurkunde-onderwijs *R. van der Weijden* 71
9. De handen van Madame Curie *M. Bruinvels* 74
10. MRI, Röntgen en Ultrageluid scanners *R. Boxstart, A. Lindeman, W. Overlaet & A. Voorpool* 75
11. Natuurkunde en Optiek *A.M. Laclé* 76
13. Medisch-biologische modellen *G. Munters* 77
14. Lesmateriaal Medische Technologie *W. Vriend* 78
15. Werken met Science Workshop *E. Campen & E. van der Laan* 79
16. Newton, de methode natuurkunde voor de tweede fase *H. Lensink* 80
18. Informatie over ICT *M. van Os & L. Heimel* 81
21. Het examendossier *P. van Wijlick* 82
22. Werken aan vaardigheden/omgaan met informatie *P. Noordzij* 84
23. Leren meten met Coach Junior *P. Molenaar* 85
24. Technisch ontwerpen in de tweede fase *C. de Beurs & P. Over* 87
25. Object-georiënteerd onderwijs *R. Slagter & F. Wolters* 90
26. Paragraafvragen, -schema's en -puzzles: hoe zetten we leerlingen aan het leren? *J.W. Drijver, A.J. Mighielsen & H.S. Wielenga* 93

27. Systematisch reflecteren <i>H. Vos</i>	95
29. Natuurkunde in het studiehuis <i>F.L. Gravenberch</i>	97
30. Het toestel van Atwood met IP Coach <i>H. Joosten</i>	98
32. Science across Europe en natuurkunde <i>L. Schoen &amp; K. Tijdink</i>	99
34. ElektriX - een simulatie-omgeving op de computer <i>C.H.T. Mulder</i>	101
35. Het toetsen van ICT-vaardigheden in onderzoek doen <i>C.H.T. Mulder</i>	104
36. ICT, vaardigheden en zelfstandig leren in het studiehuis <i>P. Geerke &amp; J. Louwes</i>	108
37. Onderwijzen van onderzoeksvaardigheden, dat moet je eerst leren <i>J. Buning &amp; P. Dekkers</i>	110
38. Natuurkunde Overal in de tweede fase <i>E. Wijnhoven &amp; K. Walstra</i>	113
39. Coach Junior en het TI CBL systeem <i>V. Dorenbos</i>	114
Marktinformatie practicummateriaal	
Deelnemerslijst	123

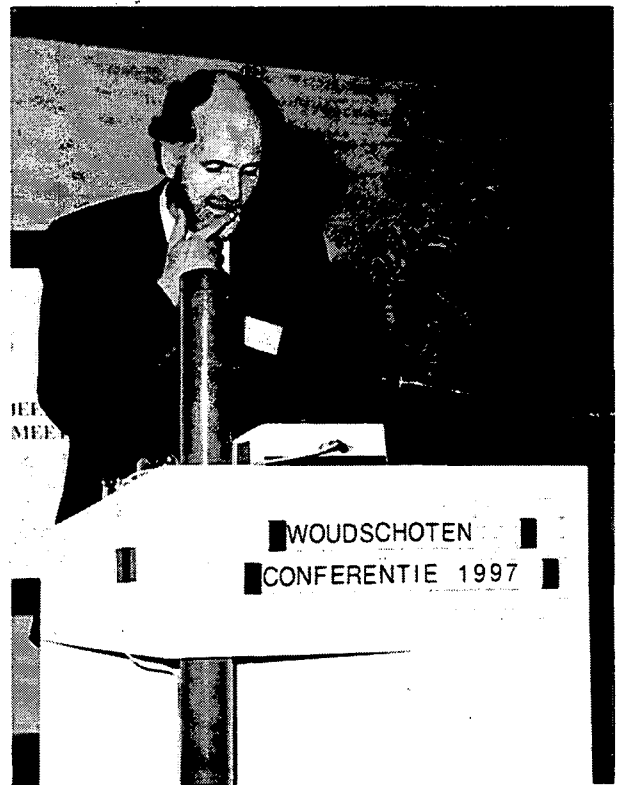


# Programma

## 32e Woudschoten Conferentie

*Vrijdag 12 december*

- 12.30 - 14.00 uur    Ontvangst
- 14.00 - 14.10 uur    Opening van de conferentie door de  
voorzitter van de Werkgroep  
Natuurkunde-Didactiek,  
**Prof.dr. H.M.C. Eijkelhof**
- 14.10 - 14.20 uur    Informatie over de conferentie door  
de conferentievoorzitter, **S. Daems**
- 14.20 - 15.30 uur    Plenaire lezing door  
**Dr.ir. R.S. Vaartjes**: De rol van de  
klinisch fysicus en de medisch tech-  
nicus: deskundige zorg voor medi-  
sche apparatuur
- 15.30 - 16.00 uur    Thee
- 16.00 - 17.00 uur    Keuze uit vier lezingen:  
- **Prof.dr.ir. C.J. Snijders**:  
Fysieke ergonomie thuis, op  
school en tijdens het werk  
- **Dr.ir. J.M. Thijssen**:  
Echo-Doppler-technieken  
- **Prof.dr.ir. M.A. Viergever**:  
Beeldverwerking  
- **Prof.dr. J. Wouters**:  
Fysica van spraak en gehoor
- 17.00 - 17.30 uur    Aperitief
- 17.30 - 19.15 uur    Diner
- 19.30 - 21.00 uur    Werkgroepen
- vanaf 19.30 uur    Markt



**Zaterdag 13 december**

- 7.45 - 8.45 uur** Ontbijt
- 9.00 - 9.50 uur** Plenaire lezing door  
**Prof.dr. C. Erkelens:**  
Biofysica-onderwijs: meer dan natuurkunde alleen
- 10.00 - 10.50 uur** Keuze uit vier lezingen:  
- **Dr. A.J.J. Bos:**  
Ioniserende straling in en rondom ons  
- **Prof.dr. L. Peeraer:**  
Kunstledematen  
- **Dr.ir. R.M. Verdaasdonk:**  
Lasers werpen een nieuw licht op chirurgie  
- **Dr. F.H.M. Wittkampf:**  
Hartritmestoornissen
- 10.50 - 11.20 uur** Koffie
- 11.20 - 12.45 uur** Werkgroepen
- 12.45 - 13.45 uur** Lunch
- 13.45 - 14.40 uur** Keuze uit twee lezingen:  
- **Dr.ir. R.M. Verdaasdonk:**  
Lasers werpen een nieuw licht op chirurgie  
- **Mw.Drs. M. Tjon-Fo-Sang:**  
Nieuwe diagnostiek voor glaucoom
- 14.40 - 15.00 uur** Thee
- 15.00 - 15.45 uur** Plenaire lezing door  
**Dr. A. Kuipers:** Medische aspecten van de ruimtevaart
- 15.45 - 15.50 uur** Sluiting van de conferentie
- 16.00 uur** Vertrek bus naar station Leiden



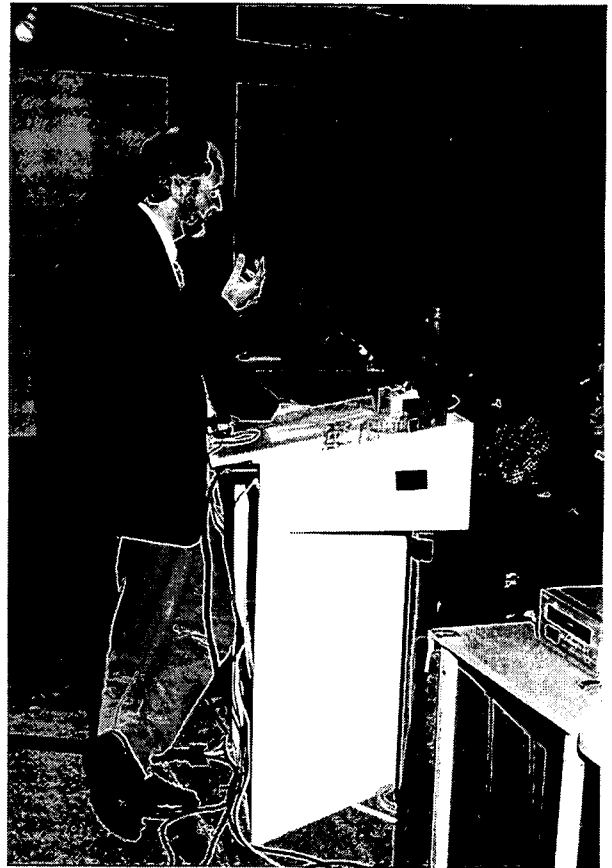
# Voorwoord

Bij veel leerlingen bestaat het idee dat natuurkunde alleen te maken heeft met dode materie. Zoals we al bij de conferentie van 1995 (Natuurkunde en Sport) hebben kunnen constateren is dat beeld niet juist. Die indruk is bevestigd tijdens deze Woudschotenconferentie over Natuurkunde en Gezondheid. Tal van specialisten hebben laten zien welke rol de natuurkunde speelt in moderne ontwikkelingen in de gezondheidszorg. Het blijkt een terrein te zijn waarop veel fysici werkzaam zijn, de meesten verenigd in de Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF).

Dit verslag bevat een weergave van de meeste lezingen en werkgroepen van deze conferentie. Ik hoop dat dit verslag u op ideeën brengt voor contexten die u in uw lessen kunt gebruiken en voor mogelijkheden leerlingen aan praktische opdrachten of het profielwerkstuk te laten werken. Wellicht kan de CD-Rom van de NVKF (voor f 10,- verkrijgbaar bij het secretariaat van de Werkgroep) daarbij ook behulpzaam zijn.

Graag dank ik alle sprekers, werkgroepeliders en standhouders op de markt die deze conferentie mogelijk hebben gemaakt. De Stichting Physica heeft er ook dit jaar voor gezorgd dat studenten deze conferentie konden bijwonen.

Harrie Eijkelhof  
voorzitter WND





# Lezingen





# Medische apparatuur in de gezondheidszorg

*S.R. Vaartjes*

## Klinisch proces

Is men bij ziekte aangewezen op deskundige hulp, dan krijgt men te maken met de huisarts en mogelijk met medisch specialisten, verpleegkundigen en andere beroepsbeoefenaren in de gezondheidszorg. Dat kunnen er vele zijn, maar vaak blijven zij in de ogen van de patiënt (letterlijk: geduldige) achtergrondfiguren. De vele bedrijfsprocessen in de gezondheidszorg onttrekken zich grotendeels aan het directe zicht. Toch is belangrijk dat het totaal een samenhangend geheel is, noodzakelijkerwijs bestaande uit vele facetten, maar zo goed mogelijk toegesneden op de behandeling van de patiënt.

Voor het beschouwen van de relatie tussen medische technologie en gezondheidszorg is het van belang het klinisch proces rond de patiënt nader in te delen. De diagnostiek is er op gericht de ziekte van de patiënt in aard en ernst vast te stellen. Een op basis van de diagnostiek gekozen therapie is de feitelijke behandeling om de ziekte zo mogelijk te genezen. Dit kan een operatie betreffen, maar bijvoorbeeld ook behandeling met medicijnen of met lasertherapie. Resulteert de behandeling niet in 100% genezing of is sprake van invaliditeit dan kan revalidatie de aanpassing van de patiënt aan de nieuwe situatie verbeteren. Bij een ongeneeslijke aandoening kunnen ernstige pijn en lichamelijk ongemak soms middels palliatie worden verlicht. Is een orgaan niet meer functioneel, kan de functie soms tijdelijk of langdurig gedeeltelijk of geheel door een apparaat worden overgenomen.

Een van de andere bedrijfsprocessen waar patiënten een directe, zij het passieve, rol in kunnen spelen is de opleiding van nieuwe werkers in de gezondheidszorg.

In het ondersteuningsproces rond aanschaf en veilige en doelmatige inzet van medische apparatuur spelen medisch technici en klinisch fysici belangrijke rollen.



## Inzet van medische apparatuur

Het daadwerkelijk gebruik van medische apparatuur gebeurt meestal door medici, verpleegkundigen en laboranten, in speciale gevallen door klinisch fysici en medisch technici.

Enkele voorbeelden van apparatuur voor medische diagnostiek zijn röntgentoestellen (afbeeldingstechniek met ioniserende straling), ultra-geluidsapparatuur (afbeeldingstechniek met ultra-geluidsgolven), een MRI (magnetic resonance imaging) (afbeeldingstechniek met magnetische velden), electrocardiografen (apparatuur voor registratie aan de huid van de elektrische hartactiviteit), elektroencefalografen (apparatuur voor registratie aan de huid van elektrische activiteiten van de hersenen), invasieve bloeddrukmeters (apparatuur voor meting van de bloeddruk in de bloedbaan), en perimeters (apparatuur voor meting van het gezichtsveld).

Bij therapie kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van coagulatoren (apparatuur voor electrochirurgie), lasers (apparatuur waarbij optische energie wordt gebruikt voor bijv. chirurgische toepassingen), infusieapparatuur (apparatuur voor nauwkeurige continue toediening van bijv. medicijnen) en lineaire versnellers (apparatuur voor bestraling van oncologische patiënten).

Bij revalidatie maakt men onder meer gebruik van apparatuur voor training van spieren (bijv. loopbandtrainers) en van technieken om het voor slechtzienden weer mogelijk te maken om te lezen.

Palliatief kan de doorgankelijkheid van het maag-darmkanaal bij oncologische patiënten soms tijdelijk worden hersteld door het met laser- of electrochirurgie verwijderen van tumorweefsel in die gevallen dat volledig herstel van de ziekte niet mogelijk is.

Ondersteuning of overname van één van de lichaamsfuncties kan bijvoorbeeld door haemodialyse (overname van de nierfunctie), beademing (overname of ondersteuning van het ademhalingsmechanisme), een gehoorapparaat

(ondersteuning van het gehoor) of gebruik van een pacemaker (overname van de activiteit van de gangmakers van het hart).

In diverse stadia van het klinisch proces kan het belangrijk zijn om het functioneren van belangrijke organen met behulp van apparatuur gedurende lange tijd te bewaken. Voorbeelden zijn zuurstofsaturatiemeters (registratie van de mate waarin de rode bloedlichaampjes zuurstof hebben gebonden), apparatuur voor meting van concentraties in de ademhalingsgassen en de al eerder genoemde apparatuur voor electrocardiografie en bloeddrukmeting.

Steeds vaker worden administratieve en meetgegevens bewerkt, getransporteerd en opgeslagen met behulp van uitgebreide netwerken en computersystemen.

Optische en mechanische instrumenten kunnen in verschillende fases van het klinische proces worden gebruikt. Zo kan via een endoscopie door openingen in het lichaam worden gekeken, maar ook fijne chirurgische instrumenten worden geïntroduceerd en bediend.

### **Functionaliteit van medische apparatuur**

De functionaliteitseisen die aan medische apparatuur worden gesteld zijn direct gerelateerd aan de toepassing in het klinisch proces. In het algemeen betreft dit de veiligheid, betrouwbaarheid, de nauwkeurigheid en de ergonomie. Specifiek gaat het bij diagnostische apparatuur veelal om nauwkeurig meten en registreren van chemische, elektrische, mechanische, thermische, optische of magnetische verschijnselen, dan wel van röntgenstraling. Soms wordt daartoe eerst straling of energie in de patiënt gebracht, bijvoorbeeld bij de MRI.

Bij bewakingsapparatuur wordt het meten en registreren gecombineerd met alarmeren als een signaal een vastgestelde grens overschrijdt.

Bij therapeutische apparatuur speelt het gereguleerd toedienen van energie de belangrijkste rol. Hierbij kan het gaan om elektrische, mechanische, thermische, magnetische, optische en akoestische energie en om röntgenstraling. Ook kan worden gekozen voor gereguleerde toediening van vloeistoffen met bijv. medicijnen.

Bij actieve orgaanfunctieondersteunende of -vervangende apparatuur is de chemische, elektrische of elektromechanische activiteit meestal onderdeel van een nauwkeurig ingesteld meet- en regelcircuit.

Meet- en regelsystemen worden bij een grote diversiteit aan medische apparatuur toegepast. Gemeten effectiviteit in het lichaam wordt (nog) niet in het technische systeem teruggekoppeld. Er zijn al wel goede ervaringen met regulering van automatisch toegediende pijnmedicatie via een terugkoppeling waarbij de patiënt zijn behoefte kan aangeven.

Naarmate apparatuur langer en intensiever met delen van het lichaam in aanraking komt speelt de bio-compatibiliteit een belangrijkere rol.

### **Nauwkeurigheid en veiligheid van medische apparatuur**

Voordat diagnostische metingen kunnen leiden tot therapeutische keuzes, moeten een aantal medische beslissingen worden genomen. Meetresultaten moeten worden getoetst aan grenscriteria en gecombineerd worden met andere gegevens over de patiënt. De effectiviteit van een eenmaal ingezette therapie moet wederom worden geëvalueerd. Hierbij kan opnieuw van medische diagnostiek gebruik worden gemaakt. Zo nodig kan een therapie daarna worden bijgesteld. Een belangrijk kenmerk van medische diagnostiek is dat deze samenhangt met waarschijnlijkheid en statistiek. Medische beslissingen hangen samen met de aandoening die voor een specifieke patiënt het meest waarschijnlijk is in relatie met de waarschijnlijkheid en risico's van alternatieve afwijkingen en de kansen en risico's van verschillende mogelijk in te zetten therapieën. De medische besliskunde stoelt voor een belangrijk deel op gemeenschappelijke kennis en ervaring van de medische beroepsgroep, nader gespecificeerd aanwezig binnen de groep collega's van eenzelfde medisch specialisme. Deze kennis zal verder evolueren door gericht effectiviteitsonderzoek: evidence based medicine. Duidelijk moet zijn dat de medische diagnostiek een blijvende basis is voor elk medisch beleid.

De medicus zou bij zijn keuzes niet misleid mogen worden door optredende meetfouten. Dat betekent dat de nauwkeurigheid van diagnostische apparatuur idealiter bekend is en niet groter dan de variaties waarbinnen eenzelfde medische beslissing zou worden genomen. Een behandelbare tumor zou niet mogen worden gemist door beperkingen aan de spatiële of contrastresolutie van een afbeeldingstechniek. De conclusie cardiale ischemie (zuurstoftekort in de hartwand) mag niet gebaseerd zijn op vervorming van het electrocardiogram door een verkeerde signaalfiltering. Interpretatie van bloeddruksignalen mag niet worden verstoord door vervorming van het druksignaal door de overdrachtskarakteristiek van het meetstelsel. Voor niet-diagnostische apparatuur gelden vergelijkbare overwegingen.

Deze zienswijze betekent dat voldoende aandacht moet worden besteed aan de nauwkeurighedsanalyse van medische apparatuur in relatie met de totale setting waarin elk apparaat wordt gebruikt. Telkens is de totale instrumentele keten van belang in relatie met de medische achtergronden en de medische besluitvorming en met de nauwkeurigheid waarmee de apparatuur wordt bediend en resultaten worden geïnterpreteerd. Ondermeer de volgende aandachtspunten kunnen bijvoorbeeld in een nauwkeurighedsanalyse van diagnostische apparatuur van belang zijn: het gehanteerde pathofysiologische model in relatie met een betreffende patiënt, parameterkeuzes, aannames met betrekking tot de overdracht van te meten parameters naar de plaats van meting, transducerkarakteristieken, meetduur, temporele en spatiële resoluties, de nauwkeu-



righeid van analoge en digitale signaalbewerking, informatiereductie en nauwkeurigheid bij opslag, weergave en registratie en inter- en intra observer variability.

Het vaststellen van de relevante nauwkeurigheid van medische technologie en het vaststellen van de vereiste nauwkeurigheid voor het medische en verpleegkundig handelen met een betreffend apparaat kunnen lastig zijn. Voor de analyse van beide aspecten van de totale nauwkeurighedsanalyse is medische technologische deskundigheid nodig; zeker bij het aan elkaar relateren van deze aspecten. Zo kunnen specifieke tests worden ontworpen om de kwaliteit van medische apparatuur te beoordelen in relatie met de vereisten vanuit de medische toepassing. De nauwkeurigheid van een oorspronkelijk geschikt apparaat kan tijdens de gebruikperiode teruglopen indien het onvoldoende onderhouden wordt.

Aan het gebruik van medische apparatuur kunnen risico's verbonden zijn. Duidelijk is dat radioactieve straling gevaar kan opleveren. Ook andere fysische agentia kunnen veiligheidsrisico's met zich meebrengen. Deze risico's kunnen samenhangen met een onjuist gebruik van de apparatuur. Al deze risico's moeten worden beheerst door de juiste inzet van de benodigde deskundigheden.

#### **Levenscyclus van medische apparatuur**

Technologische ondersteuning van de inzet van medische apparatuur betreft niet slechts een eenmalige test om vast te stellen of een apparaat aan een medische behoefte voldoet. Ten behoeve van een goede kwaliteit van zorg is technologische inbreng van belang in vrijwel alle fases van de levenscyclus van medische apparatuur binnen de instelling. Deze fases zijn: het ontstaan van de behoefte tot aanschaf, investeringsaanvraag en investeringsbeslissing, het opstellen van specificatie, het marktonderzoek, merk- en typeselectie, proefplaatsing, commerciële onderhandeling, opstellen van onderhoudsplannen, afsluiten inkoopcontract en eventueel onderhoudscontract, opstellen bedieningsvoorschriften, schriftelijk en mondeling instrueren van de gebruikers, acceptatietest en vrijgave voor gebruik, gebruik met onderhoud, herhaalde instructie en regelmatige evaluatie van technische staat en functionaliteit voor de gebruiker, eventueel reviseren, realloceren of op technische of veiligheidsgronden afkeuren voor gebruik, buiten gebruik stellen en afvoeren.

Afhankelijk van doelstellingen kan extra behoefte ontstaan aan technologische inbreng bij het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek waarbij medische apparatuur een rol speelt.

#### **Technologiebeleid**

Als vanzelfsprekend onderdeel van het kwaliteitsbeleid van instellingen voor gezondheidszorg moet technologiebeleid er op gericht zijn de juiste technologische zorg te verlenen in het zorgproces rond de patiënt. De Kwaliteitswet Zorginstellingen van 1996 geeft ondermeer con-

creet aan dat zorginstellingen een op kwaliteit gericht beleid moeten voeren waarbij verantwoorde beslissingen over het materieel moeten worden genomen. Beroepsbeoefenaren in de individuele gezondheidszorg worden vanuit de wet BIG (1994) verantwoordelijk gesteld voor hun deskundig en zorgvuldig handelen. Ook dit betreft ondermeer de juiste inzet van de beschikbare apparatuur. Van belang is dat het kwaliteitsbeleid, en daarbinnen het technologiebeleid, recht doet aan de samenhangende en complementaire verantwoordelijkheden van de instelling en van diegenen die daarbinnen werkzaam zijn. Mede daarom stelt de Kwaliteitswet een duidelijke toedeling van taken en verantwoordelijkheden verplicht. Technologiebeleid betreft het nemen van investeringsbeslissingen, beslissingen rond het gebruik van medische technologie en overige omgangsaspecten met medische apparatuur.

Medisch Spectrum Twente, een ziekenhuis met zo'n 1100 bedden, heeft ongeveer 4500 medische apparaten van ongeveer 600 soorten en een totale vervangingswaarde in de orde van f 120.000.000,-. Jaarlijks kan rond f 12.500.000,- worden besteed aan investeringen in medische en overige inventarissen. Binnen dit extern vastgestelde relatief krappe investeringsbudget zijn uitbreiding en innovatie wel mogelijk, maar alleen als de apparatuur gemiddeld langer dan tien jaar wordt gebruikt. Bij investeringsbeslissingen moet de technologische state-of-the-art in de verschillende medische specialismen worden vastgesteld en vergeleken met de mogelijkheden binnen het ziekenhuis. De investeringsargumenten die hieruit voortvloeien moeten worden afgewogen tegen het belang van vervanging van technisch, functioneel of qua exploitatiekosten verouderde apparatuur en dat van uitbreiding met meer apparatuur indien de capaciteit van bestaande apparatuur, gezien het patiëntenaanbod daarvoor, te gering is geworden. Doel is om binnen de gegeven financiële mogelijkheden een optimale combinatie van vernieuwing, uitbreiding en vervanging te realiseren. Het hiertoe benodigde afwegings- en besluitvormingsproces moet in elke instelling worden geregeld middels een heldere investeringsprocedure. Het investeringsbeleid behoort samen te hangen met het totale bedrijfsvoeringsproces van de instelling. Selectie, aanschaf en introductie van medische apparatuur moet worden gekenmerkt door een geformaliseerde samenwerking tussen apparatuurgebruikers, technische deskundigen en de afdeling inkoop. Ingebruikname mag niet eerder plaatsvinden dan dat alle voor een veilig en doelmatig gebruik benodigde voorbereidingen zijn getroffen.

Het beleid rond de gebruiksfase moet zijn gericht op de inzet van de apparatuur op basis van professionele consensus en diagnostische en behandelprotocollen, de doorlopende zorg voor de kwaliteit van de apparatuur en een periodieke evaluatie van de functionaliteit. Het beleid ten aanzien van de overige omgangsaspecten met medische apparatuur moet de communicatie tussen

fysici, technici en gebruikers van de apparatuur zeker stellen en garanderen dat onderwerpen als de zorg voor veiligheid, onderhoudsmanagement, instructie van nieuwe apparatuurgebruikers, apparatuurbeheer en archivering van apparatuurgegevens goed zijn geregeld.

### **Veldstandaards**

De overheid streeft ten aanzien van de zorgsector naar bereikbaarheid en betaalbaarheid van de zorg, kostenbeheersing, bescherming van de zwakkeren, evenwicht tussen partijen, bescherming van de gezondheid van betrokkenen en kwaliteitsborging in de instellingen. Dit laatste aspect tracht men in toenemende mate te bereiken door aan te sluiten bij professionele normen in het veld via een mechanisme van geconditioneerde zelfregulering. De professionele organisaties (wetenschappelijke beroepsverenigingen) kunnen hierin een belangrijke plaats verwerven. Zij kunnen werken aan landelijk gedragen veldstandaards. Dergelijke veldstandaards worden door de Geneeskundige Inspectie gehanteerd als gouden standaard bij de beoordeling van het door de instellingen vastgestelde beleid en de in de instellingen vastgestelde procedures en protocollen. Voorbeelden van dergelijke veldstandaards op het gebied van de Medische Technologie zijn het rapport Laserveiligheid in de Gezondheidszorg (Nationale Commissie Laserveiligheid, 1993) en het in de afrondingsfase verkerende rapport Omgaan met infusieapparatuur; Beleid, toepassing en beheer (Nederlandse Vereniging van Klinische Fysica en Nederlandse Vereniging van Ziekenhuisapothekers, concept 25 november 1997, gereed in 1998).

### **Klinisch fysici en medisch technici**

Klinisch fysici zijn klinisch ondersteunende specialisten die eigen professionele verantwoordelijkheden dragen voor fysisch-technische aspecten van de directe en indirecte patiëntenzorg. Missie van deze beroepsgroep is de kwaliteit, de doelmatigheid en de veiligheid in de patiëntenzorg te bevorderen.

Taken van klinisch fysici betreffen:

- investeringsbeleid
  - adviseur investeringsbeslissingen
  - beoordelen en introduceren van nieuwe methoden voor diagnostiek en behandeling
- kwaliteitszorg/veiligheid
  - adviseur kwaliteits- en veiligheidsbeleid
  - leiding geven aan ontwikkelingsprocessen
  - toezien op een veilige en verantwoorde inzet van medische apparatuur
- wetenschappelijk onderzoek
  - initiëren, begeleiden en uitvoeren van medisch-technologisch onderzoek
  - medisch-technologische inbreng in klinisch wetenschappelijk onderzoek

- klinische activiteiten
  - ondersteuning en/of uitvoering van patiëntgerichte activiteiten
- onderwijs en opleiding
- management
  - projectmanagement
  - lijnmanagement

Registratie als klinisch fysicus door de Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica kan plaatsvinden na een vierjarige post-doctorale opleiding. Ingangscriterium voor deze opleiding is een afgeronde academische opleiding op het gebied van de fysica of op een gebied dat daaraan gelijkwaardig wordt bevonden.

Klinisch fysici werken intensief samen met onder meer medisch technici. Deze technici hebben een vooropleiding op MBO of (in toenemende mate) op HBO-niveau en vervolgoopleidingen op het gebied van de medische techniek. Taken van medisch technici betreffen:

- onderhouden van contacten met gebruikers van medische apparatuur en leveranciers, ter ondersteuning van aanschaf en gebruik, ter bespreking van de kwaliteit en de inzet van de in gebruik zijnde apparatuur en ter evaluatie van de onderhoudsplannen
- opstellen van onderhoudsplannen in overleg met leveranciers en gebruikers
- begeleiden van proefplaatsingen, merk- en type selectie en introductie van medische apparatuur
- archiveren van aanschaf- en onderhoudsgegevens
- zorgen voor goede uitvoering (bij in- en uitbesteding) van preventief onderhoud en storingsafhandeling
- keuren van apparatuur betreffende de veiligheid en de technische en functionele kwaliteit
- vrijgave van apparatuur voor gebruik nadat deze veilig is bevonden
- aangeven (en mede bewaken) van de gebruikstermijn van medische apparatuur tot een volgend preventief onderhoud
- afvoeren van buiten gebruik gestelde apparatuur
- opstellen van gebruiksvoorschriften in samenspraak met leveranciers en gebruikers
- verzorgen van instructies
- in bijzondere gevallen assisteren in de directe patiëntenzorg
- betrokkenheid bij wetenschappelijk onderzoek
- participatie in commissies en werkgroepen
- indien nodig consulteren van een klinisch fysicus

# Fysieke ergonomie thuis, op school en tijdens het werk

C.J. Snijders

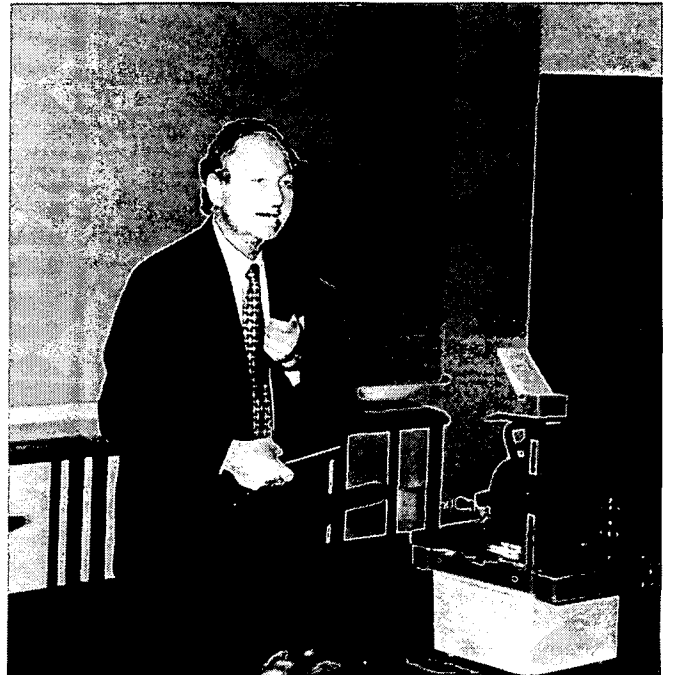
Het menselijk lichaam is rijk aan grillige vormen en moeilijk te definiëren materiaaleigenschappen, zodat modelvorming zich beperkt tot het schatten van lichaamskrachten. Bij nek- en rugklachten zijn de zwaarst belaste structuren van belang. In dit artikel wordt de modelvorming beschreven waarmee nieuwe inzichten zijn verkregen, die van nut zijn voor diagnose, behandeling en preventie.

Rugklachten ontstaan in de bloei van het leven en komen afwisselend voor bij ongeveer 80% van de bevolking. Rugklachten vormen door verzuim en arbeidsongeschiktheid een van de meest kostbare ziekten. Om schattingen te kunnen te maken van de lichaamskrachten die in ongunstige houdingen in spieren en gewrichten optreden, worden met behulp van biomechanische modellen berekeningen gemaakt. Deze berekeningen hebben een grote invloed gehad op de regelgeving, hoewel daarbij ook betrokken is wat werknemers zelf als te zwaar ervaren.

Behalve het verminderen van tilfrequentie en -gewicht is de meest logische conclusie dat zwaar lichamelijk werk vaker zou moeten worden onderbroken door lichter werk en dat mensen die lang zitten meer beweeglijke bestanddelen in hun functie-inhoud zouden moeten krijgen.

## Nekklachten

Een voorbeeld van een duidelijk verband tussen aan de ene kant metingen en interpretatie daarvan met behulp van een biomechanisch model en aan de andere kant klachten van werknemers, is te vinden in de stand van het hoofd bij F-16 vliegers, kraanmachinisten en mensen die werken met beeldschermen. Volgens een biomechanisch model van de halswervelkolom nemen de krachten in spieren (*musculus sternocleidomastoideus*, spier van schedel naar sleutelbeen en borstbeen) en gewrichten sterk toe wanneer het hoofd meer dan ongeveer 35° naar links of naar



rechts wordt gedraaid (figuur 1). Dat dit ongemakkelijk is, valt te zien tijdens vergaderingen waar toehoorders, gezeten aan een langwerpige tafel, naar één kant moeten kijken. Na enige tijd draait men dan de stoel en de romp zo ver tot de hoek tussen hoofd en schouders niet groter is dan die 35°.

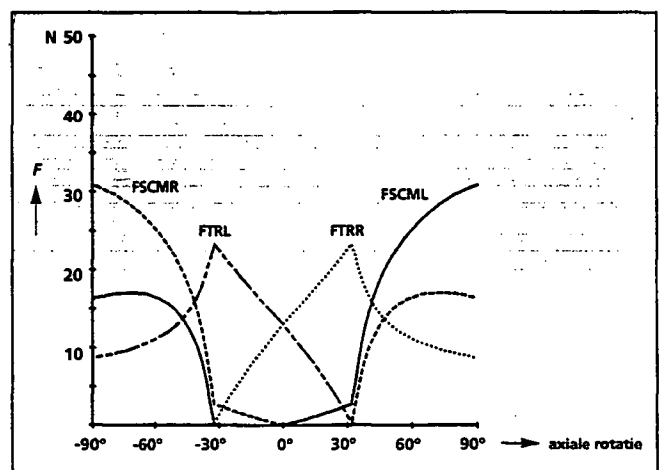


Fig.1: De kracht  $F$  in de spier van schedel naar sleutelbeen en borstbeen (m. sternocleido-mastoideus) rechts (FSCMR) en links (FSCML) en in de monnikskapspier (m. trapezius) rechts (FTRR) en links (FTRL) als functie van de draaiing van het hoofd naar links (axiale rotatie positief) en naar rechts. Bij rond de 35° neemt de kracht in de m. sternocleidomastoideus volgens het biomechanische model sterk toe.

Dit biomechanisch model berekent ook de krachten bij vooroverbuigingen en geeft in getal aan wat men feitelijk al lang weet: het langdurig voorovergebogen houden van het hoofd, zoals bij het werken met een microscoop, is vermoeiend en leidt tot klachten. Het is daarom op zijn zachtst gezegd zeer merkwaardig dat een zoveel gebruikt

instrument als de microscoop ergonomisch gezien niet deugt. Bovendien blijft men hardnekkig lezen en schrijven aan horizontale werkvlakken, terwijl met een schuine lessenaar het hoofd en de rug meer rechtop kunnen worden gehouden. Voor dat doel is de Erasmus Bureaulessenaar ontwikkeld, die doorzichtig is en een helling heeft van slechts  $10^\circ$  (opdat papier niet van papier afglijdt). Ook voorspelt het biomechanische model dat de nek minder wordt belast bij de plaatsing van beeldschermen op ooghoogte. Metingen van CAD/CAM-werkers van Hoogovens IJmuiden toonden aan dat het hoger plaatsen van het beeldscherm leidt tot een meer comfortabele houding. Bij pc's kan men het beeldscherm hoger zetten wanneer een concepthouder wordt gebruikt en men niet steeds naar het toetsenbord hoeft te kijken.

### Rugklachten

Kan er sprake zijn van individuele factoren wanneer 80% van de bevolking op enigerlei moment last krijgt van rugklachten en 60% van de jeugd tussen de 20 jaar en 25 jaar meldt daarvan last te hebben gehad? Bij ongeveer 80 tot 90% van de patiënten met lage rugpijn kan geen oorzaak worden gevonden, kan de aandoening niet precies worden aangewezen en bestaat er onzekerheid over de behandelingsmethode. In het merendeel van de gevallen is dus sprake van aspecifieke of idiopathische lage rugpijn. In het samenwerkingsverband Delft-Rotterdam zijn nieuwe inzichten ontstaan via het ontwikkelde biomechanische model van de overdracht van krachten van lage rug naar bekken en benen. De krachtoverdracht verloopt links en rechts via een *sacroiliacaal gewricht* tussen heiligbeen (*sacrum*) en darmbeen (*ilium*) van het bekken (figuur 2).

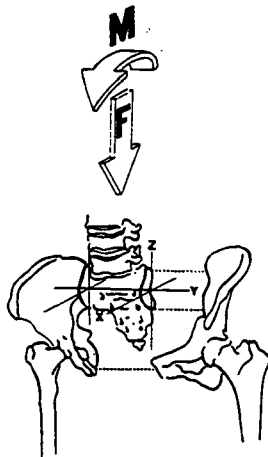


Fig. 2: Schematische tekening die weergeeft dat de sacroiliacale gewrichten gevoelig zijn voor afschuiving (rotatie/translatie) bij belasting in het sagittale vlak (X,Z-vlak: moment M, kracht F). Integriteit van het gewricht berust op een stevig bandapparaat; compressie van deze gewrichten (met ruwe gewrichtsvlakken en symmetrische richels en groeven) door middel van spierkracht (onder andere schuine buikspieren en bilspieren) kan de weerstand tegen afschuiven vergroten.

Het probleem van stabiliteit van dit gewricht zou wel eens een grote rol kunnen spelen bij het ontstaan van lage rug-

klachten zowel bij gebukt tillen als bij langdurig zitten of staan. Uitgangspunt is dat de sacroiliacale gewrichten vanwege de in hoofdzaak platte gewrichtsvlakken gevoelig zijn voor afschuiving.

De link tussen biomechanisch model en pijn wordt ontleend aan klinische ervaring: met name zou provocatie van beweging van het sacrum in contranotatie (in afbeelding 2 draaiing in klokrichting van X naar Z, dus extensie van het sacrum ten opzichte van de heupbeenderen) een belangrijke factor kunnen zijn in het ontstaan van lage rugpijn. Dit is te zamen met de afdelingen Anatomie en Revalidatie in Rotterdam onderwerp van studie.

De vraag hoe onder grote belasting stabiliteit van de sacroiliacale gewrichten kan worden gewaarborgd, wordt gebaseerd op de gewrichtscompressietheorie. Weerstand tegen glijden kan worden verkregen door een ruw oppervlak en groeven en richels. Bij anatomische preparaten werd een voor een gewricht opmerkelijke wrijvingscoëfficiënt van ongeveer 0,4 gemeten. Deze voorzieningen hebben echter alleen zin wanneer de aangrenzende gewrichtsvlakken krachtig tegen elkaar worden gedrukt. Sacroiliacale gewrichtscompressie kan worden verkregen door *a*: spierkrachten die het gewricht kruisen, *b*: de vorm van een bekkenboog en *c*: buigende momenten ten opzichte van de sacroiliacale gewrichten.

*Ad.a.* Aanspannen van de grote bilspier (*musculus gluteus maximus*) kan resulteren in sacroiliacale gewrichtscompressie omdat deze spier insereert (aanhecht) in lagen van de externe fascia (vliesvormige bindweefsels) oppervlakkig aan het heiligbeen met verbindingen aan de thoracolumbale fascia. Ook kan worden gedacht aan bepaalde bekkenbodemspieren.

*Ad.b.* Figuur 3 geeft het model van de bekkenboog.

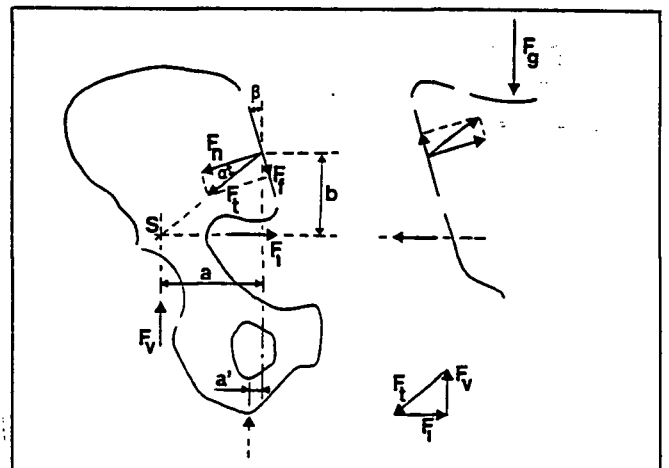


Fig.3: De gewrichtsreactiekracht Ft, heupgewrichts-kracht Fv en de kracht van ligamenten (banden) en/of spieren FI snijden elkaar in punt S en vormen een gesloten krachtdriehoek;  $\tan \alpha$  is de wrijvingscoëfficiënt en  $\beta$  de wighoek van het sacrum. De werkmarm a behoort bij de bekken-boog. Tijdens zitten op een hard vlak heeft de ondersteuningskracht op de zitbeenknoebel de werkmarm a en ontbreekt de boogconstructie.

De resulterende gewrichtskracht  $F_1$  werkt hier in het midden van het gewricht, hoewel het aangrijppunt zich ook aan de boven- (craniale) of de onder- (caudale) zijde van het gewricht kan bevinden. Na introductie van de wighoek  $\beta$  en de wrijvingscoëfficiënt  $\tan \alpha$ , snijdt de werklijn van  $F_1$  de werklijn van de heupkracht  $F_2$  in S. Evenwicht van het heupbeen (*os coxae*) kan worden verkregen door middel van een derde kracht  $F_3$  die eveneens door het snijpunt S gaat. Het momentevenwicht kan worden geschreven als  $F_2 \cdot a = F_3 \cdot b$ . Evenwicht van het heiligbeen (sacrum), waarop de lumbosacrale belasting  $F_4$  werkt, kan op dezelfde wijze worden beschreven. Heiligbeen en heupbeenderen vormen een boog die stabiliteit ontleent aan krachten van spieren en ligamenten (banden) caudaal ten opzichte van de sacroiliacale gewrichten, onder andere de peervormige spier (*m. piriformis*) en de grote bilspier (*m. gluteus maximus*), sacrospinale ligamenten en in het bijzonder de sacrotuberale ligamenten (banden lopend vanaf heiligbeen en stuitbeen) die kunnen worden gespannen door middel van de hamstrings.

*Ad.c.* Een hoofdzakelijk plat gewrichtsvlak is zeer geschikt voor het overdragen van buigende momenten en compressie. Voor compressie van het sacroiliacale gewricht kan worden gedacht aan de schuine buikspieren. Deze blijken actief te zijn bij ontspannen staan en zitten, terwijl bilspier (*m. gluteus maximus*) en tweehoofdige dijbeenspier (*m. biceps femoris*) dan niet actief zijn. In vergelijking met het zitten op een kantoorstoel met de benen naast elkaar, blijkt het kruisen van de benen of het leggen van de enkel op de knie te leiden tot geringere activiteit van de schuine buikspieren. Ook stelden wij vast dat zitten op een zachte autostoel gepaard gaat met geringere activiteit van de schuine buikspieren.

#### Ten slotte

De nieuwe inzichten ondersteunen het idee dat training van kracht en coördinatie van in het bijzonder bilspieren, achterste bovenbeenspieren (hamstrings), brede rugspier (*m. latissimus dorsi*; loopt schuin van bovenarm naar lage rug en bekken) en schuine buikspieren van groot belang is voor preventie en behandeling van lage rugpijn (figuur 4).

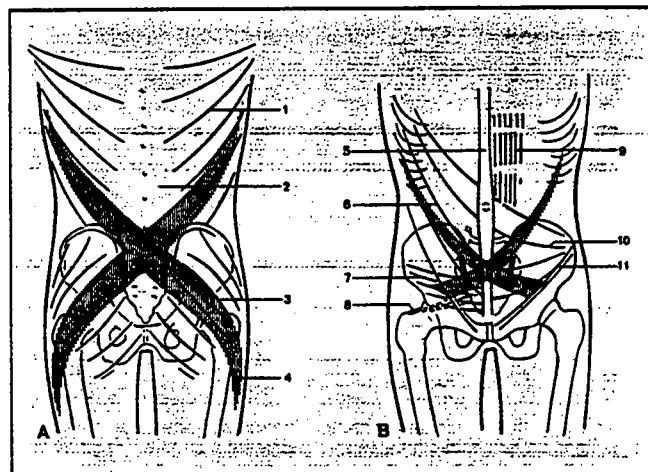


Fig.4: Spieren in het vlak van de sacroiliacale gewrichten (zoals de rechte buikspieren, 9) belasten deze op afschuiving. Het systeem van dwars- en schuingerichte spierkrachten die de sacroiliacale gewrichten kruisen, draagt bij aan compressie waardoor afschuiving wordt tegengegaan. Dus oefen door extensie en torsie, in plaats van door flexie.

A: brede rugspier (*m. latissimus dorsi*, 1), thoracolumbale fascia (2), grote bilspier (*m. gluteus maximus*, 3), tractus iliotibialis (vezelbundel, 4).

B: linea alba (fibreuze streep, 5), buitenste schuine buikspier (*m. obliquus externus abdominis*, 6), dwarse buikspier (*m. transversus abdominis*, 7), peervormige spier (*m. piriformis*, 8), rechte buikspier (*m. rectus abdominis*, 9), binnenste schuine buikspier (*m. obliquus internus abdominis*, 10), ligamentum inguinale (11).

Noot: Dit artikel is eerder gepubliceerd in De Ingenieur nr. 18 van 8 november 1994 onder de titel 'Biomechanische modellen nek- en rugklachten'.





# Echo-Doppler technieken in de geneeskunde

J.M. Thijssen



## Akoestiek en ultrageluid

Geluid is een mechanisch golfverschijnsel. De golf plant zich voort door overdracht van trillingsenergie op atomaire/moleculair niveau. Indien de frequentie hoger is dan de menselijke gehoorrens (20 kHz) wordt gesproken van ultrageluid. In de geneeskunde worden frequenties gebruikt van 1 tot 50 MHz. De keuze van de frequentie heeft consequenties voor de kwaliteit van de afbeeldingen zoals verderop zal duidelijk worden.

Echografie, afbeelden met ultrageluid, berust op het puls-echo principe: na uitzending van een korte puls ultrageluid worden echo's geregistreerd. In figuur 1 worden de diverse interacties van het ultrageluid met media weergegeven. De analogie met de veelal meer bekende wetten voor licht is in deze figuur duidelijk. Op een groot grensvlak tussen twee media zijn de reflectie- en brekingswetten van toepassing. Daar wordt aan toegevoegd, dat de sterkte van de reflectie wordt bepaald door het verschil in akoestische impedantie aan weerszijden. De akoestische impedantie  $Z$  is gedefinieerd als:

$$Z = \rho c$$

Hierin is  $\rho$  de massadichtheid en  $c$  de geluidssnelheid.

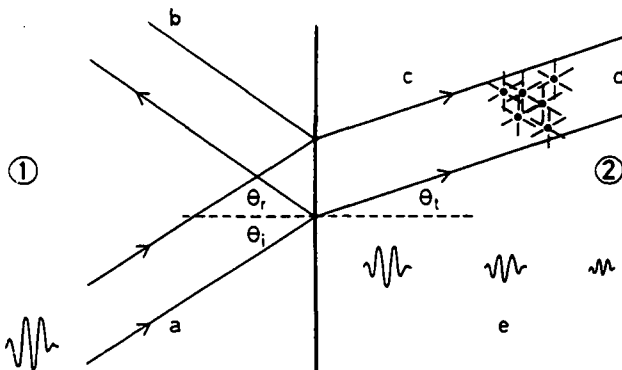


Fig.1: Fysica van ultrageluid: interacties van ultrageluid met (biologische) media. Reflectie (a,b) en breking (c) (Snellius); verstrooiing (d); absorptie (e).

Naast reflectie kan ook verstrooiing optreden aan kleine inhomogeniteiten in de akoestische impedantie. Voorbeelden hiervan zijn: kleine bloedvaatjes, bloedcellen en kleine bindweefselstructuren die de samenhang van orgaanweefsel verzorgen. Tenslotte wordt het ultrageluid verzwakt door absorptie, welke afhangt van het soort weefsel. Absorptie vindt plaats door relaxatie oscillaties van de biologische macromoleculen.

Het basisprincipe van echo apparaat is geschetst in figuur 2.

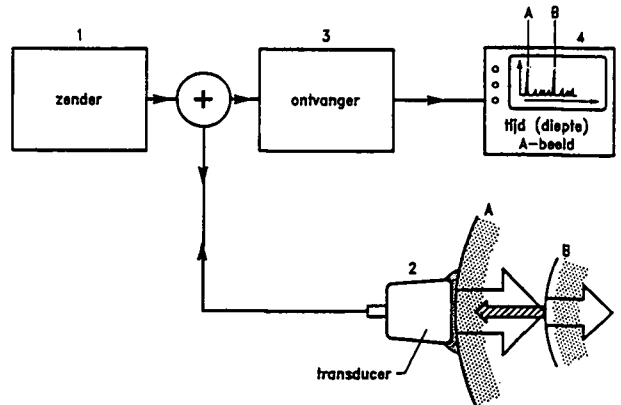
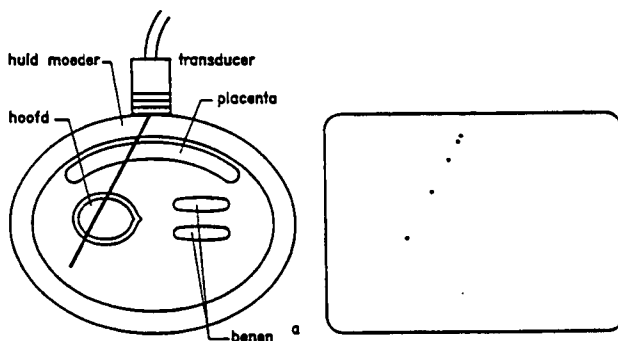


Fig.2: Vereenvoudigd schema van een echoapparaat.

De zender levert een korte elektrische impuls aan de transducer (letterlijk: omzetter). Deze laatste bestaat uit een dun plaatje piëzo-elektrisch materiaal dat gedurende korte tijd in trilling komt. Vervolgens registreert de transducer als een soort microfoon de echo's die in de patiënt worden veroorzaakt (dus zowel reflecties als ook de verstrooiing). De zend-ontvangst-cyclus wordt herhaald na een tijd, lang genoeg om de echo's van de totale indringdiepte te kunnen registreren. De transducer levert een elektrische wisselspanning die wordt versterkt en gedemoduleerd ("ontvanger"). Hierbij wordt voor het afbeelden van echo's een AM-demodulator toegepast en in het eenvoudigste geval levert iedere echo dan een piekje op, dat

op de juiste tijd na het zenden op een oscilloscoop wordt afgebeeld. In moderne apparatuur wordt het echosignaal gedigitaliseerd en vervolgens op een monitor weergegeven. Dit zgn. A-beeld (A=amplitude) kan worden geïkht met een - gemiddelde - geluidssnelheid, zodat direct de positie van anatomische structuren kan worden afgelezen. In het algemeen wordt bij het afbeelden gebruik gemaakt van een reeks van kleine transducer elementen, die in een houder zijn gemonteerd ("array" transducer). Dit principe wordt ook toegepast in radar- en sonarapparatuur en bijvoorbeeld in de radioastronomie. Het is dan mogelijk de geluidsbundel na iedere zendpuls iets te verplaatsen of van richting te veranderen ("scanning"). Dit gebeurt in één vlak, zodat een tweedimensionale doorsnede kan worden verkregen. Het echosignaal wordt dan gebruikt om op de plaats van iedere echo de helderheid op het beeldscherm te verhogen (figuur 3).



De kwaliteit van een afbeeldend instrument wordt in hoge mate bepaald door het geometrische "oplossend vermogen" (resolutie). In het geval van ultrageluid wordt de resolutie bepaald door de kwaliteit van transducer: het aantal perioden dat deze na excitatie in trilling blijft en vooral door de frequentie van deze trilling. De frequentie kan worden gekozen door de dikte van het piezomateriaal te kiezen. Bij een bepaald aantal trillingen (bijvoorbeeld 2) zal een hoge frequentie een korte ultrageluidspuls en dus ook kortdurende echo's opleveren. Als voorbeeld: bij een snelheid van 1500 m/s en een frequentie van 10 MHz (2 perioden:  $2 \cdot 10^{-7}$  s) is een echo 0,3 mm "lang", echter bij 100 MHz maar 0,03 mm. Het is dus gewenst zo hoog mogelijke frequenties te gebruiken. Echter, de eerder genoemde absorptie neemt sterk toe bij hogere frequenties. Bij iedere medische vraagstelling moet dus worden afgewogen of een gewenste frequentie wel voldoende "penetratie" heeft om het te onderzoeken orgaan volledig af te beelden. Hogere frequenties (> 10 MHz) kunnen dan ook alleen gebruikt worden bij zgn. endoscopisch onderzoek, waarbij de transducer in de patiënt wordt ingebracht.

### Doppler-effect

Uit de astronomie is bekend dat spectrale lijnen in het sterrenlicht iets verschoven zijn ten opzichte van dezelfde lijnen van "aardse" lichtbronnen. Doppler schreef de

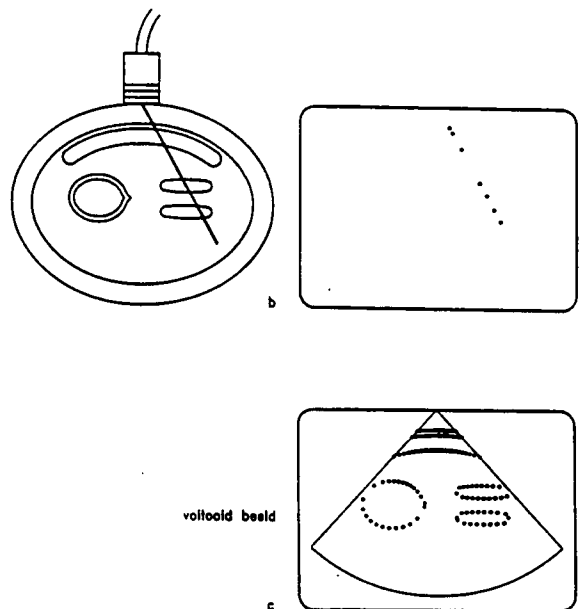


Fig.3: Principe van echo "scanning" en beeldproductie: a), b) twee richtingen van sturing van de ultrageluidspuls (links) en overeenkomstige weergave als beeldlijn, met helderheid afhankelijk van geregistreerde echosterkte als functie van de diepte (rechts), c) volledige beeld opgebouwd uit bijvoorbeeld 100 beeldlijnen.

lijnverschuiving toe aan de beweging van de sterren ten opzichte van de aarde. De nederlandse fysicus Buys Ballot wilde bewijzen dat de verklaring van Doppler onjuist was, door met geluid een analoge situatie na te bootsen. In 1845 plaatste hij een trompetspeler op een rijdende trein en liet enkele musici met een "absoluut" gehoor de toonhoogte beoordelen. Helaas voor hem was wel degelijk verschil te horen met het geluid bij stilstand en bovendien was ook de richting van bewegen van invloed. In formule (zie ook appendix A):

$$f_D = \frac{2f_0 v \cos\alpha}{c}$$

De factor 2 in deze formule is het gevolg van het feit dat een reflectie wordt geregistreerd (geluid gaat heen en terug).

Figuur 4 is gebaseerd op een methode voor Dopplermeting, waarbij een transducer continu zendt en een tweede continu registreert: CW-Doppler-techniek (CW = continuous wave). Nadelen van deze techniek zijn: het is niet aan te geven van welke diepte de Dopplersignalen afkomstig zijn (kunnen meerdere vaten op verschillende diepte zijn) en de signalen zijn afkomstig van bloedcellen verdeeld over de gehele doorsnede van een vat.



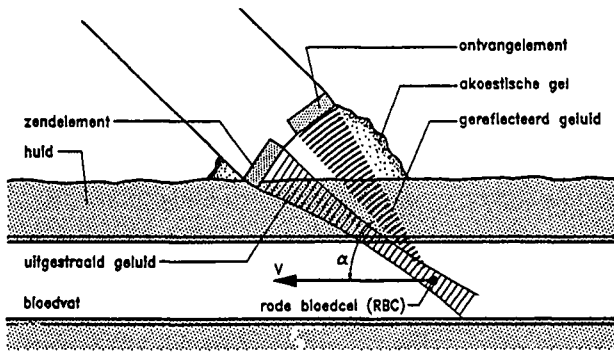


Fig.4: Principe van "Continuous Wave" (CW) Dopplersnelheidsmeting in een bloedvat, met aparte transducers voor zenden en ontvangen.

### Haemodynamica

Dit laatste aspect is onderdeel van de "haemodynamica", letterlijk de bewegingsleer van het bloed. Het bloed is een relatief visceuze vloeistof, waarin bloedcellen met afmetingen van enkele micrometers in grote getale voorkomen: miljoenen per  $\text{mm}^3$ . De bloedstroom is, afhankelijk van gemiddelde snelheid en van geometrie van het bloedvat, "laminair" of "turbulent". Laminair houdt in dat de stroomsnelheid vanaf het maximum (in het midden bij een recht vat) naar nul toe (aan de wand) afneemt. Als de wet van Poiseuille geldt, dan zal een parabolisch verloop optreden (figuur 5 onder). Bij hoge snelheden treedt zgn. propstrooming op: de meeste bloeddeeltjes hebben dezelfde snelheid (figuur 5 boven).

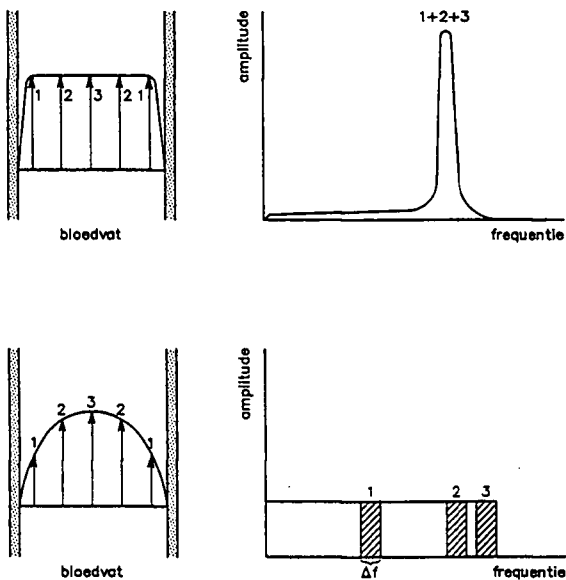


Fig.5: Relatie snelheidsprofiel in bloedvat (links) met spectrum van geregistreerde Dopplerfrequenties (rechts). Onder: parabolisch snelheidsprofiel (Poiseuillestroming, laminair). Boven: vlak profiel, (propstrooming, laminair). Alleen positieve frequenties!

Bij zeer hoge snelheden, met name na een vernauwing, gaat de gelaagdheid van de bloedstroom verloren en komen ook snelheden in negatieve stroomrichting voor: "turbulente" stroming (figuur 6). Het bijbehorende spectrum bevat een breed scala van zowel positieve als ook negatieve frequenties.

Wat is nu het gevolg van de besproken stromingsvormen op de Dopplersignalen? Daarvoor moeten we ons realiseren, dat steeds een groot aantal bloedcellen een bepaalde snelheid zullen hebben. De sterkte van het signaal bij de corresponderende Dopplerfrequentie is evenredig met dit aantal bloedcellen. De beste manier om dit grafisch in beeld te brengen is het "spectrum" (zie figuur 5 rechts). Horizontaal wordt de frequentie uitgezet (van 0 tot ca. 5 kHz) en verticaal de signaal-amplitude. Het is eenvoudig af te leiden, dat bij een parabolisch snelheidsprofiel bij iedere frequentie eenzelfde amplitude wordt gevonden. Bij een propstrooming hebben de meeste bloedcellen dezelfde snelheid en bestaat het spectrum uit één, relatief smalle piek. Aangetekend dient te worden dat de wand van bloedvaten tijdens de hartslag ook beweegt en er dus vlak bij  $f_d=0$  een zeer hoge piek voorkomt, die in het algemeen elektronisch wordt verwijderd ("wandfilter").

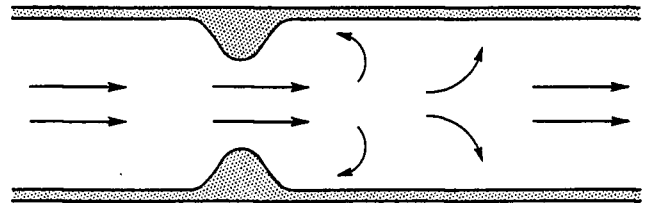


Fig.6: Snelheidsverdeling rond een vernauwing in een bloedvat: hoge snelheid in vernauwing en turbulentie direct voorbij vernauwing.

### Dopplertechnieken

De Dopplerverschuiving wordt in CW-apparatuur bepaald met zgn. FM-demodulatie (FM = frequentiemodulatie), een techniek die uiteraard ook gebruikt wordt in radio-ontvangers (zie verder appendix B). Het resultaat is een laagfrequent Dopplersignaal dat tijdens de hartslag voortdurend verandert. In het algemeen wordt in Doppler-apparatuur een audioversterker toegepast om het Dopplersignaal hoorbaar te maken: het menselijk gehoor blijkt zeer goed in staat abnormale snelheidspatronen te kunnen onderscheiden. Tevens wordt het Dopplersignaal met snelle processoren bewerkt met een Fourieranalyse. De rekensnelheid is zo hoog dat het mogelijk is bijvoorbeeld 25 spectra per seconde te berekenen. Deze grote hoeveelheid informatie wordt vervolgens visueel weergegeven in de vorm van een "sonogram" (figuur 7). De horizontale as is de tijd, de verticale as de Dopplerfrequentie en de helderheid komt overeen met de spectrale amplitude. Het sonogram is aldus opgebouwd uit een reeks verticale lijnen waarlangs de positie de snelheid weergeeft en de intensiteit de hoeveelheid bloedcellen met een bepaalde

snelheid. De hoge pieken in figuur 7 treden op tijdens de systolische fase van de hartslag en de smalle band van snelheden in de pieken duidt op propstrooming. In de tussengelegen, diastolische fase zijn de snelheden veel lager en is vrijwel sprake van parabolische stroming. In moderne apparaten is het mogelijk een sonogram gedetailleerd te analyseren, bijvoorbeeld maximale snelheden, moment van de piekwaarde ten opzichte van het eveneens geregistreerde electrocardiogram, enz.

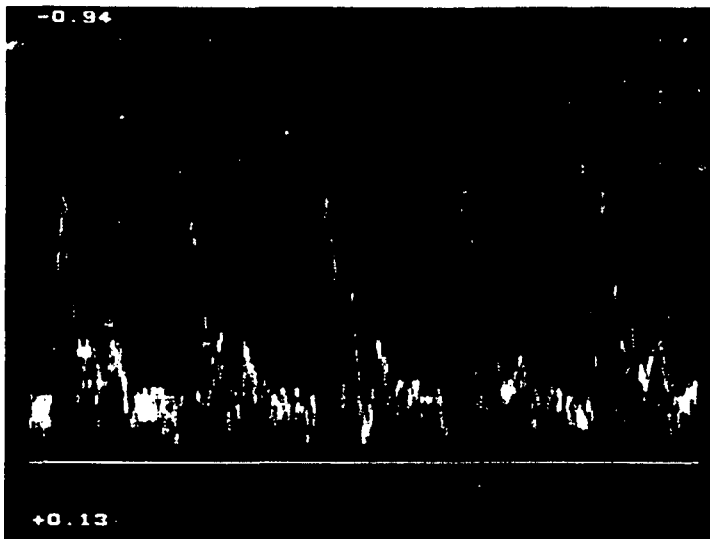


Fig.7: Voorbeeld van een sonogram. Horizontaal: tijd (5 seconden). Verticaal: Dopplerfrequentie (snelheid). Helderheid evenredig met aantal bloedcellen met bepaalde snelheid.

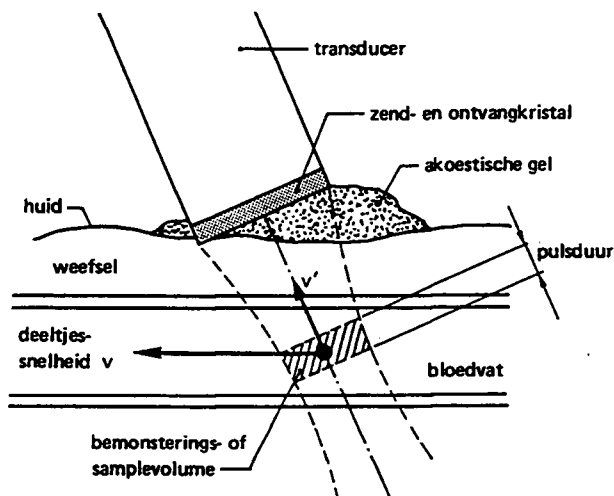


Fig.8 Principe van gepulste Doppler snelheidsmeting in bloedvat. Bemonsteringsvolume komt overeen met bundeldoorsnede maal lengte ("pulsduur") van tijdsvenster ("gate")

Een totaal ander principe van snelheidsmeting wordt toegepast in gepulste Dopplersystemen (figuur 8). Hierbij wordt elektronisch een tijdsvenster ("gate") geopend op een gewenst tijdstip na het uitzenden van een ultrageluidspuls. Dit tijdstip wordt bijvoorbeeld zo gekozen dat het venster precies midden in een bloedvat is gelegen. Praktisch is dit uitvoerbaar doordat de snelheidsmeting nu gecombineerd wordt met een 2-dimensionaal echobeeld ("duplex" scanner), waarin een lijn met een oplichtende punt de positie van het venster in het 2-D beeld aangeeft. In feite wordt in gepulste Dopplersystemen niet een frequentieverandering gemeten, maar de verandering in het echosignaal zelf ten gevolge van de verplaatsing van de bloedcellen in de tijd tussen twee ultrageluidspulsen. Niettemin is de term Dopplersysteem tot op heden gehandhaafd.

Een volgende stap, die dank zij de snelle ontwikkelingen in de microprocessor-technologie mogelijk is geworden, is de "multigate" techniek. Hierbij wordt de bloedsnelheid in een groot aantal vensters langs een lijn instantaan gemeten (figuur 9). In het algemeen wordt volstaan met de gemiddelde snelheid in ieder venster en het resultaat is een goede benadering van het snelheidsprofiel over de doorsnede van het bloedvat. Dit is echter nog niet het einde van het verhaal, immers met nog meer snelle rekencapaciteit kunnen ook meerdere lijnen zeer vlug na elkaar worden weergegeven. Daarbij wordt de snelheid naar de transducer toe in roodtinten en die van de transducer af in blauwtinten afgebeeld. We krijgen dan over de anatomie van de organen en de vaatwanden een projectie in kleur van het stromende bloed. Het moge duidelijk zijn dat dit een fantastische uitbreiding van de diagnostiek met ultrageluid met zich mee heeft gebracht. In de zwart-wit weergave in figuur 10 is dit helaas slechts in geringe mate te appreciëren!

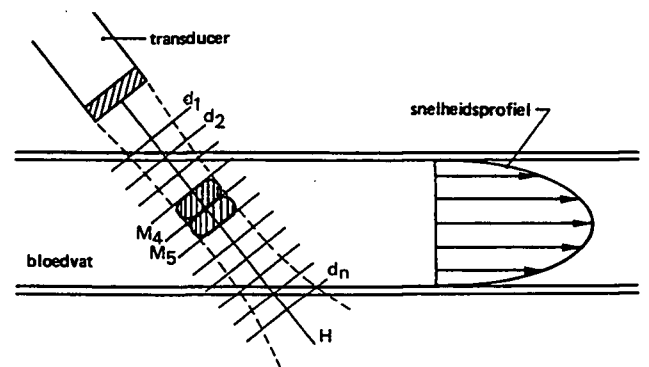


Fig.9: Principe van "multigate" gepulst Dopplersysteem. In één meting wordt een discrete versie van het snelheidsprofiel over de doorsnede van het bloedvat verkregen.

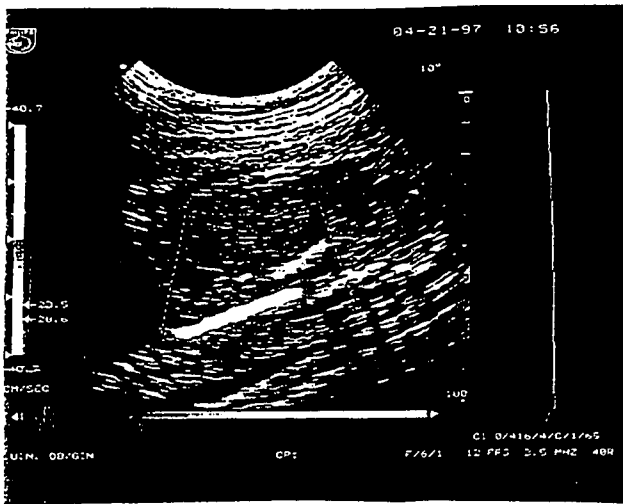


Fig.10: Zwart-wit weergave van kleuren-Dopplerbeeld.

### Recente ontwikkelingen

De twee-dimensionale kleuren-Dopplertechniek werd onlangs op interessante wijze verder ontwikkeld. Voor het onderzoek van het hart werd de apparatuur uitgebreid met een keuzemogelijkheid voor weergave in kleur van juist de lage Dopplerfrequenties. Toegepast op het hart: de volledige anatomie van de hartspier en de hartkleppen wordt dan in kleur weergegeven. De kleuren hangen af van de richting van bewegen, van de fase in de hartcyclus (contractie versus dilatatie) en uiteraard van eventuele pathologie. Met name het opsporen en lokaliseren van een hartinfarct is een belangrijke toepassing van deze "Tissue Doppler Imaging" (TDI) techniek.

Een andere ontwikkeling betreft de echo contrastmiddelen. Dit zijn emulsies van zeer kleine (enkele micrometers) gasballetjes ingesloten in een oplosbare coating. Na inspuiting in een ader van een bolus van contrastmiddel wordt dit door de bloedstroom door het gehele vaatstelsel verspreid. Een direct voordeel is dat de sterkte van het Dopplersignaal wel 10x zo hoog kan worden dan die van bloed. Dit levert dus meer nauwkeurigheid en kwaliteit van de Dopplersnelheidsmetingen en afbeeldingen op.

### Conclusie

Dopplertechnieken zijn van groot belang in de medische diagnostiek, zowel in de cardiologie als in de vaatziekten. Naast kwantitatieve metingen met continue en gepulste Dopplertechnieken, in combinatie met echografische beeldvorming, zijn diverse twee-dimensionale kleuren-Dopplertechnieken ontwikkeld voor het opsporen en lokaliseren van afwijkingen.

### Literatuur

- McDicken W.N. (1991) *Diagnostic Ultrasonics. Principles and Use of Instruments*. Churchill Livingstone, Ltd.
- Thijssen, J.M. e.a. (1992). *Handboek Echografie*. (verkrijgbaar bij Leidse Onderwijsinstellingen). Leiderdorp, ISBN 90-6783-008-9

## Appendix A

### AFLEIDING DOPPLERVERSCHUIVING

Tijdsduur voor het uitzenden van één periode  $T$  met een (zend)frequentie  $f_0$  :

$$T = \frac{\lambda}{c} \quad (A1)$$

waarin  $\lambda$  = golflengte  
 $c$  = geluidssnelheid (in water  $\sim 1500$  m/s)

Tijdsduur voor het ontvangen van één periode op een ontvanger die beweegt met snelheid  $v$

$$T = \frac{\lambda'}{c - v} \quad (A2)$$

Uit (A1) en (A2) volgt dan na gelijkstelling:

$$\frac{\lambda}{c} = \frac{\lambda'}{c - v} \quad (A3)$$

Invullen van de golflengtes, gedefinieerd als:

$$\lambda = \frac{c}{f_0} \quad \text{en} \quad \lambda' = \frac{c}{f_0 + f_D}$$

waarin:  $f_0$  = uitgezonden frequentie van het ultrageluid  
 $f_D$  = Dopplerverschuiving van de frequentie

in formule A3 levert:

$$\frac{1}{f_0} = \frac{c}{(f_0 + f_D)(c - v)} \quad (A4)$$

Omdat in de toepassing voor het meten van de bloedstroom altijd geldt:  $v \ll c$ , volgt:

$$f_D = \frac{f_0 v}{c} \quad (A5)$$

Omdat in de puls-echo methode het ultrageluid door de bewegende ontvanger (bloedcel) weer naar de transducer wordt teruggekaatst is de Doppler verschuiving een factor 2 hoger. Als dan ook nog rekening wordt gehouden met de hoek  $\alpha$  tussen de invallende geluidsbundel en het bloedvat, geldt de volgende algemene formule:

$$f_D = \frac{2f_0 v \cos\alpha}{c} \quad (A6)$$

## Appendix B

### BEPALLEN VAN DE DOPPLERFREQUENTIE VERSCHUIVING MET FM-DEMODULATIE

Echosignalen van stationaire structuren,  $e_s(t)$ , en van stromende deeltjes,  $e_D(t)$ :

$$e_s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi_s) \quad (B1)$$

$$e_D(t) = B \cos[2\pi(f_0 + f_D)t + \varphi_D] \quad (B2)$$

Totale ontvangen signaal (met weglating van de fase termen):

$$e_{tot} = A \cos(2\pi f_0 t) + B \cos[2\pi(f_0 + f_D)t] \quad (B3)$$

FM-demodulatie wordt verkregen door vermenigvuldiging met de zendfrequentie:

$$e'_{tot} = e_{tot} * \cos(2\pi f_0 t) \quad (B4)$$

Uitwerken van deze formule na invullen van B3 levert dan:

$$e'_{tot} = \frac{A}{2} \cos(2\pi 2f_0 t) + \frac{B}{2} [\cos(2\pi(2f_0 + 2f_D)t) + \cos(2\pi f_D t)] \quad (B5)$$

Dit signaal wordt door een laagdoorlatend filter gevoerd, hetgeen oplevert:

$$e''_{tot} = \frac{B}{2} \cos(2\pi f_D t) \quad (B6)$$



# Fysica van spraak en gehoor

J. Wouters

## Inleiding

Spreken en horen zijn samen met het zicht onze belangrijkste vormen van communicatie. Het proces van spreken en horen kunnen we ten dele begrijpen aan de hand van de natuurkunde. In deze lezing worden een aantal fysische aspecten op het pad van spraakuiting tot oor achtereenvolgens behandeld: spraakproductie, transfer door het spraakkanaal, uitstraling aan de mond, spraakanalyse, uitwendig oor, middenoor en binnenoer. We beperken ons hier tot niet-neurale componenten.

Vooreerst worden enkele basisbegrippen herhaald die we in deze uiteenzetting zullen toepassen. Het gaat dan om de begrippen geluidsniveau en enkelvoudige harmonische trilling. Het geluidsniveau in decibel (dB) wordt gedefinieerd als:

$$10 \log (p/p_{ref})^2$$

met  $p$  de geluidsdruk en  $p_{ref}$  een referentiegeluidsdruk. Met  $p_{ref} = 20 \cdot 10^{-6}$  Pa als referentiegeluidsdruk, welke ongeveer overeenkomt met de gehoordrempel van normaalhorenden bij frequenties rond 1000 Hz, spreken we van geluidsniveau in dB SPL (SPL = Sound Pressure Level). Ter vergelijking, de statische atmosferische druk is ongeveer  $10^5$  Pa. Het logaritme is een optimale schaal om het zeer grote effectieve dynamische bereik van het menselijke gehoor, namelijk  $10^{12}$  in  $(p/p_{ref})^2$ , van 0 tot 120 dB, te kwantificeren.

Complexe trillingspatronen of geluiden kunnen wiskundig voorgesteld worden als opgebouwd uit enkelvoudige harmonische trillingen of sinusfuncties van de vorm

$$y = A \sin (2\pi f t + \varphi)$$

met de drie parameters maximale amplitude  $A$ , frequentie  $f$  en fase  $\varphi$ . Ook wordt de notatie  $2\pi f = \omega$  gebruikt. Verder hebben we dat de voortplantingssnelheid van de geluidsgolven geschreven kan worden als  $v = \lambda f$ , en het golfgetal  $k = 2\pi/\lambda$ . In dit verhaal worden een aantal vergelijkingen



toegepast en enkele eenvoudige modellen gebruikt om spraak en gehoor fysisch beter te begrijpen.

## Spraak

Om spraak fysisch te begrijpen moeten we natuurlijk starten bij een anatomisch overzicht van de larynx met de stembanden via keel-, neus- en mondholte tot aan de mond. Gebaseerd op een bron-filter model zijn we in staat om een groot aantal aspecten kwalitatief te verklaren. Bij deze modellering van spraak worden drie fases beschouwd: de geluidsproductie, de transfer van het geluid door het spraakkanaal en de uitstraling van het geluid via de mond. Een eerste geluidsbron bij spraakklanken is de trilling van de stembanden. Zo worden alle klinkers via stembandtrillingen gegenereerd. Ten tweede worden bepaalde klanken gegenereerd aan een vernauwing die bij articulatie in het spraakkanaal wordt aangebracht met tanden, tong of lip. Door een luchtdrukverhoging ontstaat er dan achter de vernauwing een luchturbulentie. Op deze manier worden fricatieven of wrijfklanken voortgebracht ( $f$ ,  $s$ ,  $ch$ ,  $v$ ,  $z$ , zachte  $g$ ). Ten derde wordt bij een aantal klanken een volledige afsluiting van het spraakkanaal gebruikt om bij drukverhoging en dan plots ontsluiten aanleiding te geven tot stopklanken of (ex)plosieven ( $p$ ,  $t$ ,  $k$ ,  $b$ ,  $d$ , Franse  $g$  in Franse  $ga/go$ ). Deze twee laatste manieren kunnen eveneens in combinatie met stembandtrillingen gegenereerd worden zoals aangegeven bij de voorbeelden.

We zullen in wat volgt vooral stemhebbende klanken behandelen. Het biologisch periodisch openen en sluiten van de stembanden kan begrepen worden aan de hand van de vergelijking van Bernoulli:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{constant}$$

Achter de stembanden wordt een druk opgebouwd, bij openen van de stembanden zal de snelheid van de luchtdeeltjes die langs de stembanden stromen toenemen wat vervolgens dan weer een drukverlaging gaat veroorzaken (de derde term in de vergelijking van Bernoulli is constant) en

de stembanden gaat doen sluiten en de cyclus herbegint weer. Deze periodiciteit is de fundamentele frequentie F0 van de stem en deze F0 verschilt van individu tot individu, maar de gemiddelde F0-waarden van man, vrouw en jong kind verschillen significant. Ze bedragen ongeveer 100 Hz, 200 Hz en 300 Hz respectievelijk.

De Franse natuurkundige Fourier heeft aangetoond dat elke willekeurige trilling met een bepaalde periodiciteit kan uitgedrukt worden als een sommatie over enkelvoudig harmonische trillingen met frequenties veelvoudigen van die periodiciteit, de fundamentele frequentie (in dit geval de F0).

$$\text{Periodieke functie} = \sum_n A_n \sin(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

met  $f_n = n f_1 = n F0$

In figuur 1 wordt de luchtdeeltjessnelheid als functie van de tijd weergegeven voor opeenvolgende stembandopeningen. Als we van deze tijdsdomeinrepresentatie overgaan naar het frequentiedomein krijgen we een benaderd spectrum zoals weergegeven in het tweede deel van deze figuur, met in het spectrum een groot aantal harmonischen n van de grondtoon of fundamentele frequentie F0 en met amplitudes die ongeveer afnemen volgens  $1/n^2$ . Het stemspectrum heeft benaderd een amplitude-afname als functie van frequentie van ongeveer -12 dB per octaaf.

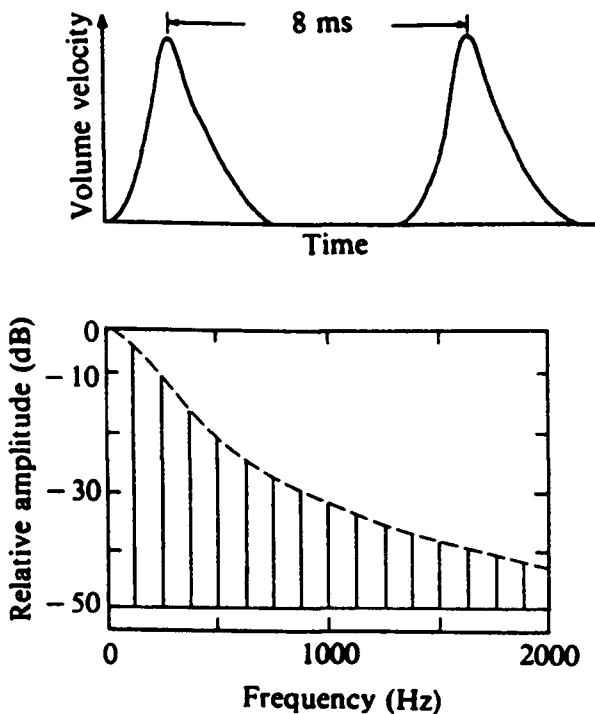


Fig.1: De tijds- en frequentiedomeinrepresentaties van stembandtrillingen bij een fundamentele frequentie F0 van ongeveer 125 Hz.

Een tweede stap bij spraak is de transfer van deze geproduceerde geluiden door het spraakkanaal naar de mond. Hierbij speelt de vorm van het spraakkanaal een belangrijke

rol. Het is in feite een tijdsvariërend filter vanwege de resonantieholtes die verschillende delen in het gegenereerde spectrum kunnen bevoorjelen. Gebaseerd op het model van een buis met een bepaalde lengte en met één open en één gesloten uiteinde, kunnen we eenvoudig de resonantiefrequenties van deze configuratie berekenen. De twee uiteinden leggen randvoorwaarden op aan de sommatie van twee lopende golven met tegengestelde looprichting en zo komen we tot de resonantiefrequenties:

$$f_n = (2n-1) v / 4L \text{ met } n = 1,2,3,\dots$$

en als waarden  $f_1, 3f_1, 5f_1, \dots$  en  $f_1 = v/4L$

met v de voortplantingssnelheid van het geluid in het beschouwde medium en L de lengte van de buis. Dit kan als model gebruikt worden voor het spraakkanaal. Met de gemiddelde lengte van ongeveer 17 cm bij volwassenen, komen we tot resonantiefrequenties van 500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz, ... . Deze bevoorjelden frequenties in het spectrum worden formanten genoemd en worden weergegeven als F1, F2, F3, ... . Natuurlijk, de verschillende klanken worden via verschillende in de tijd variërende articulatiestanden of vormen van deze respectievelijke resonantieholtes geproduceerd. In figuur 2 wordt voor drie verschillende klanken (ie, aa, oe) een dwarsdoorsnede van het spraakkanaal getoond.

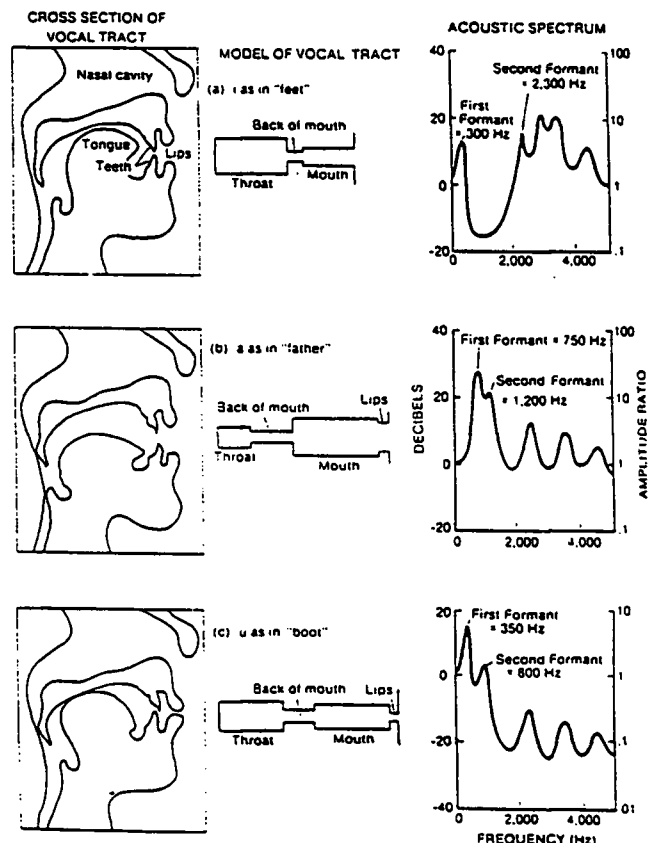


Fig.2



Daarnaast zien we dit spraakkanaal vereenvoudigd tot een model. Geheel rechts is de daarmee verbonden spectrale omhullende met de formanten van de beschouwde resonantiestructuur te zien. Deze omhullende moet vermenigvuldigd worden met het geluidsspectrum (zie figuur 1) om de transfer in rekening te brengen. Via deze formantwaarden zijn we in staat om een classificatie van klinkers op te bouwen, wat een belangrijk deel is van de akoestische fonetiek. In figuur 3 worden verschillende Nederlandse klinkerfonemen (fonemen zijn kleinste spraakklankeenheden) voorgesteld in functie van de twee eerste formanten  $F_1$  en  $F_2$ .

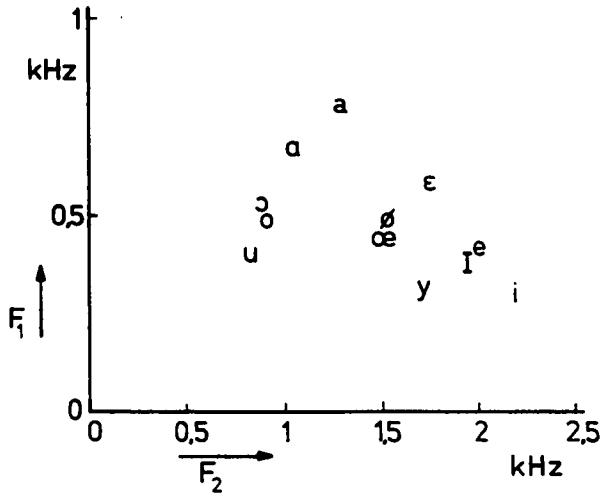


Fig.3: Overzicht van verschillende Nederlandse klinkerfonemen, als functie van formanten  $F_1$  en  $F_2$ .

Deze formanten zijn de belangrijkste akoestische parameters bij de identificatie van klinkers, zoals blijkt uit spraakperceptie-onderzoek. Dit noemt men de klinkerdriehoek omdat de  $F_1/F_2$  waarden van de verschillende klinkers uit de Nederlandse spreektaal binnen de ie-aa-oe driehoek vallen. De formantwaarden die we voor het eenvoudig model van een homogene buis van 17 cm berekenden vallen samen met het centrum van deze driehoek, die overeenkomt met de doffe e.

In figuur 4 wordt achtereenvolgens het spectrum voorgesteld van (a) een doffe e met fundamentele frequentie 100 Hz, (b) een doffe e met  $F_0 = 200$  Hz, (c) een aa met  $F_0 = 200$  Hz. Het verschil tussen stem- en transferkarakteristiek door het spraakkanaal is duidelijk. Bij een aantal medeklinkers zal het brongeluid verschillend zijn en voortgebracht worden via luchturbulentie of plotse ontsluiting op een bepaalde plaats in het spraakkanaal. We hebben dan eveneens met een transfer te maken van dit geluid door het resterende deel van het spraakkanaal, dat in deze gevallen weliswaar korter is en dus aanleiding geeft tot meer hoogfrequente respons. Als derde factor bij spraakproductie moeten we nog rekening houden met de frequentie-afhankelijke uitstralingsefficiëntie van de mond. Dit is analoog aan het golflengtebrondimensie verband bij luidsprekers. Namelijk, voor een

brondiameter kleiner dan de golflengte  $\lambda$  is de geproduceerde geluidsdruk ongeveer evenredig met de frequentie. Dit betekent een toename als functie van frequentie met +6 dB per octaaf, wat dan weer met het ongeveer -12 dB/octaaf spectrum aan de geluidsbron tot ongeveer -6 dB/octaaf leidt. Een spectrale analyse van opnames van ongeveer 1 uur spraak van een mannelijke en een vrouwelijke spreker (één- en meerlettergrepige woorden die gebruikt worden in spraakaudiometrie) levert een spectrum dat zeer goed in overeenstemming is met deze -6 dB/octaaf afname.

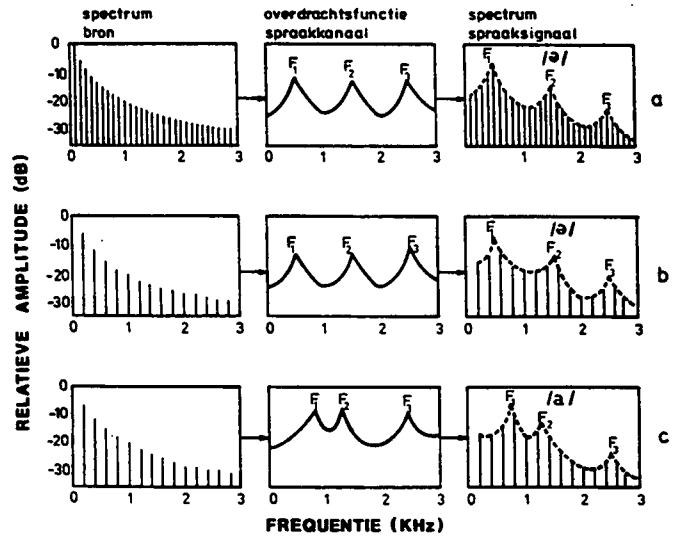


Fig.4: Drie voorbeelden van twee klinkers en twee verschillende grondtonen.

### Gehoer

In figuur 5 wordt een anatomisch overzicht getoond van het perifere gehoororgaan. Het oor kan men opgebouwd zien uit het uitwendig oor tot aan het trommelvlies, het middenoor tot aan de cochlea en het binnenoor waaronder de cochlea.

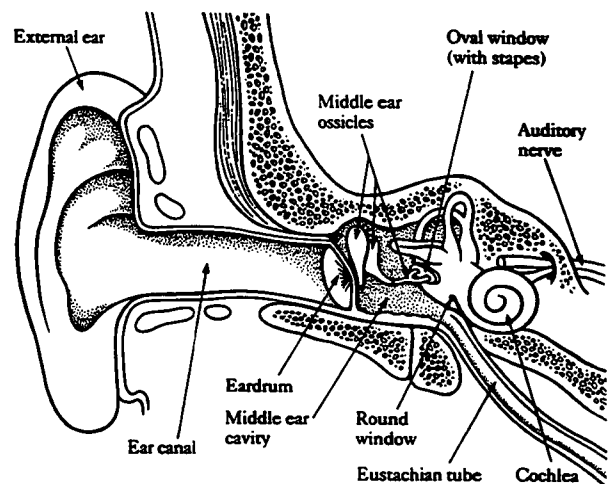


Fig.5: Anatomisch overzicht van het oor.

Het middenoor bevat de gehoorbeentjes hamer, aambeeld en stijgbeugel (stapes), die de trillingen van het trommelvlies overbrengen naar trillingen van het ovale venster aan de ingang of het basale uiteinde van de cochlea. Het verre uiteinde van de cochlea wordt de apex genoemd. Bij het uitwendige oor spelen vooral de resonanties van de gehoorgang en de concha (holte in de oorschelp) een belangrijke rol bij de transmissie van het geluid naar het middenoor. Zo kunnen we zien in figuur 6, waar de akoestische winst als functie van frequentie weergegeven wordt, dat de resonantiefrequenties respectievelijk bij ongeveer 2500 Hz en 5000 Hz liggen. Deze frequenties komen zeer goed overeen met wat volgt uit toepassing van het eenvoudige model om resonantiefrequenties af te leiden uit de afmetingen van gehoorgang en concha. In totaal zorgt het uitwendig oor voor een winst van ongeveer 15 à 20 dB voor frequenties in het gebied van 2 tot 5 kHz. Het zijn juist deze frequenties die voor het spraakverstaan van het grootste belang blijken te zijn.

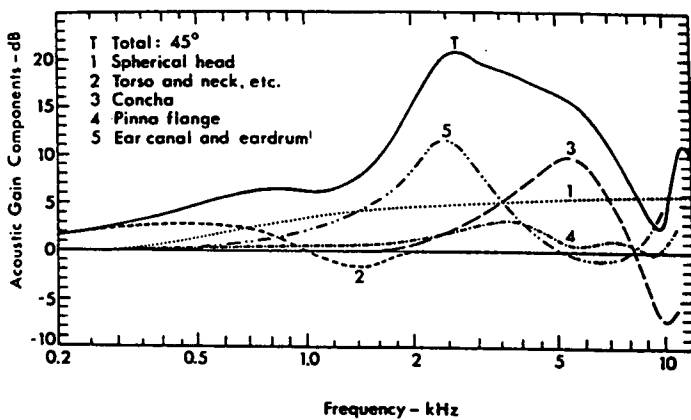


Fig.6: Gemiddelde winst in geluidsdruk vanwege verschillende componenten van het uitwendige oor.

Het middenoor bevat de gehoorbeentjesketen en heeft enkele belangrijke functies, waaronder bescherming tegen luide geluiden en impedantie-aanpassing. De bescherming tegen luide geluiden gebeurt via kleine spiertjes die bij luide geluiden samentrekken. Doordat ze verbonden zijn met de gehoorbeentjes wordt de stijfheid van het transmissiesysteem groter, wat aanleiding geeft tot een verschuiving van de natuurlijke frequentie van het systeem en dus een gereduceerde trillingstransmissie.

De tweede belangrijke functie van het middenoor is de impedantie-aanpassing. Vooreerst berekenen we de sterk gereduceerde energietransmissie van geluidsgolven bij een lucht-water overgang vanwege een groot verschil in impedantie. Het middenoor zorgt bij de overgang van akoestische energie naar trillingsenergie in de vloeistoffen van de cochlea (die qua fysische eigenschappen in dit kader te vergelijken zijn met water), voor een impedantie-aanpassing en bijgevolg voor een sterk gereduceerd verlies.

De akoestische impedantie van een medium voor geluidsgolven is  $Z = \rho v$ , met  $\rho$  de dichtheid van het medium en  $v$  de

voortplantingssnelheid van geluidsgolven in dat medium. Bij loodrechte inval van een golf  $y$  op de overgang van medium  $Z_1$  naar  $Z_2$  krijgen we een gereflecteerde golf  $Ry$  en een transmissiegolf  $Ty$ , waarbij

$$R = (Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2) \quad \text{en} \quad T = 2Z_1 / (Z_1 + Z_2)$$

Daar de geluidsintensiteit  $I$  evenredig is met  $Zf^2A^2$  kunnen we de verhouding  $I_2/I_1$  voor een lucht-water overgang berekenen als  $T^2Z_2/Z_1 \approx 0,001!$

Dit betekent dat vanwege het impedantieverschil vrijwel alle geluidsenergie weerkaatst wordt. In het middenoor wordt dit verlies bijna volledig goedge maakt door impedantie-aanpassing, meer bepaald door drie factoren. Ten eerste, er is een verschil in trillingsoppervlak tussen het trommelvlies (ongeveer  $80 \text{ mm}^2$ ) en het ovale venster (ongeveer  $3 \text{ mm}^2$ ) welke de toegang van de trillingen naar de cochlea is. Daar de druk  $p = F/S$ , met  $F$  de uitgeoefende kracht op het oppervlak  $S$ , komen we zo tot een verhoging van de trillingsdruk. Ten tweede, daar de hamer ongeveer  $1,15x$  langer is dan het aambeeld, moeten we hefboomwerking meerekenen, namelijk  $F_1L_1 = F_2L_2$ . Als derde factor hebben we nog dat de hamer minder beweegt dan het oppervlak van het trommelvlies vanwege krommen en krullen van het trommelvlies. Dit geeft aanleiding tot ongeveer een factor 2 in krachtconcentratie. Deze drie factoren samen zorgen ervoor dat tot ongeveer 30 dB van het verlies vanwege het impedantieverschil tussen de twee media, opgevangen wordt. Natuurlijk is dit frequentie-afhankelijk. De transferfunctie, namelijk de winst in trillingsdruk in de cochlea ten opzichte van de trillingsdruk aan het trommelvlies, is als functie van frequentie weergegeven in figuur 7. De winst is het belangrijkste bij frequenties die voor spraakverstaan belangrijk zijn.

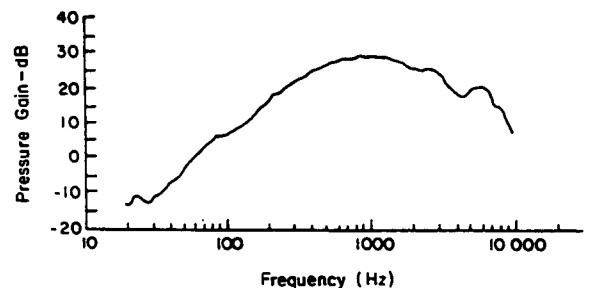


Fig.7: Transferfunctie van het middenoor als functie van frequentie.

In de cochlea worden de trillingen van de stijgbeugel omgezet naar lopende golven op het basilaire membraan, dat zich over de hele lengte van de cochlea tussen met vloeistof gevulde kamertjes bevindt. Op het basilaire membraan ligt het lichaam van Corti met de haarcellen (in totaal ongeveer 20000) waarin de transductie gebeurt van trillingsenergie naar chemo-neurale actiepotentialen in de neurale uitlopers

van de gehoorzenuw. Deze lopende golven hebben, afhankelijk van de frequentie-inhoud van het oorspronkelijke signaal, hun maximale amplitude op verschillende plaatsen langs het basilaire membraan. Dit noemt men de tonotopie (frequentie-plaats codering): van het basale naar het apicale uiteinde van de cochlea worden respectievelijk de hoge tot de lage frequenties in het aangeboden signaal omgezet naar neurale spikes. De cochlea fungeert als het ware als een continue filterbank.

### Referenties

- P.B. Denes & E.N. Pinson (1993). *The speech chain*. NY: W.H. Freeman and Company.
- T.D. Rossing (1990). *The science of sound*. Addison-Wesley Publishing Company.
- S.G. Nootboom & A. Cohen (1995). *Spreken en verstaan*, Van Gorcum.
- J.G. Roederer (1995). *The physics and psychophysics of music*. NY: Springer-Verlag.
- D. O'Shaughnessy (1987). *Speech communication: Human and machine*. Addison-Wesley Publishing Company.
- L.C. Pols, H.R. Tromp & R. Plomp (1973). Frequency analysis of Dutch vowels from 50 male speakers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 53, 1093-1101.
- J.O. Pickles (1991). *An introduction to the physiology of hearing*. Academic Press.





# Biofysica-onderwijs: méér dan alleen natuurkunde- onderwijs

*C.J. Erkelens*

## **Inleiding**

Het VWO-programma voor de natuurkunde bevat enige biofysische onderwerpen. De leerboeken behandelen deze onderwerpen door eenvoudige fysische principes te demonstreren in biologische systemen. Deze aanpak doet de biofysica tekort en geeft geen realistisch inzicht in de werking van de biologische systemen. Leerlingen, en misschien ook leerkrachten, zouden ten onrechte de indruk kunnen krijgen dat de biofysica niet erg interessant is en dat de biologische systemen volledig zijn begrepen. Het onderwerp 'zien', zoals dat in het VWO wordt behandeld, zal ik als voorbeeld nemen om te illustreren hoe de stof interessanter kan worden gemaakt op een wijze die de biologische werkelijkheid meer recht doet.

## **Zien**

Zien is een interpretatie van de buitenwereld die, op basis van afbeeldingen op de netvliezen van de beide ogen, in de hersenen tot stand komt. Zien vergt dus veel meer dan het afbeelden van objecten op de netvliezen. Beperken we ons in eerste instantie tot de beide ogen dan kunnen we vaststellen dat deze niet alleen uit optische, maar ook uit regelbare mechanische systemen bestaan. De ogen zelf, en in de ogen de iris en de lens, worden door spieren bewogen. Nauwkeurige besturing van deze systemen is van belang voor de kwaliteit van de optische afbeelding op de netvliezen. In de netvliezen worden de afbeeldingen via een fotochemisch proces in elektrische signalen omgezet die via ongeveer een miljoen zenuwvezels per oog naar een groot aantal gebieden in de hersenen worden getransporteerd. Miljarden hersencellen dragen bij aan de verwerking van de signalen die uiteindelijk leidt tot de sensatie die we zien noemen. Over de werking van de individuele cellen is reeds veel bekend. Het zien als eindproduct van de activiteit van deze zenuwcellen is nog steeds een groot mysterie.



## **Biofysica-onderwijs**

Biofysica is de natuurkunde van de levensprocessen. Onderwijs geven in de biofysica houdt in dat men laat zien hoe het gebruik van fysische methoden en concepten inzicht geeft in de werking van de levensprocessen. In het biofysica-onderwijs snijdt het mes zo aan twee kanten: de leerlingen oefenen de natuurkunde en verwerven inzicht in de eigenschappen en werking van biologische processen. Biofysica-onderwijs is per definitie multi-disciplinair. In het geval van het onderwerp 'zien' is een combinatie van de vakken biologie, wiskunde en natuurkunde gewenst. De biologie levert de kennis van de anatomie en fysiologie van het oog en van het centrale zenuwstelsel. De wiskunde levert o.a. noodzakelijke gonio- en stereometrische concepten terwijl de optica, mechanica en elektriciteitsleer relevante bijdragen uit de natuurkunde zijn. Bovendien kunnen bijdragen uit de psychologie (perceptie) de leerling een introductie geven in eigenschappen van de visuele waarneming (bijvoorbeeld de waarneming van kleur en diepte). De geneeskunde (oogheelkunde, neurologie) kan demonstreren wat de gevolgen van beschadigingen van het oog of van het zenuwstelsel zijn voor het zien.

## **Thema's**

**Waarneming** - Waarnemen en dus ook zien is het resultaat van meten en interpreteren. Interpretatie is alleen mogelijk als men een model heeft van het systeem waaraan men meet. Dit principe vormt de basis van alle experimentele wetenschappen. Het verschil tussen meten en waarnemen is bij het zien gemakkelijk te illustreren. Denk bijvoorbeeld aan de oriëntatie en de kwaliteit van het tweedimensionale netvliesbeeld in relatie tot de driedimensionale waarneming van de visuele omgeving. Zulke voorbeelden kunnen leerlingen inzicht geven in het verzamelen en interpreteren van experimentele gegevens.

**Beeldvorming** - De metafoor 'het oog is een camera' wordt bijna in elk natuurkundeboek gebruikt. Inzicht in de anatomie en fysiologie van het oog laat zien hoe beperkt deze metafoor geldig is. Verschillen ten opzichte van de beeldvorming in een camera komen vooral tot uiting in de vorm van het oog en de ligging, verdeling en eigenschappen van de lichtgevoelige receptoren in het netvlies. Naast het vergelijken van oog en camera kan het bovendien leerzaam zijn om het netvliesbeeld met de beelden van niet-visuele technieken zoals bijvoorbeeld CT en MR te vergelijken.

**Regelkringen** - De stand van het oog, de grootte van de pupil en de kromming van de lens zijn regelbaar. Ze worden gestuurd door fysiologische regelkringen waarin stimulatie van een sensor via zenuwactiviteit in spiercontractie wordt omgezet. Regelkringen komen zowel in de natuur als in de techniek zeer algemeen voor. Eenvoudige experimenten aan oogbewegingen en pupilreflexen kunnen inzicht geven in de werking van regelkringen en bijdragen aan inzicht over het zien.

**Mechanica** - We kunnen het oog opvatten als een bol die door zes spieren om een vast punt wordt geroteerd. Spieren kunnen alleen contraheren en relaxeren, m.a.w. alleen transleren. Kennis van de anatomie van ogen en oogspieren geeft inzicht in de relatie tussen krachten en momenten. Een eenvoudig model bestaande uit een bol en een stel veren leent zich uitstekend om mechanische wetten te leren toepassen.

**Vrijheidsgraden** - De bouw van het oog, de oogkas en de zes oogspieren beperken de bewegingsvrijheid van het oog. Naast deze fysieke beperking legt het besturingsstelsel van het oog nog extra beperkingen aan de bewegingen van het oog op. Bovendien zijn de bewegingen en de oriëntaties van de twee ogen aan elkaar gekoppeld. Aandacht voor deze aspecten van de oogmotoriek geeft inzicht in begrippen als coördinatenstelsels, vrijheidsgraden en rotatiebewegingen.

**Geometrie** - Onze omgeving wordt op de netvliesen van beide ogen afgebeeld. Beide afbeeldingen zijn tweedimensionaal. Kleine verschillen tussen de beide afbeeldingen worden door het visueel systeem geïnterpreteerd als diepte. Het verband tussen de verschillen in netvliesafbeeldingen en diepte vereisen wiskundig inzicht op het gebied van de goniometrie en de stereometrie. Het maken van stereogrammen en autostereogrammen kan een leerzaam en amusant uitvloeisel van dit inzicht zijn.

**Kleur** - In het oog en de hersenen bestaat een ingewikkeld kleursysteem dat verschillen in golflengte kan verwerken. Wanneer we het over kleur hebben is het belangrijk de natuurkundige en de biologische aspecten goed uit elkaar te houden. De fysische kennis die nodig is, blijft beperkt tot elementaire feiten over de aard van lichtgolven. De

biologie omvat de psychofysica, de wetenschap die zich bezighoudt met de vraag hoe de mens in staat is zijn omgeving waar te nemen, en de fysiologie, die zich richt op de werking van het visueel systeem. Hoewel veel bekend is over de natuurkunde en de psychofysica van het zien van kleuren zijn er maar weinig natuurkundigen en biologen die iets van het verschijnsel kleur begrijpen. Kleur is een onderwerp dat bij uitstek geschikt is om het verschil tussen meten en interpreteren te laten zien.

**Illusies** - Zien is niet mogelijk zonder dat we veronderstellingen doen over de fysische wereld die verantwoordelijk is voor de netvliesbeelden. Deze veronderstellingen, modellen van de wereld, kunnen in het zenuwstelsel zijn 'ingebakken' of door middel van opgedane ervaring zijn geleerd. Illusies zijn waarnemingen waarvan door kennis of uit andere waarnemingen blijkt dat bepaalde veronderstellingen niet overeenkomen met de fysische werkelijkheid. Illusies bieden niet alleen leuk lesmateriaal omdat ze zo verrassend zijn, maar ook geven ze inzicht in concepten die aan het zien ten grondslag liggen.

De beschreven thema's illustreren dat het onderwerp zien zeer geschikt is voor het onderwijzen van natuurkunde in samenhang met andere vakken zoals biologie en wiskunde. Het thema 'zien' biedt geschikte, multi-disciplinaire onderwerpen die door leerlingen zelfstandig in de tweede fase van het VWO kunnen worden bestudeerd.

#### Literatuur

D.H. Hubel (1990). *Visuele informatie: schakelingen in onze hersenen*. Maastricht/Brussel: Natuur- & Techniek.

# Kunstledematen

L.J. Peeraer

Katholieke Universiteit Leuven



Een verloren, of bij de geboorte afwezig lichaamsdeel kan door een kunstlidmaat vervangen worden. De algemene term die daarvoor gebruikt wordt is 'prothese', een woord afgeleid uit het Griekse 'pro tithémi': ik plaats in de plaats van. Deze term is echter weinig specifiek: denk maar aan tandprothesen en dergelijke. De inwendig gebruikte prothesen worden daarom meestal endoprothesen genoemd; bijv. een endoprothese voor de heup, de knie, teengewrichten, enz. Voor uitwendig gebruik wordt gewoon de term 'prothese' gehanteerd. Wanneer het echter over het vervangen van een hand, arm of been gaat spreekt men beter over kunstledematen, naar analogie met de term die in Anglosaksische landen gebruikt wordt nl. 'artificial limbs'.

Het ontbreken van een lidmaat bij de geboorte, of het verlies van het lidmaat door ziekte of ongeval is niet enkel een anatomisch, maar vooral een functioneel probleem. Ook de psychologische gevolgen van dit verlies mogen niet onderschat worden: het lichaamsbeeld dat men van zichzelf heeft is immers nog steeds dat van een persoon met twee armen en twee benen, wat in conflict is met wat de persoon ervaart.

Het kunstlidmaat zal deze drie aspecten zo goed mogelijk moeten vervangen. Bij het ontwerpen ervan staat men dus voor heel wat moeilijk op te lossen problemen. Ieder moet zich bewust zijn van het feit dat men nooit terug zal krijgen wat men verloren is, en dat het kunstlidmaat de bovenvermelde factoren maar partieel zal herstellen, ook al kunnen sommigen opmerkelijke sportprestaties leveren met een dergelijk toestel. Voorbeeld daarvan is het lopen van de honderd meter met twee onderbeenprothesen in 11,6 seconden.

Een kunstlidmaat bestaat in essentie uit twee delen: een *koker*, en het *anatomisch-functionele deel*.

## Koker

De koker omgeeft de amputatiestomp, en soms nog een deel daarboven. Zijn functie is het kunstlidmaat aan het lichaam te bevestigen en een gepaste kracht- en momentwerking tussen lichaam en toestel mogelijk te maken.

Om de verbinding voldoende stabiel te maken werden vroeger vooral bandages gebruikt. Voor bepaalde amputatieniveau's kunnen vorm en structuur van de stomp zelf gebruikt worden door de koker te laten insnoeren net boven beenderige uitsteeksels zoals rond knie en enkel. Begrippen zoals druk, schuifkracht en wrijving zijn hier van toepassing.

Gunstiger is echter de koker erg passend te maken zodat, na een bepaalde aantrekprocedure, nagenoeg alle lucht tussen stomp en koker verwijderd is. Na luchtdicht afsluiten van het geheel zal de bevestiging gerealiseerd zijn door de luchtdruk. Vermits lucht echter samendrukbare is, en  $p \cdot V = C$ , moet de hoeveelheid ingesloten lucht zo klein mogelijk zijn. Zoniet, dan zal de pompwerking tussen stomp en koker het vrije volume doen toenemen, met een drukdaling als gevolg. Deze 'zuigwerking' kan de huid ernstig beschadigen.

Idealiter zou het kunstlidmaat echter rechtstreeks met het bot verbonden moeten worden. Bij deze recente, en voor beenprothesen nog grotendeels experimentele techniek, wordt gebruik gemaakt van een transcutaan implantaat uit titanium. De bevestiging aan het botuiteinde van de amputatiestomp is vergelijkbaar met de endoprothesen. Verschil is echter dat het implantaat door de huid naar buiten komt. Dit uiteinde is voorzien van een koppelstuk waaraan het kunstlidmaat bevestigd wordt. Deze techniek wordt reeds jaren met succes toegepast voor tandprothesen, maar verkeert nog in een experimenteel stadium voor kunstledematen, met uitzondering van kunstvingers waar de techniek veelbelovend blijkt te zijn.

## Anatomisch-functioneel deel

Een zuivere *anatomische* vervanging is terug te brengen tot een zo goed mogelijk cosmetisch herstel. Dit kan tegenwoordig gerealiseerd worden door gebruik te maken van siliconenrubbers die er na het kleuren, het voorzien van haar enz. uitzonderlijk realistisch uitzien.

Het *psychologische* aspect, meer bepaald het herstel van het gevoel in het kunstlidmaat, is echter moeilijk te

realiseren. Het aantal signalen dat wij uit onze omgeving opnemen is immers een veelvoud van de signalen die wij uitsenden naar de spieren. Een summier herstel kan verwezenlijkt worden door zgn. externe proprioceptie. Kleine kracht- of druksensoren worden op bepaalde plaatsen van het kunstlidmaat gemonteerd. De ontvangen signalen worden na bewerking teruggekoppeld naar de huid door zwakke elektrische stroomstootjes of vibrotactiele stimulatie (een kleine trillende stift, enigszins te vergelijken met een braillelezer).

Het *functioneel* herstel is eveneens een hele opgave. Dit verschilt in essentie voor het bovenste en het onderste lidmaat. Bovendien zijn geamputeerden aan de bovenste ledematen gemiddeld heel wat jonger dan deze met amputaties aan de onderste ledematen. Voor de eerste groep zijn vooral ongevallen oorzaak van de amputatie. De tweede groep wordt, in onze geïndustrialiseerde landen tenminste, vooral geamputeerd wegens vaataandoeningen. In landen in ontwikkeling zijn vooral ongevallen en oorlog, in het bijzonder mijnen, oorzaak van amputaties aan de benen.

#### **Arm- en handsystemen**

De functies van het bovenste lidmaat zijn in de eerste plaats willekeurig; bijv. het grijpen of manipuleren van voorwerpen. De eerste vereiste daarvoor is dat de hand gepositioneerd kan worden in de ruimte. Hoe hoger de amputatie, hoe moeilijker dit te realiseren is. De complexiteit van het kunstlidmaat zal dan ook in de eerste plaats afhangen van de amputatiehoogte.

Het aantal te herstellen vrijheidsgraden voor de arm is immers erg groot. Denk maar aan de bewegingsmogelijkheden van alle vingers, de pols, elleboog en schouder. Voor elk van deze vrijheidsgraden heeft men een actuator (bijv. een elektrische motor) nodig, en een onafhankelijk signaal om deze willekeurig te sturen. Het spreekt voor zich dat het inbouwen van een groot aantal motoren, die bovendien elk energie nodig hebben, een technisch probleem stelt. Moeilijker nog is het isoleren van de signalen die deze motoren moeten sturen. Deze signalen moeten afkomstig zijn van het lichaam. In de toekomst kan hier heel wat werk verricht worden door deze signalen rechtstreeks van de doorgesneden zenuwen te betrekken, maar op dit ogenblik is dat nog puur experimenteel en moet men zich behelpen met onrechtstreekse signalen die bekomen worden door bijv. de elektrische activiteit van overgebleven spieren te meten ter hoogte van de huid.

Deze moeilijkheden maken het dan ook noodzakelijk om de functies van het kunstlidmaat te herleiden tot het meest noodzakelijke: het buigen en strekken van de elleboog, het draaien van de pols en het openen en sluiten van de hand met een zogenaamde drievingergreep.

Een prothesehand bestaat dan ook in essentie uit drie vingers: de duim, wijsvinger en middenvinger. Beide laatste bewegingen niet ten opzichte van elkaar. De twee

overige vingers zijn zogenaamde "meelopers" en volgen passief de beweging van de twee eerste vingers. Deze kunsthanden kunnen overigens vervangen worden door speciale werkinstrumenten: zgn. grippers.

De kracht die nodig is om het kunstlidmaat te bewegen kan afkomstig zijn van het eigen lichaam door krachtoverbrenging met een kabel, of kan geleverd worden door een externe krachtbron.

In het eerste geval wordt een principe gebruikt dat ons welbekend is: nl. dat van een fietsrem. De kabel wordt bevestigd aan bijv. één schouder, terwijl de kabelhouder verbonden wordt met de andere. Door beide van elkaar weg te bewegen (het ronden van de schouders) verschuift de kabel ten opzichte van de kabelhouder zodat deze beweging overgebracht kan worden naar het te bewegen kunstgewricht.

In het tweede geval wordt een externe energiebron gebruikt om het gewricht te bewegen. Dit kan in de praktijk pneumatisch of elektrisch zijn. Bij het sturen van de beweging moet er alleszins overeenkomst zijn tussen intentie en resultaat. Naast het gebruik van schakelaars en dergelijke kunnen aan het huidoppervlak de zeer zwakke elektrische signalen opgevangen worden die ontstaan bij het samentrekken van een spier. Na filtering en bewerking kan dit signaal een controle-eenheid aansturen. Deze zal op zijn beurt bijv. de hand besturen in overeenstemming met wat de persoon wil.

Telkens zal een signaalniveau bepaald worden dat bereikt moet worden alvorens stroom van batterij naar motor loopt (two state). Vanaf dat ogenblik kan de sturing binair of proportioneel zijn. In het eerste geval loopt bij overschrijden van dit niveau de volle stroom naar de motor. Met dit alles-of-niets-principe is controle natuurlijk niet zo makkelijk. Bij de proportionele sturing is de stroomtoevoer (en dus de snelheid waarmee de motor draait) evenredig met de grootte van het spiersignaal. Dit maakt het mogelijk delicate manipulaties, bijv. met een ei of plastic beker, veilig uit te voeren.

Wat het sturen van een vrijheidsgraad betreft in elke zin, bijv. openen of sluiten van de hand, kan het principe gebruikt worden van het willekeurig openen (sluiten) door het stuursignaal, en het automatisch verloop van de tegengestelde beweging wanneer het signaalniveau niet bereikt is. Voordeel daarvan is dat slechts één signaal nodig is om twee tegengestelde bewegingen uit te voeren, maar de controlemogelijkheden zijn eerder beperkt. Alternatieven bestaan erin de signaalinhoud tot drie delen te herleiden (one site, three state) zodat na overschrijden van het signaalniveau de twee bewegingsrichtingen aangestuurd kunnen worden: het lage signaaldeel om bijv. te sluiten, en het hoge signaaldeel om te openen. Sequentiële sturing is eveneens mogelijk, waarbij beide bewegingsrichtingen achtereenvolgens door hetzelfde signaal aangestuurd worden.

Interessanter is echter om een afzonderlijk signaal te gebruiken voor elke bewegingsrichting: één om te openen, het andere om te sluiten (two site, two state). Ook



hier kunnen beide signalen sequentieel verschillende gewrichten aansturen zodat het aantal benodigde signalen (sites) beperkt kan worden.

Verfijnen van de beweging kan verder door gebruik te maken van sensoren en een microcontroller. De mogelijkheden van de micro-elektronica kunnen de mens hier rechtstreeks en letterlijk een handje toesteken. Een aantal functies die wij 'natuurlijk' en nagenoeg onbewust uitvoeren kunnen gecontroleerd worden door de elektronische eenheid. Zo kan door het uitrusten van de hand en vingers met kracht- en 'slip'-sensoren de micro-computer detecteren of het vastgehouden voorwerp stabiel in de hand ligt. Is dit niet het geval, en verschuift het voorwerp ten opzichte van de hand, dan zal de greep krachtiger worden. Op die manier wordt de nodige concentratie van de gebruiker verminderd, en het gebruiksgemak aanzienlijk verbeterd.

Bijkomend voordeel van microcontrollers is een grote flexibiliteit wat betreft het aanpassen of wijzigen van de bovenvermelde controlemogelijkheden door het vervangen van de stuuralgoritmes. Zo kan bij de nieuwste systemen de sturing op een eenvoudige manier volledig gewijzigd worden door een minuscule programmakaart in de controller te pluggen.

### **Knie- en voetsystemen**

De bewegingen van het onderste lidmaat zijn eerder gericht op een steunfunctie en verlopen overwegend als repetitieve bewegingssequenties waarbij de zwaartekracht en de grondreactiekracht bepalend zijn voor beweging en stabiliteit. Kennis van elementen uit de krachtwerking tijdens het normale gaan geven ons inzicht in wat de kunstgewrichten moeten kunnen.

Enkele eenvoudige mechanische principes worden dan ook gebruikt bij de opbouw van het kunstlidmaat. De kunstvoet, en vooral het kunstmatig kniegewricht kunnen zodanig gebouwd worden dat de geometrie ervan voor stabiliteit zorgt.

Een elementaire methode om bijv. tijdens het steunen voor stabiliteit te zorgen in het kniegewricht, is het verschuiven van het scharnier naar posterieur. De grondreactievector zal dan voor het scharnier vallen waardoor dit gestrekt blijft. Meerassige kniescharnieren, zoals bijv. vierstangen systemen, kunnen een gelijkaardig effect opleveren: bij volledige strekking ligt de centrode relatief posterieur en vrij hoog (in de nabijheid van het heupscharnier), terwijl deze bij buiging snel zakt tot kniehoogte.

Naast deze zorg voor stabiliteit is ook het aangepast en vloeiend verloop van de buig-strekbeweging tijdens de zwaafase van belang. Hiervoor worden courant pneumatische of hydraulische dempers gebruikt.

Net zoals voor de bovenste ledematen kunnen externe energiebronnen eveneens voor controle van het kniegewricht zorgen. In dat geval wordt een contolesysteem

(microprocessor) ingebouwd dat signalen uit de omgeving en eventueel de persoon zelf opvangt en bewerkt, waarna stuursignalen gegenereerd worden voor de actuator in de knie. Vermits enerzijds het leveren van positief vermogen nu eenmaal veel energie vergt, en anderzijds tijdens het normale gaan overwegend energie gedissipeerd wordt, kan een goed bewegingsverloop in belangrijke mate hersteld worden door gebruik te maken van een elektrische of elektrisch gestuurde rem. De klassieke pneumatische of hydraulische cilinders worden daarvoor uitgerust met elektrisch regelbare kleppen die de weerstand regelen in de kanalen, bijv. een door een stappenmotor aangedreven naaldventiel. Elektromagnetische remmen van verschillende types, zoals bijv. poederkoppelingen, kunnen dan weer rechtstreeks elektrisch aangestuurd worden, net zoals experimentele systemen die werken op basis van een elektro-rheologische vloeistof.

Ook bij de voetsystemen heeft de evolutie niet stilgestaan. Toepassingen van elektronische sturingen ontbreken op dit ogenblik nog, maar het gebruik van composietmaterialen is vooral in dit domein van belang geweest, ondermeer voor de belangrijke vooruitgang in sportprestaties bij geamputeerde atleten. Vooral carbonvezel versterkte composieten spelen daarin een rol.

Heel wat voetsystemen worden heden ten dage zo geconstrueerd dat een veerwerking ontstaat waarbij elastische energie opgeslagen wordt tijdens het eerste deel van de steunfase, die daarna bij de afstoot vrijkomt. Comfort en vooral gangsnelheid worden daardoor aanzienlijk verbeterd.

### **Besluit**

Tot besluit kan gezegd worden dat toepassingen van natuurkundige principes alomtegenwoordig zijn in deze zeer uitgebreide sector, die in dit korte bestek uiteraard slechts zeer summier belicht kunnen worden. Zeker is dat de vooruitgang in een spectaculaire stroomversnelling gekomen is, waarbij het gebruik van micro-elektronica, en vooral de voorheen onbestaande rechtstreekse mechanische koppeling met het lichaam, een belangrijke rol zullen spelen. Ongetwijfeld zal daarnaast ook de 'psychologische' koppeling een steeds groter deel van het onderzoek gaan vormen, zodat een nieuwe eenheid ontstaat waarbij het artificiële lidmaat precies reageert zoals de gebruiker verwacht. Bijzonder hoopvol voor deze sector is gelukkig de grote interesse en het verhelderend enthousiasme waarmee jonge mensen zich telkens opnieuw inzetten om nieuwe kennis en technologie toe te passen als vervangmiddel voor wat de mens lichamenlijk verloren is.



# Opkomst van Diode Lasers in de geneeskunde

*R.M. Verdaasdonk*

Reeds vanaf het ter beschikking komen van de eerste fysieke apparaten begin zestiger jaren, worden lasers toegepast in de geneeskunde. In de loop der tijd is het aantal soorten lasers en daarmee ook het aantal toepassingen, enorm toegenomen. Binnen bepaalde medische specialismen is de laser als therapeutisch instrument niet meer weg te denken. De oogheekundige behandelingen zijn daar het beste voorbeeld van. Op medisch gebied worden de Argon laser, de CO<sub>2</sub> lasers (beide gas lasers) en de Nd:YAG laser (een vaste stof laser) het meest toegepast. Deze apparaten waren in eerste instantie vrij groot en vereisten speciale aanpassingen voor voeding en koeling. De nieuwere generatie van deze lasers is kleiner en gaat efficiënter met de energie om, waardoor de voorzieningen voor aansluiting simpeler zijn. Maar desondanks blijven deze laserapparaten robuust. Enkele jaren geleden heeft de halfgeleidertechnologie zijn intrede gedaan in het laser gebied. Met de chiptechnologie is men in staat gebleken op zeer efficiënte wijze laserlicht te genereren in blokjes halfgeleidermateriaal ter grootte van zoutkorrels. De nieuwe soort laser die zo ontstond, de diode laser, komen wij tegenwoordig overal tegen in ons dagelijks leven: van cd-spelers tot en met de scanners in supermarkten. De toepassingsmogelijkheden zijn nog lang niet uitgeput. In eerste instantie was het geproduceerde laservermogen uit de diode lasers miniem. Echter, door zeer complexe opbouw van de chips kan men tegenwoordig enkele watts vermogen genereren, waardoor deze lasers ook interessant zijn geworden voor medische toepassingen. Sinds enkele jaren zijn er dan ook medische diode lasers op de markt gekomen.

## Fysische achtergrond van de diode laser

De diode laser is uit het chipmateriaal silicium opgebouwd met een interne structuur die functioneert als een elektrische diode. Men kan de diode laser beschouwen als een Light Emitting Diode (LED) met opgedampte spiegel-tjes. Het concept is simpel en de werking ervan is reeds in 1962 aangetoond. Een diode op zich heeft echter een



zeer geringe laserwerking. In diode lasers kan men hoge vermogens genereren door de diode op te bouwen uit vele lagen van slechts enkele tientallen nanometers dik halfgeleidermateriaal waarin verfijnde structuren zijn aangebracht. In figuur 1 is in een schematische tekening te zien hoe een diode laser is opgebouwd uit laagjes GaAlAs en GaAs. Afhankelijk van de concentratie en soort 'verontreinigingen' in het halfgeleidermateriaal kan men de golflengte beïnvloeden en de efficiëntie optimaliseren. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de meest voorkomende diode lasermaterialen.

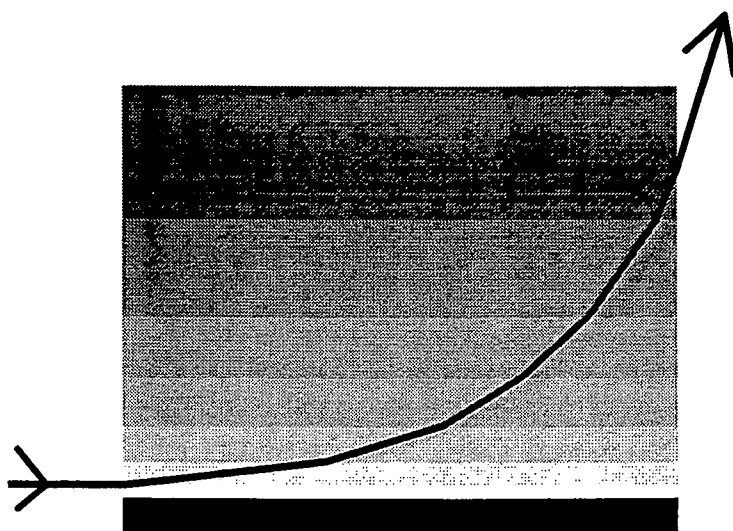


Fig. 1: Schematische opbouw van een diode laser chip.

Tabel 1: Overzicht diode lasermaterialen

Materiaal	golflengte range	opmerkingen
ZnSe	525	ontwikkeld in 1991
AlGaInP	630-680	in ontwikkeling
Ga <sub>0,5</sub> Ln <sub>0,5</sub> P	670	veel voorkomend (laser pointers)
Ga <sub>1-x</sub> Al <sub>x</sub> As	620-895	hoog vermogen mogelijk in gebied 780-820 nm
GaAs	904	
Ln <sub>0,2</sub> Ga <sub>0,8</sub> As	980	
Ln <sub>1-x</sub> Ga <sub>x</sub> As <sub>y</sub> P <sub>1-y</sub>	1100-1650	
Ln <sub>0,75</sub> Ga <sub>0,27</sub> As <sub>0,58</sub> P <sub>0,42</sub>	1310	veel gebruikt in fiber-communicatie
Ln <sub>0,58</sub> Ga <sub>0,42</sub> As <sub>0,9</sub> P <sub>0,1</sub>	1550	veel gebruikt in fiber-communicatie
LnGaAsSb	1700-4400	in ontwikkeling

Het is duidelijk dat de golflengten van de diode laser voornamelijk in het infrarode gebied zitten. Enkele daarvan zijn voor ons oog zichtbaar. Een voorbeeld hiervan is een 670 nm diode laser in penvorm welke men tegenwoordig reeds voor minder dan f 100,- kan kopen en die als aanwijsstok bij presentaties gebruikt wordt. Helaas zijn er recent gevallen bekend waarbij deze lasertjes misbruikt zijn door mensen bij het uitvoeren van hun professe of sport in de ogen te schijnen. Hierdoor zijn gevaarlijke situaties ontstaan en heeft men in Engeland de verkoop van laser-pointers zelfs verboden. Er zijn tegenwoordig ook diode lasers met golflengtes in het groene en blauwe gebied ter beschikking gekomen, hetgeen een groot aantal nieuwe toepassingen mogelijk maakt.

Het licht van de diode lasers is makkelijk te moduleren. Er zijn extreem korte pulsen tot in de orde van femtoseconden te genereren. Hoewel veel diode lasers continu lijken te zijn geven ze in werkelijkheid lichtpulsen af met een hoge frequentie. Voor de energiehuishouding én levensduur van de diode laser is het aantrekkelijk om de diode met een duty cycle aan te sturen, waardoor het materiaal tussen de pulsen door thermisch kan stabiliseren. Ondanks de extreem hoge efficiency in de orde van 30 %, kan de temperatuur van het diode lasermateriaal enorm oplopen, omdat het actieve lasermedium uit een zeer dunne laag bestaat. Oververhitting vormt het belangrijkste probleem bij de ontwikkeling van (hoog vermogen) diode lasers. Eén diode zal maximaal enkele milliwatts aan licht produceren. Diode lasers zijn echter opgebouwd uit een rij of array van ontelbare lasertjes in een balkje van halfgeleidermateriaal, waardoor uiteindelijk toch vermogens in de orde van watts verkregen worden. Men kan vervolgens weer het licht van meerdere diode laserchips bundelen in één apparaat waardoor men uiteindelijk bijv. een 60 W diode laser krijgt.

De opbouw van de laserdiode (o.a. de zeer korte cavity) heeft tot gevolg dat de bundeleigenschappen niet zo gunstig zijn als van andere soorten lasers. De bundel heeft in één richting een divergentie van enkele tientallen graden (bij gas lasers is de divergentiehoek bijv. minder dan 1°). Met speciale optische componenten, die direct op de chip bevestigd zitten, wordt deze divergentiehoek verkleind tot enkele graden. Met name voor toepassingen waarbij gebruik wordt gemaakt van fibers voor het transport van

laserlicht, is het gunstig om ook de fiberingang direct op de chip de bevestigen ('pigtail' principe, zie figuur 2). Diode lasers worden vanwege hun gunstige lichtopbrengst ook gebruikt om de efficiency van andere lasers te verhogen. Ze worden gebruikt als pomplaser voor bijv. vaste stof lasers.

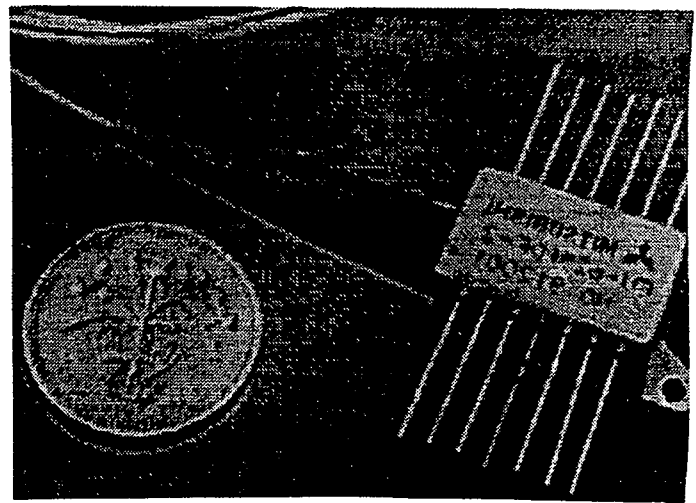


Fig. 2: 'Pigtail' diode laser configuratie waarbij een fiber direct op de diode laser bevestigd is.

### De medische diode laser

In het licht van de hierboven besproken fysische eigenschappen kunnen we nu de voordelen van de diode laser als potentiële medische laser op een rijtje zetten. Het ligt voor de hand dat een diode laser in een kleine kast gebouwd kan worden. Door de hoge efficiency zijn er geen speciale stroomvoorzieningen noodzakelijk. Een 60 W laser zal aan een 220 V, 2 A voorziening ruim voldoende hebben. Er is geen speciale koeling nodig met warmtewisselaars enz. Veelal zit er in de laser een kleine ventilator, vergelijkbaar met die in een PC, om lucht langs de koelvinnen van de chips te blazen. Hierdoor kan de laser nagenoeg geruisloos zijn. De vergelijking met een PC is niet vreemd daar het prototype van een van de eerste 60 W diode lasers was ingebouwd in de behuizing van een PC (tower model). Momenteel is er ook een 10 W diode laser Indigo op de markt, die een verbluffende gelijkenis vertoont met de gelijknamige minicomputer. Gezien de componenten waaruit een diode laser bestaat, is

slechts gering onderhoud te verwachten. Indien een (van de meerdere) diode chip(s) kapot is, prikt men simpel een nieuwe chip in het voetje. Ook hoeft men zich geen zorgen te maken dat het apparaat tijdens transport ontregeld raakt.

#### **Thermische effecten van de diode laser op weefsel**

De diode laser kan dienen als vervanging of aanvulling op bestaande medische lasers. Dit hangt sterk af van het effect van de golflengte (kleur) van het laserlicht. De hoogvermogen diode lasers (10-60 W) zijn beschikbaar in het golflengtegebied van 780-820 nm. Wat betreft de absorptie-eigenschappen in weefsel, zijn deze diode lasers vergelijkbaar met de Nd:YAG laser bij 1064 nm. De absorptie van het diode laserlicht ligt iets hoger dan bij het licht van Nd:YAG laser. De penetratiediepte in weefsel is in de orde van 3-8 millimeter, afhankelijk van de doorbloeding. Een diode laserbundel met een vermogen rond 10 W zal, ten gevolge van absorptie van het licht, in eerste instantie een temperatuurverhoging veroorzaken in een bolvormig weefselgebied van 5-10 mm doorsnede. Het weefsel zal coaguleren, en indien de bestraling voortduurt of het vermogen hoger is, zal het weefsel door waterverdamping uitdrogen en vervolgens carboniseren en vaporiseren. De snelheid waarmee deze verschijnselen optreden zal afhankelijk zijn van de energiedichtheid op het weefsel.

#### **Fotodynamische therapie (PDT) en fluorescentie-diagnostiek**

Van de zichtbare rode diode laser bij 670 nm is recent een versie met een vermogen van enkele watts ter beschikking gekomen. Deze laser is ontwikkeld voor het activeren van een fotogevoelige stof die selectief in tumorweefsel ophoopt. Nadat een patiënt met deze stof ingespoten is, kan men in eerste instantie tumorweefsel opsporen door gebruik te maken van groen of blauw licht hetgeen tegenwoordig ook met diode lasers opgewekt kan worden. Met licht van deze korte golflengte kan de fotogevoelige stof in het tumorweefsel tot fluorescentie gebracht worden en het afwijkende weefsel gelokaliseerd worden.

Na lokalisatie van het tumorweefsel wordt het rode diode-licht gebruikt om de fotogevoelige stof te activeren. Door de bestraling ontstaat een toxische component die de kwaadaardige cellen vernietigt. Met de komst van de diode laser en fotogevoelige stoffen die geactiveerd kunnen worden met infrarood licht wordt deze nieuwe therapie makkelijker toepasbaar. Er moet echter nog veel onderzoek verricht worden om de haalbaarheid van de therapie aan te tonen.

#### **Oogheelkundige toepassingen**

Evenals bij de eerste lasers is de diode laser het eerst geïntroduceerd in de oogheelkunde. Dit komt mede doordat de behandelingen reeds met het, in eerste instantie, lage vermogen van de diode laser uitgevoerd kunnen

worden. Voor behandelingen zoals vaatwoekering bij diabetici en scheurtjes in het netvlies, die men normaal gesproken met de argon laser uitvoert, kan men een diode laser inzetten. Deze laser, ter grootte van een koektrommel, zit direct op een spleetlamp bevestigd. Het is echter verrassend dat deze behandelingen uitgevoerd worden met een golflengte nabij 800 nm die sterk afwijkt van de standaard 488/514 nm van de argon laser. Wordt het groen/blauwe licht voornamelijk geabsorbeerd direct op het sterk doorbloede netvlies, het infrarode licht van de diode laser wordt geabsorbeerd in de lagen eronder. Naast het praktisch voordeel van de handzame diode laser, worden zowel de behandeld arts als de patiënt niet steeds door felle lichtflitsen gehinderd. Daarentegen wordt wel gerapporteerd dat de pijnsensatie bij de patiënt groter lijkt te zijn. Doordat het coagulatiegebied in eerste instantie, buiten het zicht van de arts, onder het netvlies gevormd wordt, is de omvang van het coagulatiegebied moeilijker in te schatten. Indien nodig kan men de spot van de diode laser niet zo klein krijgen als spot van de argon laser. Het zal in de komende jaren moeten blijken of de resultaten met de diode laser en de argon laser vergelijkbaar zijn. Indien dat zo mocht zijn, dan zal de keuze voor de diode laser voor de hand liggen, mede gezien de prijsdaling die bij halfgeleidertechnologie te verwachten valt.

#### **Chirurgische toepassingen**

Gezien de eerder besproken weefseleffecten van de diode laser, kan deze zonder meer ingezet worden waar men normaal een Nd:YAG laser zou gebruiken. Tot voor kort was het vermogen begrensd op maximaal 25 W. Nu zijn er 60 W diode lasers beschikbaar waarmee nagenoeg alle (Nd:YAG) behandelingen kunnen worden uitgevoerd. Gedurende de periode dat een 25 W diode laser in het AZU op demo is geweest, zijn er diverse behandelingen mee uitgevoerd. De laser is bijvoorbeeld ingezet voor het verwijderen van obstruerende tumors in de luchtpijp. Een KNO-arts heeft patiënten met chronische bloedneuzen behandeld door het slijmvlies oppervlakkig te coaguleren. Bij dermatologie heeft men oppervlakkig vasculaire afwijkingen in de huid gecoaguleerd. Vanwege de mobiliteit kon de laser ook makkelijk meegenomen worden naar de faciliteiten van veterinaire geneeskunde nabij het ziekenhuis om daar abcessen in de neus bij paarden te coaguleren via een bronchoscoop.

#### **Specialty fibers**

Bij de chirurgische behandelingen wordt meestal gebruik gemaakt van fibers met een speciale tip. Deze tips worden door het lasercentrum op de fibers gemaakt. Het uiteinde van de fiber kan bijv. tot een bolvorm gesmolten worden, waardoor de tip atraumatisch is. De fiber kan dan makkelijk door endoscopen en kanalen in het lichaam geschoven worden zonder daarbij mechanische beschadigingen te veroorzaken. Voor bepaalde toepassingen kan ook nog een absorberende coating op het oppervlak van de bol aangebracht worden. Deze coating zorgt ervoor dat de

laserenergie aan het oppervlak van de tip wordt omgezet in warmte, zodat weefsel dat in contact komt met de tip direct verdampt, onafhankelijk van de optische eigenschappen (zie figuur 3). Bovendien blijft de laserenergie geconcentreerd aan de fibertip, waardoor geen dieper gelegen weefsel beschadigd kan worden.

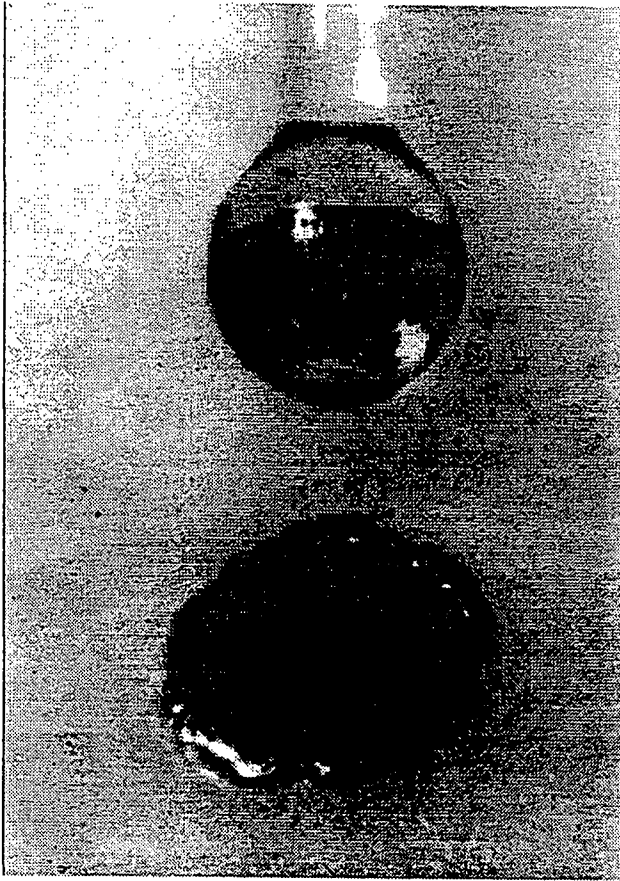


Fig.3: Bolvormige fibertip met coating van gecarboniseerd weefsel (boven), met een afdruk van de tip in het weefsel na één seconde belichting met 15 W (onder).

### Neurochirurgie

Een goed voorbeeld van de toepassing van deze gecoate fibertips in combinatie met de diode laser is de creatie van een afvoerkanaal tijdens endoscopie van de ventrikels (vloeistofholtes) in de hersenen bij jonge kinderen. Verbindingen tussen de ventrikels in de hersenen kunnen afgesloten zijn (geraakt) waardoor de vochthuishouding in de hersenen van slag raakt en fatale storingen kunnen optreden. Deze afwijking wordt veelal hydrocephalus - of populair 'waterhoofd' - genoemd, omdat het bij baby's tot een vergroeiing van de schedel leidt. Deze afwijking wordt standaard behandeld door een slangetje (drain) van de hersenen naar de buikholte aan te leggen als afvoerkanaal. Deze slangetjes kunnen echter verstopt en geïnfecteerd raken of moeten tijdens de groei vervangen worden. Met de laser wordt nu echter een opening gemaakt in de

wand van de ventrikel die grenst aan een andere holte, waardoor er een natuurlijk afvoerkanaal ontstaat in de hersenen.

Door een klein gaatje (5 mm diameter) in de schedel, wordt een zogenaamde endoscoop opgevoerd naar de ventrikel met de obstructie. Door het werkkanaal van de scope wordt een 400  $\mu\text{m}$  fiber met een 800  $\mu\text{m}$  gecoate boltip opgevoerd. Tijdens contact van de tip met de wand van de ventrikel wordt de diode laser gedurende 0,5-1,0 seconde geactiveerd met een vermogen van 10-15 W. Hierbij wordt een gaatje in het vlies gebrand met een coagulatierand die de vaatjes in het vlies afdichten. Hierdoor blijft de vloeistof in de ventrikel helder. Bij bloedingen zou de procedure namelijk afgebroken moeten worden vanwege het belemmerde zicht. Door het vlies vol te ponsen met gaten verzwakt de structuur en kan uiteindelijk een groot gat gevormd worden, eventueel door met behulp van een tangetje het vlies kapot te trekken. Hiermee is de verbinding tussen de holtes gevormd voor de afvoer van overtollig hersenvocht. De delicate structuren zoals grote bloedvaten achter het vlies zijn beschermd door de concentratie van de laserenergie aan de tip. Figuur 4 toont een procedure op de operatiekamer. De diode laser staat op de achtergrond en op de monitor is een vlies met gaten te zien.

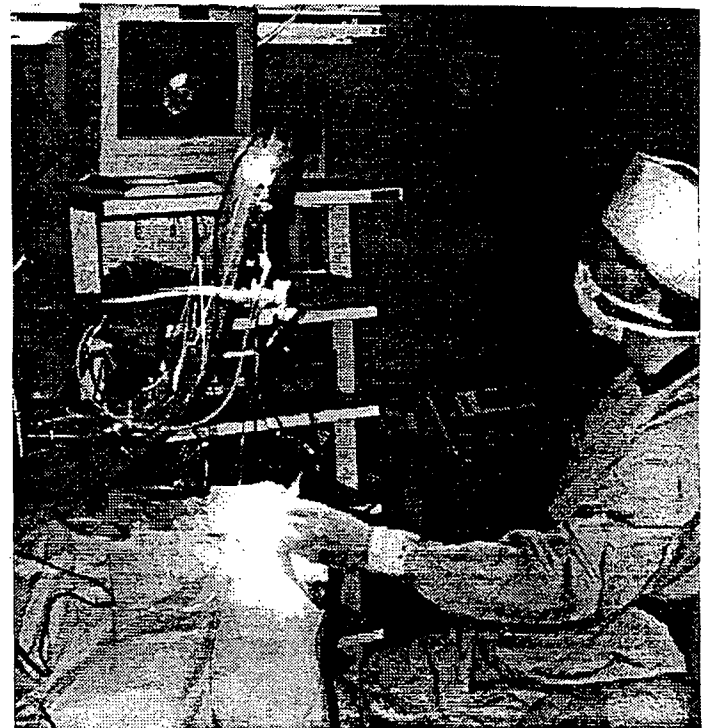


Fig.4: Situatie op de operatiekamer tijdens endoscopische behandeling met de diode laser in de hersenen.

### Urologische toepassingen

In het afgelopen jaar is er een enorme ontwikkeling in laserbehandelingen op urologisch gebied geweest, met

name de behandeling van BPH (goedaardige prostaatvergroting). De diode laser is een goed alternatief voor de Nd:YAG laser die normaal voor deze toepassing gebruikt wordt. Was tot voor kort het beperkte vermogen een bezwaar voor aanschaf, met de komst van de 60 W diode laser kan alleen de prijs nog een dilemma vormen - zeker nu vele merken Nd:YAG lasers tegen sterk concurrerende prijzen aangeboden worden. Gezien de componenten en de toegepaste technologie kan de prijs van de diode laser echter in de toekomst ver onder de prijs van de Nd:YAG laser komen.

Tijdens de demoperiode van de 25 W diode laser in het AZU, is het beperkte vermogen deels opgevangen door toepassing van de contactmethode. Vergelijkbaar met de fibertip die bij de neurochirurgie werd beschreven, wordt gebruik gemaakt van een 3 mm bolvormige silica tip met een absorberende coating, die in contact het weefsel verdampt. Doordat de laserenergie voor een groot deel direct aan de tip geabsorbeerd wordt, treden er minder verliezen op in de vorm van reflecties en verstrooiing ten opzichte van de niet-contact methoden waarvoor men 40-60 W Nd:YAG lasers gebruikt. De contactmethode kan natuurlijk ook met de 60 W diode of Nd:YAG lasers toegepast worden.

#### **Laserveiligheid**

Door de mobiliteit van de diode laser tussen verschillende ruimten, is er extra aandacht vereist voor de laserveiligheid. Vroegere generaties lasers zijn door hun beperkte mobiliteit en speciale voorzieningen meestal gebonden aan één operatiekamer. Deze laser-OK is dan uitgerust met speciale laserveiligheidsvoorzieningen zoals signalen in de vorm van verlichte waarschuwborden, alarmbellen enz. Met een diode laser zal men eerder geneigd zijn deze mee te nemen naar een ruimte waar deze voorzieningen niet aanwezig zijn. De diode laser zelf is echter even gevaarlijk als een Nd:YAG laser met een Nominale Hazard Zone (internationale term voor het gevaarlijke gebied rond een laser) van minstens enkele meters. Men dient er dus op toe te zien dat er laserveiligheidsbrillen speciaal voor de diode laser gedragen worden, dat de ramen geblindeerd zijn en dat de ruimte van voldoende waarschuwingen en signalen voorzien is. De veiligheidsbrillen voor de Nd:YAG laser bieden veelal niet voldoende bescherming bij gebruik van de diode laser. Uit metingen van diverse typen brillen uitgevoerd door het lasercentrum in het AZU is gebleken dat de brillen die voor Nd:YAG 1064 nm OD 5 (Optisch Densiteit) zijn, voor de diode laser slechts OD 2-3 zijn en zelfs < OD 1 voor brillen met reflectiecoatings.

#### **Toekomstperspectief**

De diode laser verdient, naast de andere reeds ingeburgerde lasers, een duidelijk plaats als medisch instrument. Dit zal voornamelijk zijn als alternatief of vervanger van de Nd:YAG laser. De diode laser is handzaam, compact en wordt in de toekomst waarschijnlijk ook aantrekkelijk

geprijsd. Mocht deze prijsdaling daadwerkelijk doorzetten dan zou het eventueel ook een serieuze concurrent van de elektro-coagulatieapparatuur kunnen worden. Er bestaan reeds batterijgevoede handheld diode lasers met een vermogen van enkele watts die gebruikt kunnen worden als lasermes (ontwikkeld voor het leger).

Naar verwachting zullen er ook meer kleuren diode laserlicht beschikbaar komen, waardoor mogelijk ook andere lasersystemen door diode lasers vervangen kunnen worden.





# Fiber delivery systemen voor medische lasertoepassingen

R.M. Verdaasdonk



## Inleiding

Bij medische lasertoepassingen dient laserlicht getransporteerd te worden vanuit de laser naar de lokatie van behandeling. Hiervoor zijn de eigenschappen van het transport-systeem van groot belang. De meest effectieve en praktische wijze van transport voor de meest gebruikte golflengten laserlicht, is het gebruik van glasvezels ofwel optische fibers.

Zoals in figuur 1 geïllustreerd, is een medisch lasersysteem opgebouwd uit de laser die een laserbundel genereert, een fiber-koppelaar die de bundel in een fiber richt, de fiber die het licht transporteert en een fibertip ofwel probe waardoor de lichtbundel uittreedt.

Hieronder zullen deze componenten nader besproken worden. In het bijzonder zullen de optische eigenschappen van gemodificeerde fibertips worden behandeld.

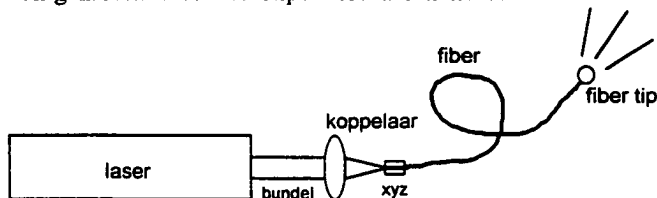


Fig. 1: Schema medisch lasersysteem.

## De laser

Voor lichttransport door fibers zijn de volgende karakteristieken van de laser van belang.

- De golflengte van het laserlicht. Ofschoon fibers geschikt zijn voor een breed golflengtegebied, wordt licht in het ultra-violet ( $< 250 \text{ nm}$ ) en in het infra-rood ( $> 2500 \text{ nm}$ ) niet doorgelaten door fibers die standaard gemaakt zijn van zuiver kwarts ofwel fused silica.
- De diameter van de bundel in combinatie met de divergentie van de bundel bepaalt de minimaal bereikbare spot bij focuseren van de bundel op het fibervlak.

- In het geval van gepulste lasers moet voor een veilige transmissie de energiedichtheid, bereikt tijdens focuseren op het fibervlak, aanzienlijk beneden de beschadigingsdrempel van silica liggen.

## De fiber-inkoppelaar

Een fiber-inkoppelaar bestaat uit een positieve lens met een korte brandpuntsafstand (10-25 mm) en een fiberhouder in een xyz-translator (zie figuur 2). Met behulp van de lens wordt de laserbundel, die meestal een diameter heeft van enkele millimeters, tot een spot van enkele honderden micrometer gefocuseerd op het ingangsvlak van de fiber. De fiber heeft meestal een diameter van 50 tot 1000 micrometer. In de praktijk mag de spot maximaal 75% van de diameter van de fiber zijn voor optimale transmissie. Het fiber-ingangsvlak is meestal in een connector gegoten die zichzelf centreert in het focus van de laserbundel bij het fixeren in de inkoppelaar. Na instelling voor maximale transmissie met behulp van de xyz-translator, kan men makkelijk fibers verwisselen.

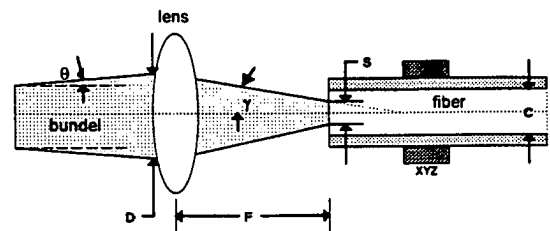


Fig. 2: Schema van de fiberinkoppelaar.

## De fiber

Een optische fiber bestaat uit een kern met brekingsindex  $n_1$  die omgeven is door een laag met brekingsindex  $n_2$ , de cladding genaamd. Voor lichtgeleiding is het noodzakelijk dat  $n_2 < n_1$ . Een fiber is verder omhuld door een zoge-

naamde buffercoating ter bescherming en versteviging om scherpe krommingen mogelijk te maken. Afhankelijk van de verhouding tussen de brekingsindex van de kern en cladding, kan men de acceptatiehoek  $\alpha$  voor een fiber bepalen waaronder licht door de fiber geleid wordt (zie figuur 3). Deze hoek zit ook verwerkt in de numerieke apertuur  $NA$  waarmee fibers gekarakteriseerd worden:

$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Voor efficiënte inkoppeling is het belangrijk dat de inkopelhoek  $\gamma$  van de laserbundel (zie figuur 2) kleiner is dan de acceptatiehoek  $\alpha$ . Dus afhankelijk van de bundeldiameter  $D$  en de brandpuntsafstand van de lens  $F$  moet:

$$\sin \gamma \approx \tan \gamma = \frac{D}{2F} < \sin \alpha = NA$$

De acceptatiehoek is meestal afhankelijk van het cladding-materiaal dat kan bestaan uit een zacht-siliconen laag, een harde fluorpolymeer of silicasoort met een lagere brekingsindex.

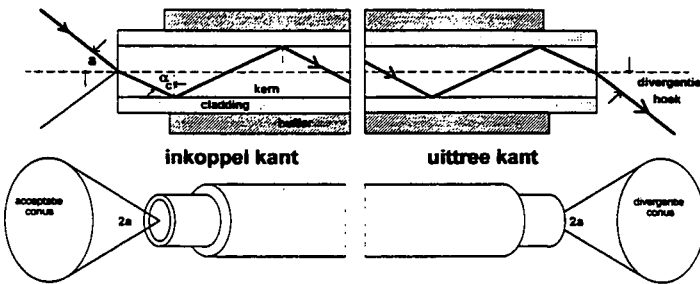


Fig. 3: Schema van een fiber met de acceptatiehoek aan inkoppelkant en divergentiehoek aan de uittreerkant.

### Transmissie

In de praktijk komt 80 tot 85% van het ingekoppelde laserlicht uit de fiber. De verliezen zijn te wijten aan reflecties en oneffenheden aan de fiberuiteinden. De uiteinden van een fiber dienen 'spiegelglad' te zijn. Dit kan men bereiken door de fiber te klieven of te polijsten. Het verlies tijdens het transport door de fiber zelf is in het visuele golflengtegebied te verwaarlozen.

Voor het nabije IR- en UV-gebied worden speciale eisen gesteld aan de zuiverheid en het watergehalte van het silica in de fiberkern. Een lichte waterverontreiniging (OH) is gunstig voor UV- maar funest voor IR-transmissie.

### Lichtverdeling in een fiberbundel

Lichtstralen kunnen langs verschillende wegen ofwel 'modes' door een fiber getransporteerd worden. In zeer dunne fibers ( $< 10 \mu\text{m}$ ) is er slecht één mode mogelijk: de monomode fiber. Fibers die gebruikt worden voor medische toepassingen hebben een veel grotere diameter en zijn multimode. Bij het inkoppelen van een laserbundel zal de intensiteitsverdeling aan het fiber-inkoppelvlak een Gaussische verdeling hebben. Tijdens het transport in de

fiber worden de stralen via de verschillende modes geleid. Alle stralen zijn random verdeeld aan het uittreevlak van de fiber. Het aantal uittredende stralen zal afnemen naarmate de uittreehoek met de optische as van de fiber afneemt (zie figuur 4).

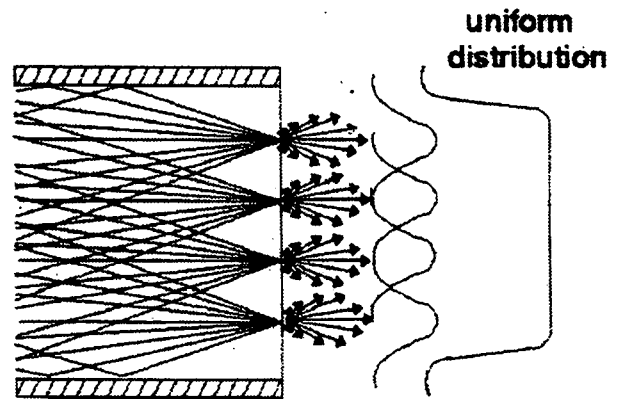


Fig. 4: Grafische weergave lichtverdeling aan het oppervlak van een fiber die zowel een ruimtelijke als een hoekverdeling heeft.

Dit heeft tot gevolg dat de intensiteitsverdeling van een lichtbundel uit een multifiber uniform is vlakbij het fiberoppervlak, 'near field' genaamd, en zich zal ontwikkelen tot een Gaussische verdeling verder weg van de fiber, 'far field' genaamd (zie figuur 5). Men kan deze intensiteitsverdeling beïnvloeden met 'mode-stripping'. Door bijvoorbeeld lokaal druk uit te oefenen op de fiberwand, kan men stralen naar grotere hoeken dwingen waardoor een ringvormig patroon ontstaat in de uittredende bundel.

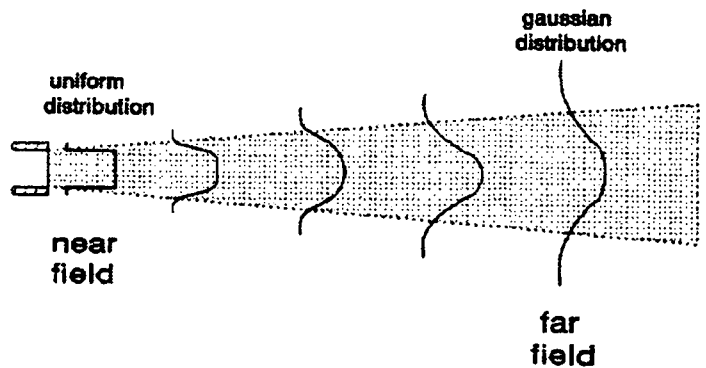


Fig. 5: De lichtverdeling is aan het oppervlak van de fiber, 'near field', uniform en ontwikkelt zich verder weg van de fiber, 'far field', tot een gaussische verdeling.

### De fibertip

De intensiteitsverdeling van de bundel die uit een fiber treedt, is sterk voorwaarts gericht en kan dus vergeleken worden met een vlammenwerper. Men kan echter de ruimtelijke intensiteitsverdeling van de fiberbundel beïnvloeden door de vorm van de fibertip te veranderen.

Over het algemeen wordt de modificatie van de fibertip gemaakt van het fibermateriaal zelf (silica) of van saffier dat via een connectiesysteem aan de fibertip wordt bevestigd. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de fysische eigenschappen die van belang zijn om het optische en

thermische gedrag van gemodificeerde fibertips te beschrijven. Zoals te zien is in de tabel, is het interessant saffier te gebruiken vanwege de hoge brekingsindex voor het verkrijgen van een sterk optisch effect, de grote warmtegeleiding en het zeer hoge smeltpunt.

Tabel 1: Fysische eigenschappen van fibertips en hun omgeving

	<i>water</i>	<i>weefsel</i>	<i>silica</i>	<i>saffier</i>	
Brekingsindex	1.33	1.35-1.50	1.45	1.75	
Dichtheid	1.00	1.00-1.20	2.20	3.98	$10^6 \text{ g m}^{-3}$
Warmtecapaciteit	4.18	4.2..	0.75	0.75	$\text{J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$
Warmtegeleiding	0.60	0.3-0.6	1.38	25.9	$\text{J K}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Beschadigingstemperatuur	(100)	45*	1800	2100	$^{\circ}\text{C}$

\* begin weefselbeschadiging (necrose)

### Bolvormige probes

Om de energiedichtheid in de bundel te vergroten, kan het uiteinde van de fiber gesmolten worden een bolvorm (zie figuur 6). Door de lenswerking van de probe zal de bundel in lucht gefocuseerd worden vlak voor de tip. De toename in energiedichtheid vlak voor de probe in combinatie met een snelle afname verder weg van de probe, geven de chirurg de beschikking over een groot bereik van energiedichtheden. In het brandpunt van de bundel kan men weefsel snijden, terwijl men met de op afstand groter wordende spot kan coaguleren. De ronde fibertip beschadigt minder snel dan een normale fibertip. Men kan het weefsel zelfs aanraken met de tip tijdens laseractivatie. Al deze eigenschappen maken de bolvormige tip ideaal voor resectie van sterk doorbloed tumorweefsel zoals bijvoorbeeld voorkomt in de hersenen.

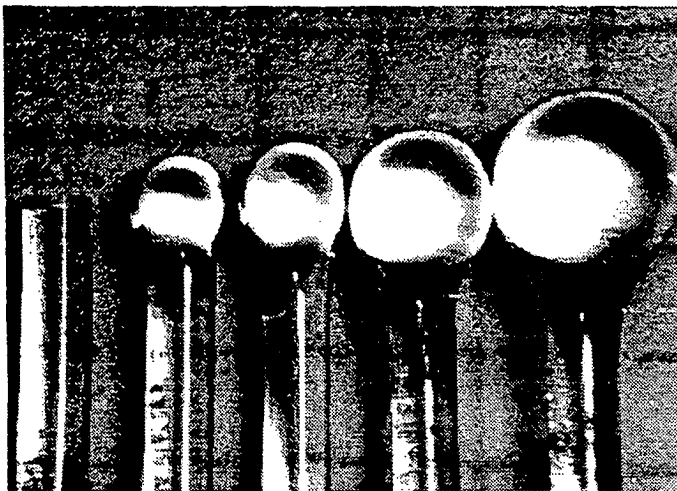


Fig. 6: Bolvormige fibers 0.95 tot 1.7 mm diameter op 0.6 mm fibers.

Bolvormige probes zijn populair geworden voor het rekanaliseren van afgesloten vaten, omdat hun ronde vorm de fibertip minder traumatisch maakt. Kristallen van kwarts of saffier in de vorm van platbolle lenzen zijn in combina-

tie met de continue Nd:YAG laser klinisch gebruikt om afgesloten vaten in het bovenbeen te openen. De dunnere en meer flexibele bolvormige fibers zijn in combinatie met gepulste lasers toegepast in onderbeensvaten en zelfs in coronairvaten. Deze procedures worden niet meer uitgevoerd omdat de bloedvaten weer even snel dicht bleken te gaan zitten als bij andere, goedkopere methoden.

*Optische eigenschappen* - Gebaseerd op de focuserende eigenschappen in lucht ging men er in eerste instantie van uit dat ook in een fysiologische omgeving, zoals water of bloed, de bundel door een bolvormige probe gefocuseerd zou worden. Echter, in een vloeistofomgeving zijn de focuserende eigenschappen minimaal of geheel verdwenen door een beperkt verschil in brekingsindex in combinatie met de divergentie van de fiberbundel. Voor het berekenen van bundelprofielen en brandpunten is het misleidend de standaard geometrische optica te gebruiken. De intensiteitsverdeling van de fiberbundel voldoet niet aan de aannames bij paraxiale optica. De bundel is divergent en de intensiteit heeft zowel een ruimtelijke als een hoekverdeling (zie figuur 4).

Men kan een fiberbundel beschouwen als een verzameling van parallelle bundels onder een kleine hoek met de optische as. Figuur 7a laat zien hoe een parallelle bundel in lucht gefocuseerd wordt tot een discreet brandpunt  $F_a$ . Parallelle bundels onder een kleine hoek met de optische as zullen gefocuseerd worden naast de optische as (figuur 7b). Tezamen vormen zij een multi-brandpunt  $I_{max}$ , de 'waist' van de bundel, en tevens de positie met de hoogste energiedichtheid. In een wateromgeving echter, zal de positie van het brandpunt  $F_w$  van een parallelle bundel verder van het lensvormige oppervlak liggen (figuur 7c). Ook de verzameling parallelle bundels zal verderop focuseren, maar hierbij ligt ieder brandpunt zo ver van de optische as, dat het resulterende multi-brandpunt  $F_w$ , een grotere diameter heeft dan de bundeldiameter aan het ronde fiberoppervlak (figuur 7d). De hoogste energiedichtheid is niet meer in de 'waist'  $F_w$ , die nu niet het smalste punt van de bundel is.

Deze illustratie laat zien dat paraxiale optica maar beperkt toepasbaar is om het profiel en de intensiteitsverdeling van een fiberbundel te berekenen.

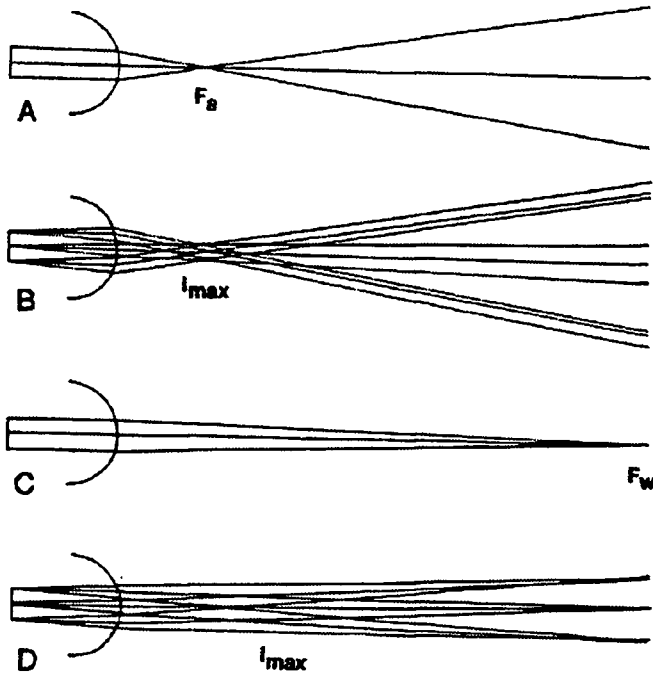


Fig.7: Focusering van parallelle bundels in lucht en water.

**Ray-tracing** - Ray-tracing is een betere manier om het gedrag van gemodificeerde fibertips te bestuderen. Met de startcondities, die de eerder besproken lichtverdeling van een fiberbundel beschrijven, kan men de gang van individuele stralen door de geometrie van verschillende fibertips doorrekenen. Uit de resultaten van honderden 'rays' kan men het bundelprofiel, de intensiteitsverdeling en de maximale energie bepalen. In figuur 8 zijn naast elkaar de berekende en gefotografeerde bundelprofielen te zien van bolvormige probes in lucht en water. Bij een 0.95 mm bol tip op een 0.6 mm fiber is het focus in water nagenoeg verdwenen (figuur 8 onder). Hetzelfde gebeurt met een 2.2 mm platbolle lens van silica (figuur 8 boven). Als deze lens gemaakt is van saffier, blijft in water het focuserende effect behouden vanwege de hoge brekingsindex (figuur 8 midden).

**'Tapered' fibers of laser scalpels**

Naast het focuseren van een bundel met behulp van bolvormige fibers, zijn hoge energiedichtheden ook te verkrijgen door een laserbundel door een taps toelopende buis te geleiden. Stralen worden, al reflecterend aan de wand, door een steeds nauwer wordende tunnel gedreven. De energiedichtheid wordt groter naarmate de punt van de taper nadert. Echter, voordat de punt bereikt wordt zal een straal de hoek van totale reflectie overschrijden en uit de taper breken (figuur 9a).

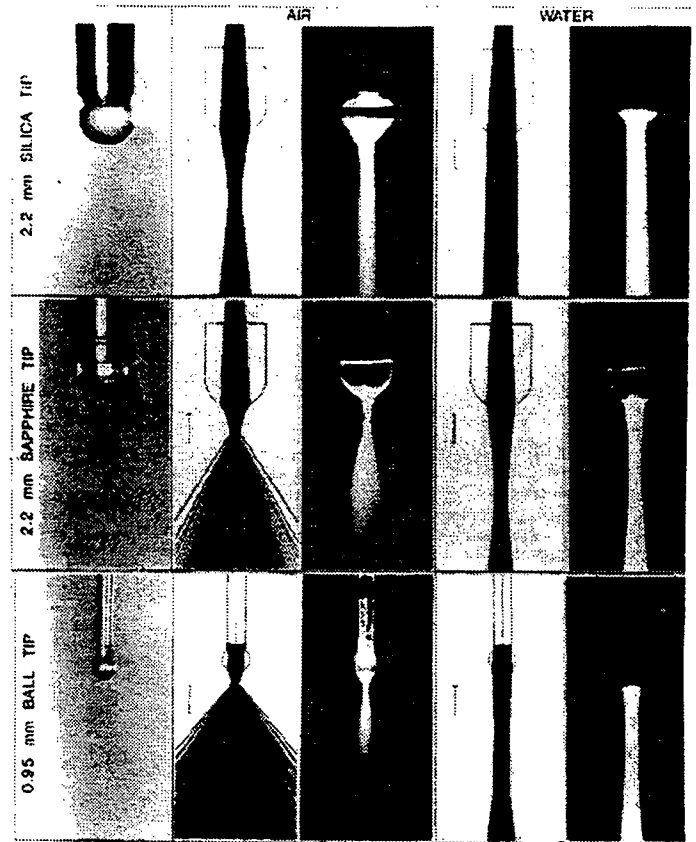


Fig.8: Foto's van probes en bundelprofielen naast profielen berekend met ray-tracing in lucht en water.

Een laser scalpel is te maken door tijdens sterke verhitting een fibertip tot een taper uit te rekken of door een taps toelopende staaf van saffier in het verlengde van de fibertip te plaatsen. De geometrie van laser scalpels kan beschreven worden met taperhoek  $\alpha$  en lengte L. De taper kan eindigen in een puntig, vlak of rond oppervlak (figuur 9).

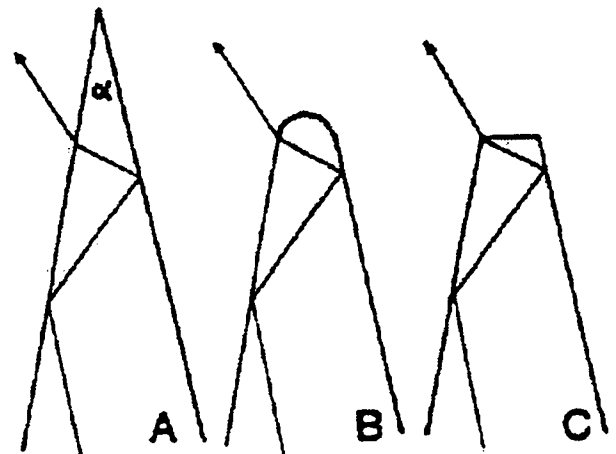


Fig.9: Schema van 'tapered' fibers met een puntige, ronde of vlakke tip.

Optische eigenschappen - Om de bundelprofielen en lichtverdeling van laser scalpels te beschrijven kan men wederom het beste gebruik maken van ray-tracing. Elke straal zal afhankelijk van zijn hoek met de optische as enkele malen binnen de scalpel reflecteren alvorens eruit te 'ontsnappen' bij overschrijding van de totale reflectiehoek.

Het bundelprofiel van een scalpel, samengesteld uit honderden 'rays', bestaat uit conische bundels die de taper onder bepaalde hoeken verlaten (figuur 10). Dit hoekpatroon verwaaiert indien de tip van de taper bolvormig is.

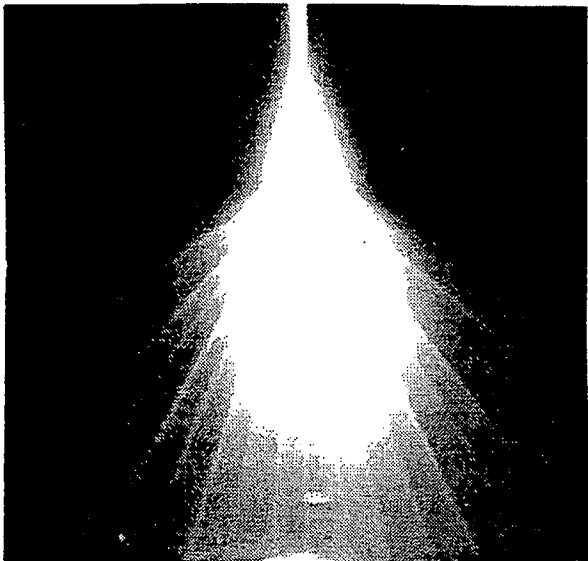


Fig. 10: Conische bundels verlaten onder bepaalde hoeken een laser scalpel met een 4 graden punt.

De energiedichtheid kan tot honderden malen toenemen in de punt van de scalpel (figuur 11). Het gebruik van scalpels met hoeken kleiner dan  $5^\circ$  zal in de praktijk beperkt worden door mechanische zwakte.

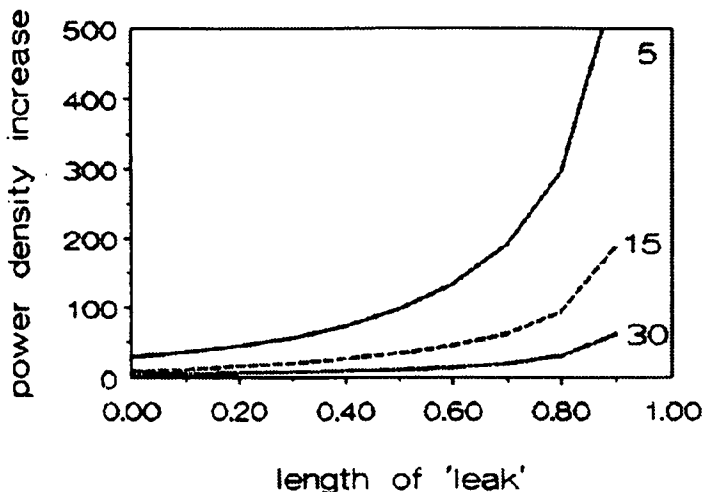


Fig. 11: Toename in energie dichtheid in de punt van laser scalpel met hoeken van  $30^\circ$ ,  $15^\circ$  en  $5^\circ$  genormeerd over de lengte waarlangs licht uit de scalpel 'lekt'.

*Toepassingen* - Laser scalpels worden gebruikt als alternatief voor het chirurgische mes. Het grote voordeel is dat tijdens het snijden van het weefsel de directe omgeving gecoaguleerd wordt. Bij gebruik van een golfengete laserlicht met een grote penetratiediepte, zoals van de Nd:Y-AG laser, worden kleine bloedvaten in sterk doorbloed weefsel dichtgeschroeid. Hierdoor is men in staat operaties, zoals leverresectie, uit te voeren met minimaal bloedverlies. Op urologisch gebied wordt de laser scalpel gebruikt voor resectie van penistumoren.

#### Multifiber catheters

Lasercatheters worden meer flexibel door gebruik te maken van een bundel van dunne fibers in plaats van één dikke fiber. Een fiberbundel heeft nagenoeg hetzelfde oppervlak als een grote fiber op de ruimte tussen de fibers na (figuur 12). De laserbundel uit een multifiber is de som van al de individuele fibers, waardoor het niet verwonderlijk is dat deze overeenkomt met de bundel uit één grote fiber.

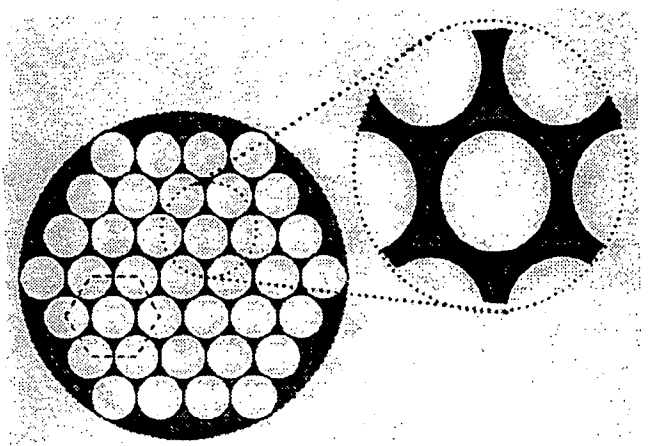


Fig. 12: De optimale stapeling van fibers is in in hexagonale ringen. Het uitvergroete gedeelte laat de driehoekige loze ruimte, 'dead-space', zien tussen de fibers.

De fibers kunnen in allerlei configuraties ten opzichte van elkaar geplaatst worden, afhankelijk van het beoogde therapeutische effect. Zo kan men de fibers rangschikken in een ring, waardoor men is staat is een geleide draad door het centrum van de catheter te leggen. Deze configuratie wordt o.a. toegepast in sterk vernauwde bloedvaten. Multifiber catheters komen het meest tot hun recht in combinatie met gepulste lasersystemen, die een zeer lokale werking hebben zonder noemenswaardige warmte-effecten. Men kan hierdoor tot op tienden van een millimeter nauwkeurig weefsel verdampen.

Met een multifiber kan men aan de tip selectief weefsel verdampen door de laserbundel slechts door één sector of door individuele fibers te sturen. Door eerst met een UV-lichtpuls weefsel te laten fluoresceren, kan men op grond van het waargenomen spectrum per fiber beslissen of het

geëxciteerde weefsel 'kwaadaardig' is, waarna men eventueel een laserpuls van ablerende kracht door de betreffende fiber kan sturen.

Tussen de individuele fibers in de bundel zit loze ruimte ofwel 'dead-space' (figuur 12). Zelfs bij de meest ideale pakking bestrijkt deze ruimte 23% van het totale oppervlak. In de praktijk is dit oppervlak 40 tot 60% van de multifiber catheter. Tijdens ablatie zal weefsel op die plaats blijven staan of in kleine brokjes achterblijven. Men dient hiermee rekening te houden om bijvoorbeeld embolieën in de bloedbaan te voorkomen.

### Probes met een optisch schild

Zoals eerder besproken wordt het optische effect in lucht van een gemodificeerde fiber sterk gereduceerd in een vloeistofomgeving. Door een optisch transparant schild over de tip te plaatsen, creëert men een luchtkamer rond de tip en blijft de overgang in brekingsindex met maximaal optisch effect behouden. Deze configuratie maakt het mogelijk de spotgrootte, de energiedichtheid en de divergentiehoek te regelen onafhankelijk van de omgeving. Een fiber waarvan de tip onder  $45^\circ$  afgeslepen is, werkt in lucht als reflector, waardoor de bundel onder een hoek van  $90^\circ$  met de as van de fiber uittreedt. Dit concept is bijzonder aantrekkelijk voor toepassing in smalle kanalen binnen het menselijk lichaam. Met een schild is dit ook in een vloeistofomgeving mogelijk, zoals bijvoorbeeld de urinewegen en bloedvaten.

### Diffusers

Om laserlicht over een groot oppervlak te verdelen worden probes van sterk verstrooiend materiaal op de fibertip bevestigd. Het licht treedt hierdoor in alle richtingen uit de probe. Het materiaal van de probe moet minimaal absorberen en hoge temperaturen direct aan de fibertip kunnen weerstaan. Afhankelijk van het te verlichten orgaan zijn de probes meestal bol- of cilindervormig. De probes zijn ontworpen om een zo homogeen mogelijke verlichting te creëren voor de controle over de dosimetrie tijdens fotodynamische therapie of hyperthermie. Omgekeerd kan men de probes ook gebruiken als sensor door juist licht uit alle richtingen op te vangen voor analyse.

### Metalen probes

Een extreme aanpassing van de fibertip is de metalen probe, waarbij al het laserlicht door een metalen kap op de fibertip geabsorbeerd wordt. Hiermee kan men op een zeer snelle en efficiënte manier een zeer hete tip ('hot tip') creëren zonder grote elektrische stromen door dunne draadjes te hoeven geleiden. Men kan zich misschien wel voorstellen dat deze probes geen succes bleken voor het openen van bloedvaten (althans niet in de bedoelde richting). De probes zijn echter wel effectief voor chirurgische toepassingen waarbij men weefsel moet coaguleren. Hiervoor bestaan echter ook goedkopere alternatieven.

### Toekomstperspectief

Fiber delivery/catheter systemen lenen zich uitstekend voor microchirurgie. Men is in staat door zeer dunne fibers hoge energieën te geleiden naar moeilijk bereikbare plaatsen en selectief weefsel te verdampen met hoge precisie. Met name de Excimeer laser in combinatie met multifiber systemen is zeer geschikt voor dit soort behandelingen.

Steeds vaker probeert men operaties minder invasief uit te voeren. Via kleine gaatjes kijkt men met endoscopen in allerlei holtes in het lichaam. Voorbeelden zijn kijkoperaties in de buik, de thorax, de gewrichten en zelfs in de hersenen. Gemodificeerde fibers zijn zeer geschikt om te gebruiken vanwege de smalle werkkanalen voor het uitvoeren van de operaties.

In de komende jaren zullen hoog vermogen diode lasers geïntroduceerd worden op laser medisch gebied. Zij zullen de grotere en inefficiënte lasersystemen gaan vervangen. Dit betekent echter wel dat fiber delivery systemen aangepast moeten worden om de sterk divergerende bundel van de diode laser te kunnen geleiden en aan de fibertip de lichtverdeling te kunnen beheersen.



# Medische aspecten van de ruimtevaart

*A. Kuipers*

## Waarom mensen naar de ruimte?

Vanaf het begin dat mensen nadachten over wat er in de ruimte was hebben ze gefantaseerd over een reis naar dat onbekende gebied.

Het was niet genoeg om satellieten te sturen, het uiteindelijke doel was om mensen in de ruimte, naar de Maan en verder te brengen. Deze motivatie dreef in het begin en drijft nog steeds de vele mensen die in de bemande ruimtevaart werkzaam zijn. Het nut komt voor velen op de tweede plaats.

Deze houding heeft veel mogelijk gemaakt, maar heeft ook kwalijke kanten gehad. Vele van de Duitse raketbouwers in de Tweede Wereldoorlog droomden van reizen naar de Maan, maar bouwden tegelijk hard aan vernietigingswapens. Ook de raketontwikkeling in Amerika en de Sovjet-Unie had in eerste instantie een militair doel. Hoewel het maatschappelijk nut voor vele enthousiaste ingenieurs en wetenschappers niet bovenaan staat, is het wel een zeer belangrijke factor om steun te krijgen voor de dure projecten.

In vroeger tijden waren de redenen om dure en gevaarlijke reizen te ondernemen naar onbekende oorden ook zeer divers: van de verspreiding van het geloof tot vluchten voor religieuze vervolging, van de zucht naar goud, zijde of specerijen tot het uitbreiden van macht, van het bewijzen van geografische theorieën tot het bevredigen van wetenschappelijke nieuwsgierigheid.

Bij het begin van de bemande ruimtevaart speelde de politieke strijd tussen de Sovjet-Unie en de Verenigde Staten een zeer grote rol. Later werd de wetenschappelijke interesse van groter belang.

Vroeger was er al veel kritiek op onderzoek en ontdekkingsreizen. Zo is er kritiek geweest op het 'nutteloze' onderzoek naar elektromagnetische golven of op pioniers die de zee op gingen of naar barre streken trokken. Zoals in het verleden zeer vaak is gebeken, hadden zelfs de baanbrekende wetenschappers en ontdekkingsreizigers



geen idee wat er uit hun onderzoek of reis voort zou vloeien. De gebroeders Wright geloofden zelf tot kort voor hun vlucht niet dat vliegen echt mogelijk was en Einstein betwijfelde ooit of er nuttige toepassingen van kernenergie mogelijk waren.

Ook tegenwoordig lijkt het vergaren van wetenschappelijke kennis alleen toegestaan als duidelijk is dat het onderzoek iets nuttigs oplevert. Dat kennis op zich nuttig is voor de mensheid en dat niet altijd voorspeld kan worden wat het later voor ander nut zal hebben, is een standpunt dat vooral de voorstanders van bemande ruimtevaart vaak moeten verdedigen.

Aan het nut van telecommunicatie, navigatie of weer satellieten wordt nu niet meer getwijfeld en de door astronomische ruimtevaartuigen als de Hubble en de Mars Pathfinder verzamelde kennis, hoewel niet van direct nut voor de mensheid, wordt alom bewonderd.

Bemanded ruimtevaart is een dure en gevaarlijke aangelegenheid. Veel activiteiten in de ruimte worden daarom automatisch of op afstand verricht. Toch zijn er vele taken waar voorlopig alleen mensen voor ingezet kunnen worden. En het blijft mens eigen om zelf naar nieuwe gebieden te reizen.

In de verre toekomst zal de geschiedenis over onze tijd melden dat toen de eerste stappen in de ruimtevaart werden gezet, en dat die ontwikkeling zich vervolgens gestaag voortzette tot reizen naar Mars en verder.

Slechts de Spoetnik, Gagarin en Armstrong zal men nog kennen en dat er allerlei problemen en tegenwerking waren zullen slechts enkelen weten. Net zoals dat het geval is met de ontdekkingsreizen uit onze geschiedenis.

Vandaag de dag koppelen Space Shuttles aan het elf jaar oude Russische ruimtestation Mir en verblijven ruimtevaarders van allerlei nationaliteiten aan boord. Dit ter voorbereiding op het Internationale Ruimtestation dat

binnen enkele jaren rond de aarde zal draaien en waarvan het eerste onderdeel in 1998 wordt gelanceerd.

Europa neemt hierin deel met onder andere een laboratoriummodule, vrachtschepen en een onder leiding van Fokker Space gebouwde robotarm.

Nieuw onderzoek op het terrein van de materiaal- en levenswetenschappen zal aan boord gaan plaatsvinden.

Ook zal onderzoek makkelijker herhaald kunnen worden om meer data te verkrijgen, hetgeen nu vaak een statistisch probleem vormt.

Over reizen naar Mars wordt ondertussen ook al serieus gedacht.

### **Onderzoek op mensen**

Een van de belangrijkste onderzoeksgebieden in de ruimte is het onderzoek op de mens. Dit is zowel operationeel medisch onderzoek - de astronauten moeten tenslotte gezond en wel weer terugkeren - als fundamenteel wetenschappelijk onderzoek, vanwege de unieke experimentele omstandigheden.

De mens is gemaakt voor éénmaal de aardse zwaarte-krachtsversnelling, éénmaal de atmosferische druk, een snelheid van vijf kilometer per uur op eigen benen en een temperatuur van 25 °C. Zodra we buiten deze specificaties komen hebben we hulpmiddelen nodig en gaan we ons adapteren. Dat geldt net zo goed voor de mens in de ruimte als voor bemanningen van snelle vliegtuigen, mensen op zee, in het hooggebergte, onder water of bij extreme temperaturen. Een van de duidelijkste voorbeelden van de adaptatieproblemen is het optreden van ruimteziekte bij vele astronauten, die dan enkele dagen 'zeezieke' zijn van de gewichtloze toestand.

Onderzoek naar de adaptatie levert boeiende resultaten op en heeft geleid tot bijstelling van de theorieën over de werking van bijvoorbeeld de longdoorbloeding en van het evenwichtsorgaan.

### **Simulatie**

De zwaartekracht heeft op onderzoek naar verschillende fysiologische processen een storende invloed. Zo is bijvoorbeeld het evenwichtsorgaan altijd onder invloed van de G-krachten en zijn onze spieren en botten continu bezig om ons staande te houden tegen de aantrekking door moeder aarde. We kunnen de zwaartekracht niet, zoals licht of geluid, uitzetten.

De gewichtloosheid, door de continue vrije val rond de aarde waar de astronauten zich in bevinden, biedt een bijzondere laboratoriumconditie die op aarde slechts voor zeer korte tijd nagebootst kan worden.

Vergelijkende studies op aarde, door middel van bedrust met het hoofd omlaag of het in water houden van proefpersonen, geven geen volledige simulatie van gewichtloosheid.

Overigens kan er op aarde wel onderzoek gedaan worden tijdens echte gewichtloosheid, namelijk in vliegtuigen tijdens paraboolvluchten.

Dit wordt gedaan door de Europeanen met een Airbus

300, door de Amerikanen met een Boeing 707, de KC-135 en door de Russen met een Ilyusin. Het vliegtuig trekt hierbij op tot een 50° neusstand waarna het met net genoeg vermogen om de luchtweerstand te overwinnen over de top van de parabool heen valt tot 50° neusstand omlaag, waarna het toestel weer optrekt. Dit wordt 30 tot 40 keer herhaald.

In die periode van 20 seconden werken er geen versnellingskrachten meer op alle voorwerpen binnen het toestel en er worden dan door wetenschappers, technici en astronauten allerlei onderzoeken, testen en trainingen uitgevoerd. De experimenten op mensen richten zich vanzelfsprekend op veranderingen die direct optreden, zoals vloeistofverschuivingen en veranderingen op het neurologische en evenwichtsgebied.

De twintig seconden gewichtloosheid die tijdens paraboolvluchten worden opgewekt, zijn voor veel onderzoek te kort. Om uit te vinden wat er met een mens gebeurt na een langere periode moeten er toch mensen omhoog naar een baan om de aarde.

### **Selectie**

Voor de goede orde moet eerst vermeld worden dat niet een mens, maar de hond Laika het eerste levende wezen in de ruimte was. Helaas hebben de Russen de capsule niet terug gehaald omdat in de race met de Amerikanen er geen tijd was om de terugkeer in de atmosfeer goed uit te dokteren en de capsule van een hitteschild te voorzien. Het zou diervriendelijk geweest zijn en men had medisch mogelijk al dingen kunnen leren.

Hoewel de honden en apen gezond en wel weer terug kwamen, was men bezorgd over wat er met de mens zou gebeuren. Dus de eerste astronauten moesten supermensen zijn. Testvliegers werden hiervoor het beste geschikt geacht en vervolgens op medisch gebied binnenste buiten gekeerd. De selectie en trainingen waren zwaar.

Gagarin draaide als eerste mens rond de aarde en die haalden ze gelukkig wel terug. Na hem volgden vele vluchten waarin veel medisch onderzoek gedaan is, zowel op het gebied van de praktische gezondheidsbewaking van de astronauten als op het gebied van fundamenteel onderzoek.

Tegenwoordig zijn de eisen voor astronauten veel minder streng. Iedereen die in een goede lichamelijke en geestelijke gezondheid en conditie verkeert kan in principe de ruimte in. Men hoeft geen topsporter met perfecte ogen meer te zijn. Vele astronauten zijn met brillen op te zien. Stressbestendigheid en het kunnen begrijpen en uitvoeren van sterk uiteenlopende experimenten is van groter belang. De eisen variëren met de taak van de astronaut aan boord. Aan een wetenschapsastronaut worden andere geestelijke en lichamelijke eigenschappen gesteld dan aan een pilootastronaut.

### **Versnellingskrachten**

De effecten van een ruimtevlucht op het menselijk lichaam beginnen al tijdens de start. Tijdens het ontsnap-



pen aan de aardse zwaartekracht wordt het lichaam blootgesteld aan langdurige versnellingskrachten. Jules Verne bedacht dat de ruimtevaarders met een kanon gelanceerd zouden worden, maar het in één klap op het lichaam krijgen van de ontsnappingssnelheid is niet met het leven verenigbaar.

Bij de Space Shuttle is de versnelling ongeveer driemaal de zwaartekrachtsversnelling. Hoewel deze niet al te grote versnelling slechts korte tijd aanhoudt (binnen acht minuten is de ruimte bereikt) kan het toch een probleem opleveren. Als je dit rechtop zittend zou ondergaan, zoals bijvoorbeeld in een vliegtuig of centrifuge, dan geeft dat negatieve effecten op de bloeddruk en de bloedtoevoer naar het hoofd. Daarom is het beter dat de versnellingskrachten loodrecht op de verticale lichaamsas staan.

De Rus Tsiolkovsky had als eerste al verregaande ideeën over de ruimtevaart aan het eind van de vorige eeuw en een van de zaken die hij aan de orde bracht was het idee om liggend gelanceerd te worden. De astronauten in de Soyuz of Shuttle worden inderdaad liggend gelanceerd.

### **Ruimte**

Er zijn diverse definities voor de ruimte. Boven de 13 kilometer is er voor de mens te weinig zuurstof om te kunnen leven. Boven de 20 kilometer moet een mens een drukpak dragen. Boven de 80 kilometer is er geen aërodynamische controle meer mogelijk. Boven de 200 kilometer is de luchtweerstand verwaarloosbaar en boven de 700 kilometer zijn er feitelijk geen botsingen tussen lucht-moleculen meer. Bemande ruimtevaart in een baan om de aarde speelt zich tussen de 200 en 500 kilometer af.

### **Gewichtloosheid**

Na de benodigde versnelling gaat het ruimtevaartuig en alles wat er in zit over in een vrije val beweging om de aarde heen, met een snelheid ten opzichte van het aardoppervlak van ongeveer 28.000 kilometer per uur.

Het effect dat de hierdoor opgeroepen gewichtloosheid op het menselijk lichaam uitoefent is een dankbaar onderwerp voor onderzoek in de ruimte. Het wegvallen van zwaartekracht geeft de wetenschappers de kans om organen en fysiologische systemen op een andere manier te bekijken.

Door middel van apparatuur aan boord van het Spacelab en aan boord van het Russische ruimtestation Mir kunnen het hart-vaat stelsel, de longen, het evenwichtsorgaan, de nieren en vloeistofhuishouding, de botten, de spieren en andere delen en systemen van ons lichaam onderzocht worden. Er zijn echomachines aan boord, ademgas analyse-apparatuur, ultrageluidapparatuur, centrifuges en vriezers voor bloed, urine en sputum, lineaire versnellingsleden en draaistoelen, apparatuur voor oogdruk- of oogbewegingsmetingen, meetvesten voor adembewegingen en apparatuur voor metingen van elektrische activiteit of weerstandsveranderingen in het lichaam.

De gegevens van de experimenten met deze apparatuur worden direct of indirect naar de aarde gestuurd en kun-

nen door de wetenschappers en artsen bestudeerd worden om zodoende een experiment aan te passen of maatregelen te nemen om de gezondheid van de astronaut te waarborgen.

### **Adaptatie**

Het lichaam gaat zich adapteren aan de nieuwe omstandigheden, maar deze processen hebben een verschillende duur. Snelle veranderingen vinden plaats op het gebied van het evenwichtsorgaan, zich uitend in ruimteziekte. Ook bij de vloeistofverschuiving binnen het lichaam en bij de veranderingen in het hart-vaat stelsel treedt al snel, binnen dagen, een evenwicht op.

Zaken als bloedvolume passen zich trager aan. Op de langere termijn, zoals bij een reis naar Mars van vele maanden, worden botontkalking en spieratrofie een probleem. En buiten het menselijk lichaam is er het grote gevaar van de radioactieve straling.

### **Ruimteziekte**

Een van de eerste problemen die zich openbaart is ruimteziekte of het Space Adaptation Syndrome. De helft van de astronauten heeft daar in meer of mindere mate van te lijden. Het geeft dezelfde symptomen als andere vormen van bewegingsziekte, maar het is niet op de grond te voorspellen of iemand ziek zal worden.

Er zijn diverse theorieën over de oorzaak. Eén van de theorieën is dat de verschijnselen optreden door de tegenstrijdige informatie uit de zintuigen: de astronaut neemt met zijn ogen een stilstaand beeld waar, maar voelt met zijn evenwichtsorgaan dat hij valt. In het vooronder van een deinende boot treedt iets vergelijkbaars op. Hoofdbewegingen verergeren de verwarrende situatie. Deze zintuiglijke conflicten veroorzaken misselijkheid.

Het 'nut' van het ziek worden zou dan een preventieve conditionerende maatregel zijn, die herhaling van de 'gevaarlijke' situatie moet voorkomen. Maar op het moment zelf werkt het zich beroerd voelen helaas averechts. Astronauten kunnen minder presteren en zelfs in gevaar komen door bewegingsziekte. Iedereen die wel eens goed zeeziek is geweest weet dat het een flinke aanslag op motivatie en werklust teweeg brengt.

Een andere theorie is dat er verschil in massa tussen de 'evenwichtssteentjes' in het binnenoor bestaat, bij de één meer dan bij de ander. Onder 1G-condities zijn we daarvoor aangepast. Bij het optreden van versnellingen of het gebrek daaraan is deze adaptatie niet meer toereikend. Er moet in gewichtloosheid weer een nieuwe adaptatie aan de, nu daadwerkelijk gelijke, signalen plaatsvinden. Een derde theorie voor ruimteziekte is de verhoogde vloeistofdruk in het hoofd als gevolg van de vloeistofverschuiving in het lichaam, een andere snelle verandering die door gewichtloosheid optreedt.

Er wordt veel onderzoek gedaan naar veranderingen in het neuro-vestibulaire systeem. De bemanning wordt op allerlei manieren onderworpen aan lineaire en draai-

bewegingen en visuele stimulatie, waarbij de oogbewegingsactiviteit als indicator van het evenwichtsorgaan wordt gemeten. In 1998 gaat er een speciale Spacelab vlucht, 'Neurolab', omhoog om neurologische veranderingen te meten.

Voorspellen wie er ziek wordt of wie er snel aangepast zal zijn, is voorlopig nog toekomstmuziek.

Voor korte Shuttle vluchten, waarop elke minuut met experimenten is volgestopt, kan ruimteziekte een grote aanslag op de missie betekenen. Vele astronauten nemen vooraf medicijnen of injecteren een geneesmiddel als de klachten optreden. Russen gebruiken banden aan hun helm om hoofdbewegingen te beperken. Ruimtwandelingen doet men in principe ook niet in het begin van de vlucht, om het risico op braken in de helm te voorkomen. Net als de zeevarende went ook de ruimtevaarder na enkele dagen. Op langere vluchten is er meer tijd voor adaptatie en is ruimteziekte een minder groot probleem.

### **Vloeistof-redistributie en het hart-vaat stelsel**

Normaliter zit een groot gedeelte van ons bloed in het onderlichaam, daarheen getrokken door de zwaartekracht. Mensen met spataderen of hartzwakte kennen de gevolgen van het beneden willen blijven van het bloed. Bij gewichtloosheid is plotseling de aantrekking verdwenen en verdeelt de vloeistof zich over het hele lichaam. Het lichaam is dat echter niet gewend. Hoewel we 's nachts ook plat liggen blijkt dit toch niet helemaal vergelijkbaar. Wel weet menigeen dat dikke voeten verminderen door liggen en bij hartzwakte geeft liggen benauwdheid omdat er meer vloeistof in de longen komt.

De ligpositie met de benen omhoog voor de lancering met een shuttle neemt al een deel van de vloeistofverschuiving voor zijn rekening. Eenmaal in een omloopbaan voelen de astronauten de grotere hoeveelheid vloeistof in het hoofd. Ze hebben bollere gezichten, dunnere benen en soms volle neusbijholten en hoofdpijn. Om deze vloeistofverschuiving vanuit de benen wat tegen te gaan gebruiken ze in het begin van hun verblijf in de ruimte elastische banden om de bovenbenen. Dit zou ook hoofdpijn en ruimteziekte voorkomen.

De oogboldruk, op een recente Spacelab vlucht al gemeten in het begin van de vlucht toen de astronauten nog in hun stoelen zaten, stijgt alarmerend in de eerste tijd, tot tweemaal zo hoog als normaal, om na enkele dagen weer naar een aards niveau te zakken.

De bloeddruk bij de ingang van het rechter hart, de centraal veneuze druk, is ondanks de verwachtingen niet gestegen, ondanks dat de aderen in de hals gezwollen zijn en de astronauten een vol gevoel in het hoofd hebben. Mogelijk is er door verminderde druk in de onderste longvaten meer mogelijkheid tot uitzetten van het hart, hetgeen zich uit in een normale of zelfs lagere centraal veneuze druk.

De huid heeft een grote opslagcapaciteit voor water. De met ultrageluid gemeten dikte van de huid boven het

scheenbeen wordt dunner in gewichtloosheid, terwijl die op het voorhoofd dikker wordt. Een proces dat zich na de landing binnen korte tijd omdraait.

Het hart pompt in het begin meer bloed uit door de verhoogde aanvoer. Het lichaam reageert op het teveel aan water in het bovenlichaam en zal het trachten te reduceren. Na de vlucht is het gewicht dan ook meestal afgenomen. De verwachte verhoogde urineproductie in de eerste 24 uur is echter nog niet gemeten. Mogelijk treedt de vermindering op door verminderde vochtopname.

Ook in de verdeling van bloed in de longen treedt er een nieuw evenwicht op. Op aarde zit er meer bloed in de onderste delen van de longen. Bepaalde gassen voor onderzoek worden daar meer in het bloed opgenomen dan boven in de longen. In gewichtloosheid wordt het bloed meer gelijkmatig verdeeld en de gassen zouden dus in gelijke mate opgenomen moeten worden. In de unieke laboratoriumconditie van gewichtloosheid is echter ontdekt dat er behalve de toename van verticale bloed perfusie verdeling ook een verdeling van centraal naar perifeer bestaat. Deze bevinding was onder 1G-condities niet mogelijk.

Eveneens veranderen de reacties van het hart-vaat systeem. De bloeddrukreflexen nemen af en de weerstand in de bloedvaten van het onderlichaam eveneens. Dit wordt onder andere gemeten met Echo-Doppler machines, met ademgas-analyse apparatuur en met andere apparatuur aan boord. Het hele hart-vaat systeem lijkt minder alert te worden gedurende het verblijf in gewichtloosheid. Dit levert tijdens de vlucht geen probleem op, maar wel als er geland gaat worden op aarde of Mars.

Het lichaam is tijdens de vlucht een groot deel van de vloeistof kwijtgeraakt. Mogelijk door minder drinken, verdampen of toch meer plassen. Het is aangepast aan de microzwaartekracht. Bij het binnentreden van de atmosfeer treden de eerste problemen al op. De Shuttle astronauten zitten nu rechtop omdat het ruimteschip als een vliegtuig landt en de vertraging loopt tot 2G op. Het bloed zakt in de benen en de astronauten zouden zonder tegenmaatregelen bewusteloos kunnen raken.

Daarom dragen ze net als jachtvliegers een anti-G broek, die opblaast bij verhoogde versnellingen en voorkomt dat het bloed in de benen wegzakt. Ook worden er zoutpillen met veel water genomen voor de landing, maar het nut daarvan wordt betwijfeld bij langdurig verblijf in de ruimte, omdat dan niet alleen het vloeistofverlies een rol speelt maar ook het verminderen van de normale reflexen. Een andere veel gebruikte manier om het lichaam weer te activeren om vocht te gaan vasthouden is de zogenaamde 'Lower Body Negative Pressure' methode. De ruimtevaarders worden voor een bepaalde tijd in een apparaat aan een lagere druk rond het onderlichaam blootgesteld, waardoor het bloed weer het onderlichaam in wordt 'geduwd' en zo het lichaam gestimuleerd wordt om meer vocht vast te gaan houden.

Dit soort methoden zijn van groot belang bij lange vluch-

ten of een Mars-reis, want na maanden van gewichtloosheid zal het rondlopen bij zwaartekracht de nodige moeite kosten. Een groot deel van de astronauten heeft na de vlucht problemen om bij langere tijd rechtop staan de bloeddruk op peil te houden. Vluchten van meer dan een jaar zijn al gemaakt en de kosmonauten herstelden zich na de landing redelijk snel.

### **Bloed- en afweersysteem**

Na enige tijd in de ruimte hebben het evenwichtssysteem en het hart-vaat stelsel zich dus keurig aangepast aan de nieuwe omstandigheden. Andere problemen doemen echter op. Zo blijkt dat het volume aan rode bloedcellen, onze zuurstoftransporteurs, gaat afnemen, evenals een van de bloedvorming stimulerende hormonen. Dit is een functionele adaptatie, maar op Aarde of Mars zal dat bloed toch weer nodig zijn.

Een mogelijk gevaarlijker probleem doet zich voor bij een andere functie van ons bloed: de afweer. Sommige witte bloedcellen zijn in aantal toegenomen, andere afgenomen en de activatie van T-lymfocyten, van belang bij ons afweersysteem, lijkt verminderd te zijn.

Tegelijkertijd zitten de astronauten in een gesloten ecosysteem waarbij infecties zich gemakkelijk verspreiden onder de bemanning.

Bovendien zijn er aanwijzingen dat bacteriën beter bestand zijn tegen antibiotica in microzwaartekracht. Sommige bacteriën veranderen van vorm en activiteit. Een infectieuze epidemie behoort dus tot de mogelijkheden. Hygiëne aan boord is derhalve van groot belang. Een defect in het zuigmechanisme van het toilet zou een ramp zijn.

### **Spier-atrofie**

Omdat de astronauten hun spieren veel minder hoeven te gebruiken wordt er een duidelijke afname van de spiermassa gemeten bij terugkeer, vooral in de spieren die de zwaartekracht tegenwerken, zoals in benen en rug. De maximale kracht neemt af en er treedt meer melkzuurvorming per inspanningsniveau op. Niet alleen skeletspieren, maar ook de hartspier vermindert in volume.

Daar bovenop komt ook een verandering van de neurologische sturing van de spieren, die de functionaliteit nog verder vermindert. Zo vertoonde een astronaut na een vlucht van een half jaar een afname van 50% van zijn maximale afzetcapaciteit in beide benen, hetgeen niet correleerde met de 20% afname in spiervolume.

Tijdens de ruimtevlucht moeten de spieren soms toch fors gebruikt worden, zoals bijvoorbeeld tijdens ruimtewandelingen, waarbij de astronauten grote massa's moeten bewegen. De ruimtevaarders trainen hun spieren daarom veelvuldig op loopbanden en fietsergometers en weten zo de afname te reduceren. Kosmonauten dragen vaak een zogenaamd pinguïnpak, waarin elastische banden zijn verwerkt die de persoon dwingen zijn spieren op spanning te houden. In de toekomst zal elektrische stimulatie van de spieren een rol gaan spelen als tegenmaatregel.

### **Botontkalking**

Een van de grotere problemen is de botontkalking bij astronauten. In de gewichtloze toestand worden de botten veel minder gestimuleerd door mechanische prikkels en door spierspanning. Ze zijn minder nodig en het lichaam reageert daar op door het evenwicht tussen aanmaak en afbraak van bot te veranderen. Een gevolg hiervan is dat het spongieuze bot, de botmatrix, van vooral de gewichtdragende botten zoals hiel, heup en wervelkolom, minder dicht wordt.

Het verlies aan botdichtheid en botstijfheid wordt met verschillende technieken onderzocht, zoals met ultrageluid, röntgenstraling en frequentie-analyse na een mechanische input.

De botafzetting op de botbalkjes verandert en de vraag is in hoeverre er zoveel vermindering optreedt dat er irreversibel verlies aan botbalkjes optreedt. Calciumverlies in urine en ontlasting is verhoogd en de botdichtheid is verminderd. In sommige botten is een daling van meer dan 10% waargenomen.

Hoewel het extra calcium in de urine een risico is, heeft zich dat nog niet geuit in verhoogde niersteenvorming bij astronauten. Nierstenen zouden een pijnlijk en groot gevaar voor gezondheid van een astronaut zijn.

De correlatie tussen botdichtheid, de hoeveelheid mineralen of veranderende uitslagen van ultrageluidtests en botbreuken is overigens nog niet goed aangetoond.

Het verlies aan botdichtheid baart ook zorgen, omdat diverse kosmonauten dit tot vele maanden na hun lange vluchten, van een half jaar of meer, nog steeds vertonen. Mogelijk is een deel van het verlies onomkeerbaar. De statistiek zal uitwijzen of kosmonauten op latere leeftijd meer dan normaal botbreuken krijgen.

Er worden verschillende manieren bedacht om de botontkalking tegen te gaan. Extra kalk helpt niet omdat het lichaam dat in gewichtloosheid niet nodig heeft. De vele fysieke inspanningen die de kosmonauten leveren op de loopbanden en ergometers ten spijt neemt de botdichtheid toch af. Experimenten met intermitterende mechanische stimulatie en met medicijnen geven hopelijk goede resultaten in de toekomst.

Het onderzoek naar dit versnelde proces van botverlies bij redelijk jonge, gezonde astronauten kan mogelijk nuttige informatie opleveren voor het botontkalkingsonderzoek op aarde. Vele miljoenen mensen lijden op oudere leeftijd aan botverlies (osteoporose), met pijn, ernstige fracturen en invaliditeit als gevolg.

Het feit dat er geen gewicht meer is zorgt er ook voor dat de astronauten tot enkele centimeters langer worden omdat de ruggengraat zich uitrekt. Dit kan tot rugklachten aanleiding geven.

### **Kunstmatige zwaartekracht**

Een natuurlijke methode om botverlies en spieratrofie tegen te gaan tijdens reizen naar Mars zou zijn om het

ruimteschip te laten roteren, om zo een centrifugale versnelling op te wekken die als vervanger van de aardse zwaartekracht fungeert.

Een probleem is dat Coriolis-effecten in het evenwichtsorgaan door het bewegen tijdens de draaiing bewegingsziekte kunnen veroorzaken. Een oplossing zou een lange kabel tussen twee schepen kunnen zijn waardoor de hoeksnelheid kan verminderen.

Voor een ruimtestation in een baan om de aarde is deze oplossing niet aan de orde omdat men juist onderzoek in gewichtloosheid wil doen.

### **Radioactieve straling**

Astronauten berichten soms over flitsen en strepen terwijl ze hun ogen dicht hebben. Hun netvlies is dan geraakt door een radioactief deeltje. Zowel straling van de zon als hoog-energetische kosmische straling, vooral protonen, spelen een rol. In de nabijheid van de aarde spelen ook de protonen die gevangen zitten in de Van Allen gordel een rol.

In een lage baan om de Aarde zijn astronauten buiten de atmosfeer toch nog grotendeels beschermd door het magnetische veld tegen straling. Toch zijn er plekken, zoals boven de zuidelijke Atlantische Oceaan, waar meer straling doordringt.

Bezorgdheid is er vanwege de zeer gevaarlijke effecten door de hoge dosis straling van zonnevlammen. Niet elke zonnevlam geeft een uitstoot van deeltjes. Worden er wel deeltjes uitgestraald dan spreekt men van een Solar Particle Event (SPE). Vanzelfsprekend is de richting van belang. Een niet op de aarde of een ruimteschip gerichte uitstoot kan de kosmische straling zelfs verminderen.

De wanden van een ruimteschip beschermen de bemanning voldoende tegen de normale straling, dat wil zeggen dat de ontvangen dosis valt binnen de grenzen zoals ze voor een astronaut geaccepteerd zijn.

Radioactieve straling vormt vooral tijdens een reis naar Mars een bedreiging op de lange duur. Op weg naar Mars zal de bemanning moeten beschikken over een schuilplaats met dikkere wanden tegen een stralingsstorm van een SPE. Ze zullen zich daar tot een paar dagen in moeten terugtrekken zodra, voorafgaande aan de deeltjesstorm, verhoogde röntgenstraling een SPE aankondigt.

Aangezien er cycli van ongeveer 11 jaar in de zonneactiviteit zijn is het zaak om een reis tussen twee pieken te plannen.

De schade aan het DNA in de menselijke cellen kan op den duur tot kanker lijden. Vooral de hoog-energetische protonen in kosmische straling dringen diep door en veroorzaken schade. Ook veroorzaakt straling de vorming van zogenaamde vrije radicalen: energierijke brokstukken van moleculen, uiteengevallen door de botsing met de stralingsdeeltjes. Deze sterk oxiderende deeltjes hebben een schadelijk effect op andere moleculen in de cellen. Een acute hoge dosis van een zonnevlam kan binnen dagen tot de dood lijden.

Er zijn maximale doses vastgesteld die een astronaut mag

krijgen gedurende zijn of haar loopbaan. Omdat het enige tijd duurt voordat schade aan het DNA zich als kanker uit, komen oudere astronauten mogelijk eerder in aanmerking voor een reis naar Mars.

### **Ruimtwandelingen**

Vaak begeven ruimtevaarders zich buiten de relatieve veiligheid van hun ruimteschip om in de vijandige omgeving van de ruimte werkzaamheden te verrichten. Ze repareren apparatuur, plaatsen of bergen experimenten, halen satellieten op of bouwen, in de nabije toekomst, aan het ruimtestation. Een ruimtwandeling wordt grondig voorbereid en alleen uitgevoerd door daarvoor in grote waterbassins op aarde getrainde astronauten.

Vanwege het ontbreken van tegendruk zou een ruimtevaarder problemen krijgen met het buigen van de ledematen als er één atmosfeer druk in zijn pak zou bestaan.

Maar het omlaag brengen van de druk kan net als bij duikers de vorming van stikstofbelletjes in het lichaam veroorzaken. Die kunnen ernstige schade veroorzaken door afsluiting van bloedvaatjes. Daarom wordt de druk in de Space Shuttle zelf voorafgaand aan de ruimtwandeling verlaagd en ademt de astronaut een tijd pure zuurstof om de stikstof uit zijn lichaam te laten ontsnappen.

Ruimtwandelingen duren vele uren en zijn vermoeiend. Urineren, drinken en het eten van wat voedsel vindt allemaal in het pak plaats.

De pakken moeten de astronauten behalve tegen het vacuüm ook beschermen tegen de extreme koude aan de ene en de felle zonnestraling aan de andere kant. Aanvankelijk waren beslagen vizieren en meer recent koude vingers een probleem.

### **Ruimtepuin**

Een mogelijke oorzaak voor ongevallen ligt in botsingen met ruimtepuin. Vooral rond de aarde draait veel rommel rond, dat voor het grootste deel van ons zelf afkomstig is als gevolg van geëxplodeerde rakettrappen, satellieten en ander afval.

Op de grond worden 7.000 voorwerpen van 10 cm en groter gevolgd, maar het totale aantal is het tienvoudige. Het volume aan ruimte in een omloopbaan is enorm, maar de snelheden ook. En helaas gaat niet alles met dezelfde snelheid dezelfde richting op. Een botsing met een tegemoet komend voorwerp kan met de snelheid van vele duizenden kilometers per uur een compleet ruimteschip vernielen.

Rond de aarde draaiend lopen satellieten voortdurend schade op door inslagen van zeer kleine deeltjes en ook de Shuttle heeft al zichtbare inslagen op de ruiten gehad. Radarwaarschuwingen kunnen de bemanning op tijd tot een baanverandering aanzetten.

### **Psychologische aspecten**

Hoewel astronauten ook maar mensen zijn, wordt toch verwacht dat ze geen last hebben van psychische problemen en alles kunnen doen wat er van ze verwacht wordt.

Soms staat de boog iets te lang gespannen. Zelfs de beste vrienden kunnen elkaar gaan irriteren als ze weken in een kleine capsule rondjes rond de aarde draaien, zoals tijdens de Gemini-vluchten. Er zijn kosmonauten in de ruimtestations geweest die maanden niet met elkaar hebben gepraat en er is een Soyuz-bemanning vlak voor de vlucht ontslagen omdat die teveel ruzie maakte.

Maar ook mouterij ten opzichte van de vluchtleiding op de grond komt voor. Tijdens een van de Skylab-vluchten werden er zoveel nieuwe activiteiten van de astronauten geëist dat de bemanning op een gegeven moment meedeelde dat ze geen nieuwe orders meer aannamen. Ze zouden voorlopig alleen het geplande programma uitvoeren.

Ook tijdens de Spacelab-vluchten is de werkdruk hoog. Aangezien tijd tijdens een ruimtevlucht erg kostbaar is, wordt die voor astronauten zo strak mogelijk ingedeeld. Zodra er iets misgaat loopt het schema spaak en moet de astronaut in zijn eigen tijd bijvoorbeeld apparatuur repareren.

De vluchtartsen moeten er onder andere voor zorgen dat de wetenschappers en ingenieurs, met hun overigens begrijpelijke vraag naar bruikbare en extra data, de astronaut niet overbelasten. Een vermoeide en geïrriteerde astronaut kan fouten maken waar niemand op zit te wachten.

Naast de werkdruk en onderlinge wrijvingen geeft de gevaarlijke situatie waarin de astronauten zich bevinden ook extra psychische belasting. Over het algemeen zal een astronaut zich niet met de potentiële gevaren van de ruimte bezighouden. Als echter de stroom in het station uitvalt en het geheel begint te tuimelen, of wanneer er brand uitbreekt aan boord, dan beseffen de astronauten dat ze in een gevaarlijke situatie zitten. Beide gevallen zijn recent voorgevallen aan boord van het Russische ruimtestation Mir.

Ook hebben we recent kunnen meemaken hoe er aan boord van Mir een enorme psychische belasting van de bemanningsleden optrad als gevolg van een botsing met een vrachtschip, waardoor verlies aan luchtdruk en stroom optrad. Dit werd gevolgd door een serie van nieuwe ongelukken en vergissingen die duidelijk effect op hun functioneren had. Er werd dan ook besloten dat een noodzakelijke ruimtewandeling moest worden overgelaten aan de volgende bemanning.

Ook slaapproblemen werken mee aan de psychische druk. Er wordt vaak in ploegendiensten gewerkt tijdens Space-lab-vluchten, met als gevolg dat men elkaar stoort. Bovendien is er veel lawaai.

De gewichtloosheid en het gebrek aan druk zoals van matras en dekens geeft astronauten niet het gevoel in een bed te liggen. Af en toe schrikken astronauten ook wakker met het, terechte, gevoel dat ze aan het vallen zijn.

De samenstelling van de bemanning voor een reis naar

Mars verdient veel aandacht. Lange tijd in een kleine ruimte zonder normaal contact met het thuisfront, omdat door de enorme afstanden er geen directe communicatie kan plaatsvinden, en zonder kans op terugkeer bij ernstige problemen, vergt veel van de bemanning. Heimwee en depressies liggen op de loer.

Er zijn vele ideeën over de samenstelling. Zo is het voordeel van oudere astronauten dat de kinderen al het huis uit zijn zodat ze zich minder zorgen hoeven te maken.

Gemengde bemanningen, qua geslacht en culturele achtergrond, kunnen zowel voor- als nadelen hebben. Onderlinge intieme relaties kunnen grote problemen veroorzaken.

De bemanning moet zich prettig voelen in het ruimteschip, bijvoorbeeld door middel van genoeg plaats om zich af te zonderen, ontspanningsmogelijkheden, planten en vers voedsel.

Noodsituaties, zoals defecte voorzieningen of medische problemen, zal de bemanning zelf op moeten lossen en die dient derhalve de nodige expertise aan boord te hebben.

Een radiosignaal naar de aarde duurt vele minuten en heeft voor noodsituaties waarschijnlijk weinig nut.

Ook is het van belang dat de astronauten tijdens de lange reis goed getraind blijven voor de landing op Mars.

Analoge ruimtevaartsituaties in duikboten of op Zuidpoolbases en ervaringen uit gerichte isolatiestudies moeten leiden tot het voorkomen of op tijd onderkennen en bestrijden van psychologische problematiek tijdens langdurige ruimtevluchten.



# Ioniserende straling in en rondom ons

A.J.J. Bos



De heer Bos heeft geen volledige lezing ingeleverd. De redactie heeft daarom besloten de door hem gemaakte sheets op te nemen.

## NATUURKUNDE EN GEZONDHEID ioniserende straling en effect

bron (activiteit in Bq; bundelintensiteit)  
↓  
blootstelling  
↓  
geabsorbeerde dosis (gray; 1 Gy = 1 J/kg)  
↓  
biologische effect  
↓  
risico (bijv. sterftekans per jaar)

Tabel 1. Nieuwe 'terminologie'

oud	nieuw
kwaliteitsfactor Q	stralingsweegfactor $w_R$
weefselweegfactor $w_T$	weefselweegfactor $w_T$
dosisequivalent	equivalente dosis
$H = QD$	$H_T = w_R D_T$
eff. dosisequivalent $H_E$	effectieve dosis E

## 2. Kwaliteitsfactoren en stralingsweegfactoren

	Q	$w_R$
röntgenstraling	1	1
gammastraling	1	1
elektronen	1	1
neutronen	2 - 11	5 - 20
protonen	10	5
$\alpha$ -straling	20	20

## Effectieve dosis E eenheid: sievert (Sv)

gecorrigeerd voor:

- soort straling
- stralingsgevoeligheid van de bestraalde weefsels/organen
- inhomogene verdeling energie-absorptie

gebruikt als:

- risicomaat bij blootstelling bij lage doses

LNT hypothese

L (Linear) kans op effect evenredig met E  
ernst van het effect onafhankelijk van E  
NT (Non Threshold) geen drempel

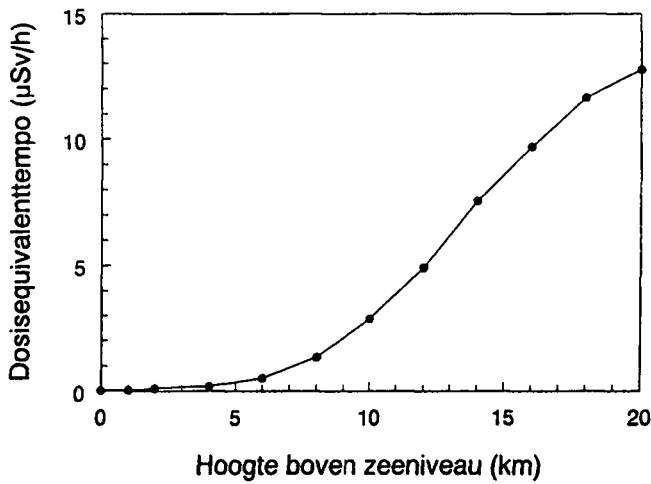
Risicofactor: ca  $5 \cdot 10^{-5}$  per mSv (1991)  
ca  $2 \cdot 10^{-5}$  per mSv (1977)

## OUDE EN NIEUWE DOSISLIMIETEN (internationaal) voor stochastische effecten

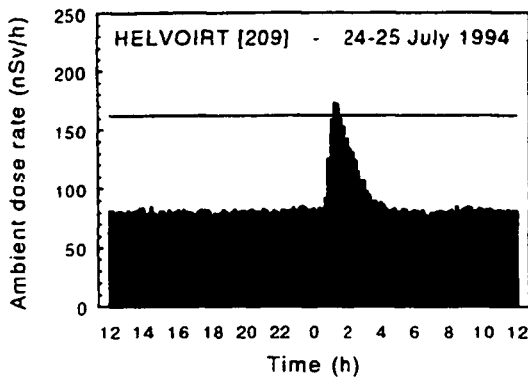
CATEGORIE	ICRP, 1991	ICRP, 1977
	mSv per jaar	mSv per jaar
Radiologische werkers	20 <sup>1)</sup>	50
Leden van de bevolking	1 <sup>2)</sup>	5

1) Gemiddeld over 5 opeenvolgende jaren met maximaal 50 mSv per jaar  
2) Hogere waarden toegestaan mits het gemid. over 5 jaren < 1 mSv.

## Effect kosmische straling in de dampkring

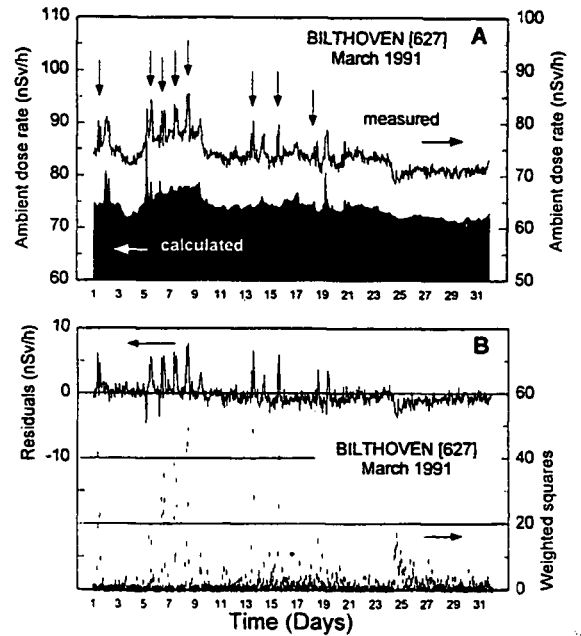


## Effect regenbui



Het natuurlijke stralingsniveau is afhankelijk van:

- bodemsoort
- luchtdruk
- regenval
- concentratie  $^{222}\text{Rn}$ -dochters



Ontleend aan: R.O. Blaauboer and R.C.G.M. Smetsers: Variations in outdoor radiation levels in The Netherlands, proefschrift, Groningen 1996

Tabel 7.4 Gemiddelde activiteitsconcentraties van Nederlandse bouwmaterialen

Materiaal	Massieke activiteit (Bq/kg)		
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
• beton	22	22	150
• gasbetonblok	21	6	150
• baksteen	43	42	540
• blinkbastenstein	115	132	870
• kalkzandsteen	8	8	250
• porisozen	72	73	1030
• wandtegels/plavuizen	66	62	460
• gipskartonplaat (natuurlijk)	4	2	20
• idem (chemiegips)	690	6	10
• vliedeg	181	150	730
• hout	10	2	20
• glaswol/steenwol	34	78	130
• vensterglas	10	2	110
• portland cement	27	19	230

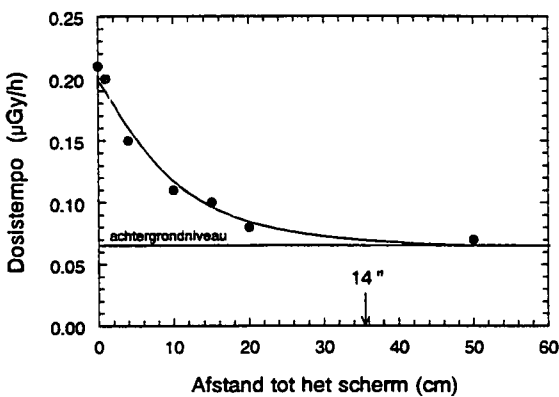


## Natuurlijke activiteit in het menselijk lichaam

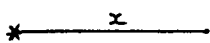
Nuclide	massa	opname μg/dag	activiteit Bq
uranium	90 μg	1,9	1,1
thorium	30 μg	3	0,11
<sup>40</sup> K	17 mg	390	4400
radium	31 pg	0,0023	1,1
<sup>14</sup> C	95 ng	0,0018	1800
tritium	0,06 pg	0,003 pg	23
polonium	0,2 pg	~0,6	37

0,40 mSv a<sup>-1</sup>

Dosistempo van een 14" monitor

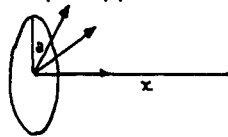


Afname dosistempo als functie van de afstand x  
puntbron



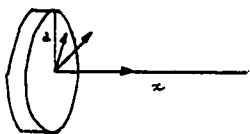
$$\sim \frac{1}{x^2}$$

isotrope oppervlaktebron

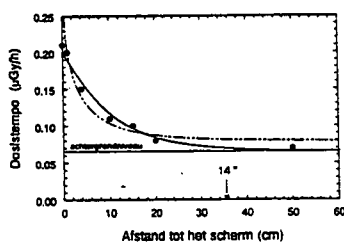


$$\sim \ln \left( 1 + \frac{a^2}{x^2} \right)$$

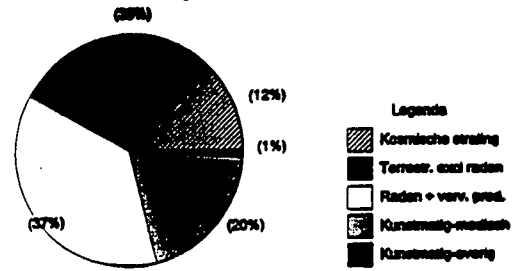
cosinusschijfbron



$$\sim 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{x^2}}}$$



## Verdeling over bronnen (%)



Figuur 7.1 Verdeling van de jaarlijkse effectieve dosis voor de gemiddelde Nederlander als weergegeven in tabel 7.7.

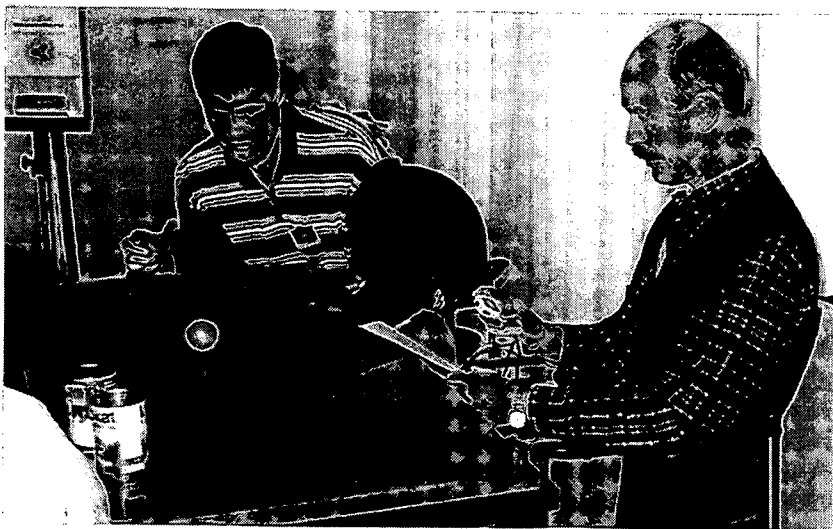
Tabel 7.7 Verdeling van de jaarlijkse effectieve dosis voor de gemiddelde Nederlander		
Belastingsoort	E (mSv/j)	%
<b>Natuurlijke stralingsbelasting</b>		
• Kosmische straling	0,30	12
• Terrestrische straling	0,35	14
- inwendige bestraling	0,40	16
- radon en vervelproducten	0,93	37
<b>Kunstmatige stralingsbelasting</b>		
- geneeskunde (patiënten)	0,50	20
- beroepsmatige blootstelling	< 0,01	
- wetenschap en techniek	< 0,01	
- energievoorziening	< 0,01	
- gebruiksmaterialen	< 0,01	
- radioactief afval	< 0,01	
- fall-out	0,01	
<b>Totaal circa</b>	<b>2,50</b>	<b>100</b>

## CONCLUSIES

1. De mens is een stralingsbron ( $A \sim 5000$  Bq)
2. De variaties in de natuurlijke externe achtergrondstraling zijn per plaats veel groter dan in de tijd
  - Variaties per plaats:  $440 \mu\text{Sv/a} - 1050 \mu\text{Sv/a}$
  - Variaties in de tijd:  $680 \mu\text{Sv/a} - 750 \mu\text{Sv/a}$
3. Een verband tussen verhoogde achtergrondstraling en verhoogde kankerincidentie is tot op heden niet aangetoond



# Werkgroepen



# Hoe blijf je gezond met Algemene Natuurweten- schappen

Werkgroep 1

*L. Heimel & A. Teekens-Veldkamp*



Het vak ANW komt eraan. Het gaat over de ontwikkeling van natuurwetenschappelijk onderzoek. Een van de domeinen is Leven. Hoe geeft een docent natuurkunde invulling aan dit domein? Hoe beantwoord je biologisch getinte vragen?

In de workshop is aandacht besteed aan het experimentele lesmateriaal 'Over-leven'. Daarbij is gebruik gemaakt van 'over-levingsproducten' uit één van de proefscholen. In de werkgroep zijn ook ervaringen uitgewisseld van en tussen docenten die aan de huidige omscholingen in het land deelnemen.

Hoe ziet het vak er voor leerlingen uit en wat is de speelruimte die de eindtermen bieden aan de schrijvers van de lesmethodes en de docenten? Kun je je fysisch, biologisch, chemisch of geografisch getinte hobby nu met de leerlingen delen?

Als afsluiting werd een collage gegeven van uitspraken van leerlingen uit de proefschooljaren (1996/97 en 1997/98), die in interviews en toetsen met reflectieopdrachten opvielen.



# Zien met twee ogen: het schatten van afstand en richting uit twee gezichtspunten

Werkgroep 2

*C.J. Erkelens*

Het doel van deze werkgroep was te laten zien hoe door het uitvoeren van eenvoudige berekeningen en meetkundige constructies inzicht in het twee-ogig zien van mens en dier kon worden verkregen. Het twee-ogig zien is een onderwerp dat demonstreert hoe we door het toepassen van wis- en natuurkundige principes inzicht kunnen krijgen in de werking van levensprocessen. Het onderwerp zou zich goed lenen om als biofysisch onderwerp in het natuurkunde-onderwijs van het VWO-programma te worden opgenomen. Triangulatie, ofwel driehoeksmeting, wordt in de landmeetkunde en de sterrenkunde gebruikt om de coördinaten van objecten te schatten. Het visueel systeem van de mens, en dat van sommige diersoorten, schat de afstand en de richting van voorwerpen uit tweepuntsmetingen, namelijk uit vergelijking van de netvliesbeelden van beide ogen met elkaar. Dit betekent dat het visueel systeem impliciet gebruik maakt van coördinatenstelsels, zodat posities op de netvliesen met elkaar kunnen worden vergeleken en afstanden ertussen kunnen worden aangegeven. Met behulp van wiskundige modellen is onderzocht welke coördinatenstelsels hiervoor in aanmerking komen. Kennis van de anatomie en fysiologie van het visueel systeem en de psychofysica van het dieptezien heeft geleerd welke grootheden relevant zijn voor het twee-ogig zien. Er is een wiskundig model van het dieptezien ontwikkeld, dat uitgaat van de relevante signalen en waarmee het twee-ogig dieptezien in verschillende omstandigheden is onderzocht. De voorspellingen van het model werden in experimenteel onderzoek getoetst. Het begrip richting is vanuit één centrum goed te definiëren. Bij het zien hebben we te maken met twee centra. Voor het twee-ogig zien is door onderzoekers het concept 'cyclopisch oog' ontwikkeld. Dit is een hypothetisch oog



ter plaatse van de neusbrug dat als centrum voor richtingswaarneming fungeert. Naast het voordeel dat vanuit het cyclopisch oog richting éénduidig kan worden vastgelegd, kleven er enkele praktische bezwaren aan het concept. Enkele voorbeelden van resultaten uit psychofysische experimenten zijn aangehaald die in strijd zijn met het concept. In de werkgroep hebben we verder aandacht besteed aan enkele bijzondere eigenschappen van het twee-ogig zien van de mens. Ook zijn enkele toepassingen besproken. Aan het eind van de werkgroep, waarin de sfeer geanimeerd was en de deelnemers enthousiast aan de discussies deelnamen, is nog even aandacht besteed aan het zelf maken van stereogrammen en autostereogrammen.

# Wijs of onwijs wijzen!?

Werkgroep 3

*E.J. Nijhof*



## Inleiding

Dagelijks maken we - schijnbaar moeiteloos - vele grijpen wijsbewegingen: tijdens het aankleden, het tandenpoetsen, het oppakken van een kopje koffie, maar ook bijvoorbeeld tijdens zeer gecompliceerde bewegingen als schrijven en tekenen. Dit kunnen we allemaal vanwege de kracht, flexibiliteit en precisie van handbewegingen. De handen en armen zijn belangrijk in ons leven, hetgeen blijkt uit het feit dat we ze erbij betrekken als we het zelfs over geheel andere dingen hebben. We zeggen: 'Van hand tot hand gaan', 'van de hand doen', 'iemand's aandacht vasthouden', enz.

Reiken en grijpen hangen af van de balans tussen enerzijds initiële programmering van de beweging en anderzijds van correcties op een eenmaal gestarte beweging. De initiële programmering is vaak gebaseerd op de visuele waarneming van het voorwerp dat we willen gaan oppakken. Op grond van wat we zien, beslissen we of we het voorwerp met één of met twee handen gaan oppakken, hoe de oriëntatie van de geopende hand moet zijn, of we alle of maar enkele vingers om het voorwerp moeten buigen, enz. Indien de programmering van de beweging vooraf niet tot het gewenste resultaat leidt - het melkpak blijkt toch voller dan we in eerste instantie dachten - volgen één of meerdere correcties totdat we ons doel wél bereikt hebben.

## Van kinds af aan

Ondanks het feit dat doelgerichte arm- en handbewegingen zo alledaags zijn, moeten we ze toch aanleren. Een foetus heeft al na ongeveer acht weken vingers en kan na ongeveer een half jaar de hand gebruiken als een voldragene baby waarbij het de welbekende grijpreflex kan vertonen -het automatisch vastgrijpen van een stokje dat tegen de handpalm wordt gedrukt. Deze grijpreflex is zo sterk dat de baby aan het stokje opgetild kan worden!

Baby's van ongeveer een half jaar doen wel veel verwoede pogingen om doelgerichte bewegingen te maken, maar die hebben vaak maar weinig succes en zijn niet meer dan

wat zwaaien in de lucht. Als zij uiteindelijk na een maand of vier de besturing van de arm redelijk onder de knie hebben en hun hand in de richting van het gewenste doel kunnen bewegen, zien we dat zij nog steeds reikbewegingen maken naar doelen die te ver weg liggen. Blijkbaar is de koppeling tussen wat de ogen zien en wat de hand moet doen nog niet optimaal. Het duurt nog enkele maanden om deze koppeling goed tot stand te brengen. Veel moeilijker blijkt het te zijn om de hand ook de goede opening en de goede oriëntatie van die opening te geven. Wij oriënteren onze handopening verticaal bij het oppakken van een glas en passen die opening aan voor een bierglas of een borrelglaasje. Merk op dat deze oriëntatie en aanpassing gebeuren *tijdens* de reikbeweging en niet pas als we al bij het voorwerp zijn aangekomen. Samengevat kunnen we zeggen dat na ongeveer een jaar baby's goede, gecontroleerde reik- en grijpbewegingen kunnen maken.

In het algemeen worden grijpbewegingen uitgevoerd op basis van en onder controle van hetgeen we zien. Toch is het niet noodzakelijk dat we de ogen gebruiken om onze hand naar het doel te geleiden: we kunnen immers in het donker prima het knopje van het nachtlampje vinden. Blijkbaar hebben onze hersenen kennis over de stand van de arm in de ruimte, *maar hoe?*

## Metten is weten!

De hersenen laten ons lichaam in de buitenwereld bewegen. Moeilijke bewegingen, zoals die van de hand (schrijven!) en die van de tong (spreken!) nemen daarbij een relatief groter gedeelte van de hersenen in dan eenvoudigere bewegingen (zie figuur 1). De hersenen krijgen informatie over die buitenwereld terug via de bekende zintuigen als ogen, oren e.d. (zie figuur 2). Ook 'weten' de hersenen iets over het lichaam zelf. Met de ogen dicht 'voelen' we immers in welke stand onze arm staat (vraag maar eens aan iemand om je arm te bewegen terwijl je je ogen gesloten houdt). Hoe weten onze hersenen dit? Net als bijvoorbeeld voor de tast of de temperatuur heb-

ben we in de arm (of eigenlijk in de spieren) speciale orgaantjes, de zogenaamde spierspoeltjes, die de spanning van de spier en daarmee de stand van de arm in de ruimte 'opmeten' en doorgeven aan de hersenen.

De hersenen kunnen gemakkelijk in de war gebracht worden door de informatie uit de spierspoeltjes te 'veranderen'; ga maar eens vlak naast een muur staan met de armen gestrekt naar beneden langs het lichaam; druk nu zijwaarts en zo hard mogelijk met de bovenkant van de vlakke hand tegen de muur en houdt dit een minuutje vol; stap daarna van de muur weg en beur de arm langzaam op; plotseling...de arm...meer!!!!

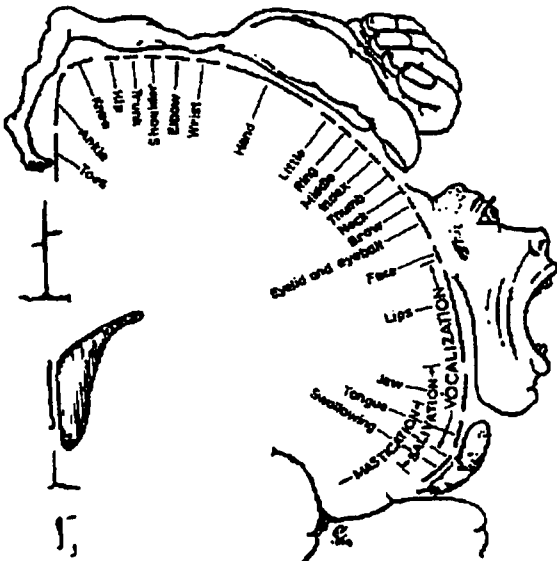


Fig. 1: Motoriek.

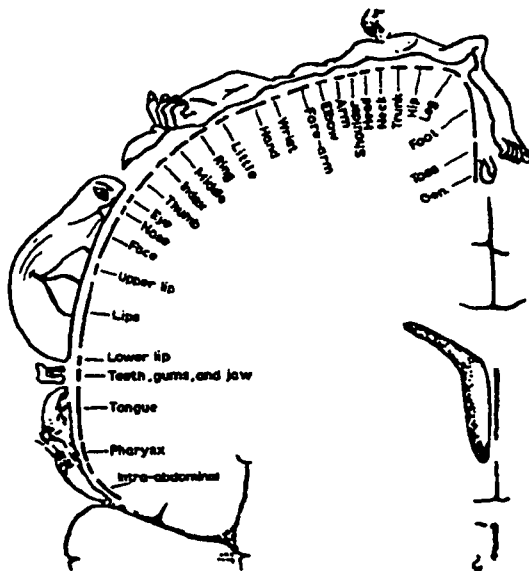


Fig. 2: Sensoriek.

### Wijzer door wijzen!?

De hersenen weten via de spierspoeltjes de stand van de arm t.o.v. *het lichaam*. Om echter een absolute richting *in de ruimte* te kunnen benoemen moet er een soort 'kaart'

bestaan waarop aangegeven staat welke sensorische informatie overeenkomt met welke richting: de sensomotorische kaart. Natuurlijk bestaat er ook een soortgelijke kaart voor het zien, de visuele kaart. Het is duidelijk dat voor een doelgerichte beweging beide kaarten op één of andere manier aan elkaar gekoppeld moeten worden - een leerproces dat zoals we gezien hebben vrij lang duurt.

### Voor de gek?

Toch zijn de sensomotorische en de visuele kaarten niet onlosmakelijk met elkaar verbonden. Als we een bril moeten gaan dragen met cilinderglazen die de wereld in één richting verkleint of vergroot dan kunnen we na een poosje hiermee prima rondlopen. Zelfs met een bril die de wereld op zijn kop zet kunnen we na een week volkomen normaal functioneren! Ook verandert gedurende de groei de lengte van onze ledematen en de sensomotorische kaart zal evenredig 'mee moeten groeien'. Blijkbaar zijn de kaarten niet vast maar plastisch, en kunnen zij zich aanpassen aan - langdurige - veranderingen.

In de werkgroep hebben we bekeken dat deze aanpassing zich ook op zeer korte termijn kan afspelen. Proefpersonen moesten aanwijsbewegingen maken terwijl zij hun arm en hand *niet* konden zien. Zoals we uit ervaring weten kan dit heel goed en treden fouten op van minder dan een centimeter. Vervolgens kregen de proefpersonen een bril op waarvan zij - in eerste instantie - het visuele effect niet doorhadden. Bij herhaling van de aanwijsproof bleek dat nu grote fouten optraden, waarbij de proefpersonen consequent drie tot vier centimeter links van het doel wezen. Blijkbaar was, door het dragen van de speciale bril, de relatie tussen de visuele en de sensomotorische kaarten verstoord.

In het tweede gedeelte van de proef moesten de proefpersonen met de bril op dezelfde aanwijsbewegingen maken, maar nu terwijl zij hun arm en hand *wel* konden zien. Het resultaat was dat de fout weer terug kwam op het oude niveau van minder dan een centimeter; blijkbaar kunnen we dus toch wel goed bewegen met de bril op! Ook na afdekking van de hand en arm neemt de fout niet toe. Tenslotte moesten de proefpersonen aanwijsbewegingen maken nadat zij de bril weer afgezet hadden en waarbij de hand en arm nog steeds afgedekt zijn. In dit geval werden weer de fouten gemaakt van drie tot vier centimeter, echter deze keer niet naar links *maar naar rechts!* Wat is dat voor een bijzondere bril?

De bril heeft vlakke glazen die onder een kleine hoek van ongeveer 7° geslepen zijn (zie - de overdreven getekende - figuur 3). Het gevolg is dat lichtstralen die loodrecht het oog lijken in te vallen dit in werkelijkheid onder een kleine hoek doen. Hierdoor wordt de gehele visuele wereld over die kleine hoek gedraaid en *passen de visuele en sensomotorische kaarten niet meer op elkaar*. Aanwijsfouten zijn daardoor het gevolg. Deze fouten kunnen zelfs kwantitatief aan de sterkte van de bril gerelateerd worden! Na enige oefening *waarbij we onze hand wel kunnen zien* passen we de sensomotorische kaart aan op de visuele



kaart en treden de fouten niet meer op. Zetten we de bril vervolgens weer af, dan treedt het omgekeerde effect op.

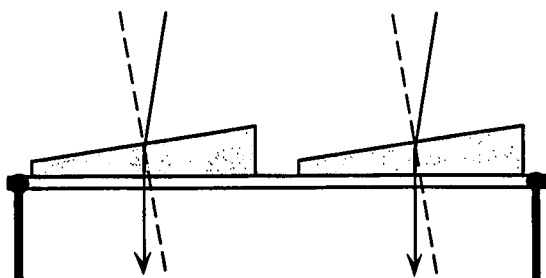


Fig. 3: Prismabril die de wereld een kleine hoekverdraaiing geeft.

### Natuurkunde van de mens

Deze werkgroep had tot doel om te laten zien dat de mens niet alleen een boeiend onderwerp voor artsen en biologen hoeft te zijn. De mens die de wereld om zich heen waarneemt en ermee in interactie treedt kan ook voor fysici een fascinerend meetobject zijn. Het grote voordeel van meten aan de mens is dat er aan onderzoeksobjecten geen gebrek is. Daarnaast voldoet er altijd wel één aan de verwachtingen; het probleem is alleen om die te vinden!

### Literatuur

*Stilstaan bij bewegen - Wetenschappelijke antwoorden op vragen uit de wereld van het menselijk bewegen.* Beek: Natuur & Techniek, 1996.

David A. Rosenbaum (1991), *Human Motor Control*. San Diego: Academic Press Inc.

# Tastillusions

Werkgroep 4

*A.M.L. Kappers &  
I.M.L.C. Vogels*



Alle informatie uit onze omgeving komt binnen via onze zintuigen. Maar hoe betrouwbaar is deze informatie nu eigenlijk? Bijna iedereen kent wel een aantal voorbeelden van visuele illusies en weet dus dat wat je denkt te zien niet altijd is wat er ook werkelijk te zien is. Veel minder bekend is dat ook de andere zintuigen ons regelmatig 'onbetrouwbare' informatie verschaffen. In de groep Menselijke Waarneming van de afdeling Fysica van de Mens van het Helmholtz Instituut (Universiteit Utrecht, Faculteit Natuur- en Sterrenkunde) houden we ons o.a. bezig met onderzoek aan de tast. Ons vakgebied is interdisciplinair van aard maar onze invalshoeken en werkwijzes komen vanuit de fysica. In deze werkgroep kregen de deelnemers de gelegenheid om als experimentator en als proefpersoon kennis te maken met drie van onze lopende tast-onderzoeken.

## **Experiment 1: Tekeningen voelen**

*Inleiding* - Het blijkt heel erg moeilijk te zijn om tekeningen te herkennen die je niet kunt zien maar wel kunt voelen (doordat de lijntjes reliëf hebben). Als je dat echter nooit zelf hebt ervaren, kun je de moeilijkheidsgraad bijna niet voorstellen en daarom kregen de deelnemers als taak om dat zelf maar eens te proberen.

Ons uiteindelijke doel van dit onderzoek is om er achter te komen waarom tast-plaatjes zo moeilijk te herkennen zijn. Op dit moment bevinden de experimenten zich echter pas in het beginstadium en zijn we nog op zoek naar de juiste manier om dit probleem kwantitatief te lijf te kunnen gaan.

*Meetprocedure* - Halverwege een tafel hing een gordijn zodanig dat de deelnemers aan weerszijden van het gordijn elkaar niet konden zien. Aan de ene kant zaten de proefpersonen en aan de andere kant de experimentatoren. De proefpersonen staken hun handen onder het gordijn door en kregen van de proefleiders een tast-plaatje. De opdracht aan de proefpersonen was om datgene wat ze dachten te voelen na te tekenen. In eerste instantie waren er zes verschillende plaatjes beschikbaar (een huisje, een schip, een bloemetje, een auto, een molen en een poppetje), maar de deelnemers wilden zo graag meer plaatjes, dat ze er zelf nog twee hebben bijgemaakt (een zwaan en een olifant).

*Resultaten* - Na vele minuten gevoeld te hebben durfden de proefpersonen het wel aan om iets op papier te zetten. In de meeste gevallen hadden ze dan nog geen idee van wat de tekening voorstelde. In figuur 1 zijn links twee voorbeelden te zien van de originele tekeningen en rechts de reproducties gemaakt door enkele anonieme representatieve proefpersonen. Door hen was het bloemetje nog wel als zodanig herkend maar bij de molen kwamen de meesten niet verder dan 'iets met wieken' (overigens zonder daar de conclusie 'molen' aan te verbinden!) of 'jurk'.

*Conclusie* - Onder grote hilariteit werd door de deelnemers vastgesteld dat tast-plaatjes herkennen inderdaad zeer moeilijk is. Hoeken, lengtes, relatieve posities en globale verbanden worden zeer vervormd waargenomen. Onze plannen zijn om in onze experi-

menten aandacht te besteden aan deze verschillende deelaspecten.

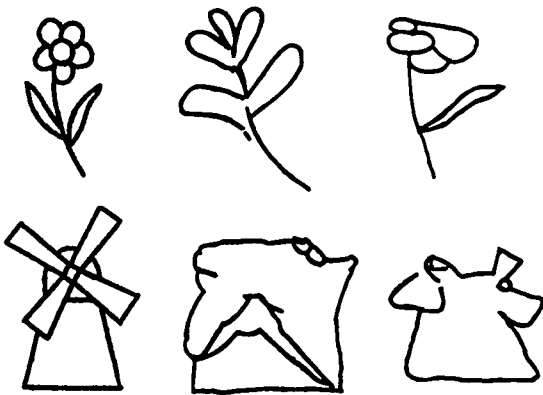


Fig. 1

### Experiment 2: Parallelliteit

*Inleiding* - De oude Grieken wisten al dat de visuele ruimte enigszins vervormd is. Om de voorgevel van een tempel er recht uit te laten zien, moet deze licht gekromd worden gebouwd. Visuele experimenten in onze groep hebben onomstotelijk aangetoond dat de visuele ruimte inderdaad niet zomaar Euclidisch is. Proefpersonen die bijvoorbeeld een op afstand bestuurbare pijl naar een doel moeten laten wijzen, maken daarbij hele systematische fouten. Bij ons tastonderzoek kwam toen de vraag op of de haptische ruimte (de tastruimte) misschien ook vervormd is. Eén manier om hieraan te meten is om te onderzoeken of parallel in de fysieke ruimte ook parallel aanvoelt voor de proefpersoon.

*Meetprocedure* - Een geblinddoekte proefpersoon nam plaats achter de opstelling die bestond uit een verticaal vlak dat haaks op de proefpersoon stond. De proefleider plaatste twee aluminium staafjes op het vlak; het ene, het referentiestaafje, werd onder een bepaalde hoek gezet ( $45^\circ$ ,  $90^\circ$  of  $135^\circ$ ) en het andere, het teststaafje, onder een willekeurige hoek. Vervolgens pakte de proefleider de rechterhand van de proefpersoon en liet hem/haar voelen waar de twee staafjes zich bevonden. De taak van de proefpersoon was om het teststaafje dusdanig te verdraaien dat het parallel voelde met het referentiestaafje. Dit werd voor een aantal verschillende posities van het teststaafje opgemeten. De meettijd bedroeg ongeveer 20 minuten.

*Resultaten* - In figuur 2 zijn een aantal meetresultaten te zien (deze resultaten zijn weliswaar niet afkomstig van de werkgroepmetingen maar geven wel een goed beeld). In ieder plaatje is linksboven steeds het referentiestaafje te zien (dikke streepje). De dunnere streepjes geven de ingestelde hoeken van de teststaafje weer. De staafjes zijn op schaal getekend (ieder staafje is 20 cm) en de middelste staafjes bevinden zich voor de meeste proefpersonen ongeveer op ooghoogte. Als proefpersonen

het 'perfect' zouden doen, zouden alle streepjes binnen één plaatje parallel moeten zijn. Dit is duidelijk niet het geval.

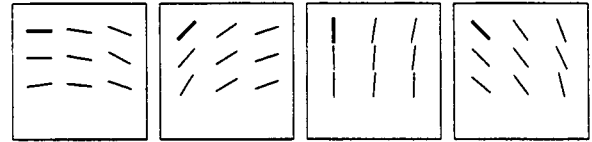


Fig. 2

*Conclusie* - Uit de metingen tijdens de werkgroep, maar ook tijdens veel uitgebreidere metingen in ons laboratorium, komt duidelijk naar voren dat de haptische ruimte vervormd is. Proefpersonen maken zeer systematische fouten (hoewel de grootte van de fout wel proefpersoonafhankelijk is). Er werden door de deelnemers vele mogelijke verklaringen geopperd maar helaas konden wij de meeste weerleggen. Op dit moment kunnen we een vrij goede beschrijving geven van de haptische ruimte maar de vraag *waarom* de haptische ruimte niet Euclidisch is zal nog wel even onbeantwoord blijven.

### Experiment 3: Na-effect

*Inleiding* - Als je een tijdje naar een waterval hebt gekeken en je ogen vallen daarna op de rotsen er naast, dan lijken de rotsen omhoog te bewegen. Dit is een visueel na-effect. In ons onderzoek liepen we bij toeval aan tegen een haptisch na-effect. Het experiment tijdens de werkgroep had tot doel om dit na-effect te demonstreren en om duidelijk te maken hoe wij de afgelopen jaren dit verschijnsel hebben onderzocht.

*Meetprocedure* - Een geblinddoekte proefpersoon nam plaats achter een tafel. Vervolgens moest hij/zij gedurende 10 seconden zijn/haar hand leggen op een vorm. Deze vorm kon hol, bol of plat zijn. Daarna moest de proefpersoon van de volgende vorm zeggen of die hol of bol was (plat was geen toegestane keuze). Deze tweede vorm was bijna altijd plat, maar dat wist de proefpersoon niet. Er werden totaal ruim 30 paren aangeboden aan de proefpersoon. De meettijd bedroeg ongeveer een kwartier.

*Resultaten* - Als de eerste vorm bol was werd de tweede vorm (die dus plat was) in bijna 100% van de gevallen als hol gevoeld. Omgekeerd was het ook zo dat als de eerste vorm hol was de tweede vorm bijna altijd als bol werd beoordeeld. In geen van deze gevallen was er bij de proefpersoon sprake van twijfel. Alleen als zowel de eerste als de tweede vorm plat waren, vonden proefpersonen het moeilijk om een keuze te maken tussen hol en bol. In de praktijk werd dan rond de 50% hol en 50% bol gekozen.

*Conclusie* - In dit experiment kwam duidelijk naar voren dat het voelen van een vorm invloed heeft op hoe de

volgende vorm aanvoelt. Hier is net als bij het tweede experiment sprake van een duidelijke systematiek. De afgelopen jaren hebben we vrij veel onderzoek verricht op dit gebied. Het is gebleken dat twee seconden op de eerste vorm al voldoende is om een meetbaar effect te hebben op de tweede vorm. Je zou verwachten dat het na-effect dan ook wel snel zou verdwijnen, maar dat is niet het geval. Ook als je tussen de twee vormen in 40 seconden met je hand in de lucht zit is het effect nog meetbaar. We dachten eerst dat het te maken moest hebben met de spierspanning in je hand. Als je echter tussendoor een vuist maakt, of je hand een paar keer achter elkaar opent en sluit, is nog steeds het effect meetbaar. Dat betekent dat dit verschijnsel zijn oorsprong moet hebben in de hersenen en niet in de hand. Omdat het effect niet overdraagbaar is van de ene op de andere hand kan het echter niet op het meest centrale hersenniveau gelokaliseerd zijn. Zo zijn we steeds meer te weten gekomen over dit interessante na-effect.

### Slotopmerkingen

Een werkgroep kan alleen een succes worden als de deelnemers ook daadwerkelijk deelnemen. Wat dat betreft hebben we niet te klagen gehad. Iedereen heeft enthousiast en serieus meegedaan met de experimenten en we hebben er goede hoop op dat we hebben kunnen overbrengen waar we ons in ons onderzoek mee bezighouden.



# HBO Technische Natuurkunde neemt bezit van de ziekenhuizen

Werkgroep 5

*F. Bouts*



In een gezellig klein lokaaltje waren om ca. 19.30 uur ongeveer tien geïnteresseerden aanwezig om te luisteren naar de voordrachten van twee studenten: Hafid Akhiat en Martijn van het Loo.

Beide studenten Technische Natuurkunde hadden al drie jaar theorie en practica op de TH erop zitten en ze hadden beiden stage gelopen bij een ziekenhuis en toen nageenough hun afstudeeronderzoek verricht ook in een ziekenhuis. Zij zouden spreken over:

## **HBO Technische Natuurkunde neemt bezit van de ziekenhuizen**

Na een korte introductie van Frans Bouts, docent bij de afdeling Technische Natuurkunde van de TH-Rijswijk, startte Hafid met zijn verhaal.

Hafid heeft stage gelopen bij het Academisch Ziekenhuis Rotterdam Dijkzigt, en daar ook zijn afstudeeronderzoek verricht en wel op de afdeling longfunctie. Hij had hiervoor gekozen vanwege zijn interesse in het raakvlak Technische Natuurkunde en Medische Wetenschap. Hafid schetste zijn onderzoek naar simulatiemogelijkheden van een inmiddels al bestaand mechanisch longmodel. Dit heeft hij aangepast aan de bestaande inzichten en ook de ervoor vereiste software bij aangepast. Levendig maakte hij ons deelgenoot van de erbij optredende praktische problemen en hoe hij deze had opgelost.

Martijn heeft zijn onderzoek gedaan bij de afdeling anesthesiologie van het AMC te Amsterdam.

Hij vertelde ons hoe je met een speciaal aangepaste microscoop het zuurstofgehalte van bloed en de snelheid van de bloedlichaampjes kunt bepalen.

Eerst gaf hij het belang voor de medici van zijn onder-

zoek aan en vervolgens maakte hij duidelijk hoe hij zijn problemen had opgelost en tot zijn resultaten was gekomen.

Dit onderdeel van de conferentie werd beëindigd met een levendige discussie over de beide onderzoeken en men was enthousiast over de praktische instelling van beide studenten alswel van het hoge niveau van hun onderzoek. De deelnemers aan het debat konden aan den lijve ervaren hoe belangrijk een goede ademhaling en opname van de zuurstof in het bloed is. Al met al een in alle opzichten geslaagde avond.

# Ergonomie als context voor binas-lessen

Werkgroep 6

*H. Poorthuis & E. Scheringa*



Overall, ook op scholen en in gezondheidszorginstellingen, worden 'ziekmakende' situaties aangetroffen, uiteenlopend van slecht ontworpen machines, onnodig zware lichamelijke arbeid of een ongezond omgevingsklimaat. De factor mens wordt onderschat of vergeten als het gaat om het aanschaffen van machines of het ontwerpen van werkplekken. De ergonomie herstelt in dit opzicht het evenwicht: taak, werkplek en werkomgeving dienen aangepast te zijn aan elkaar en aan de menselijke mogelijkheden.

In het cursuspakket Ergonomie richten we ons vooral op een analyse van eigen werkomgeving van de student met het doel het optimaliseren van de werkomgeving. Het accent ligt op het gebruiken van ergonomische kennis in toepassingsituaties, het oefenen van vaardigheden in het meten aan mens en omgeving, het zelfstandig kunnen analyseren van een werkplek en het testen van zelf bedachte ergonomische verbeteringen. Het cursuspakket Ergonomie wordt door ons gebruikt in het programma van diverse lerarenopleidingen van de Hogeschool van Utrecht. Voor techniek en verzorging/gezondheidskunde is het een basisvak, voor biologie, natuurkunde en scheikunde is het een interessant toepassingsgebied.

In de werkgroep hebben de deelnemers het cursuspakket en het onderwerp Ergonomie verkend. Eerst was er een korte introductie op het vakgebied van de ergonomie. In een zogenaamde expertwerkvorm oriënteerden de deelnemers zich met behulp van het cursuspakket in een deelaspect van de ergonomie (houding, beweging, geluid, verlichting, binnenklimaat). Ze gingen na wat de bijdrage is van de vakken natuurkunde, verzorging/gezondheidskunde, biologie en techniek aan ieder van de genoemde deelaspecten.

Ter afsluiting werden door ons een aantal voorbeelden van het eindproject *Ergonomische analyse van je eigen werkplek* gepresenteerd. Het onderwerp Ergonomische

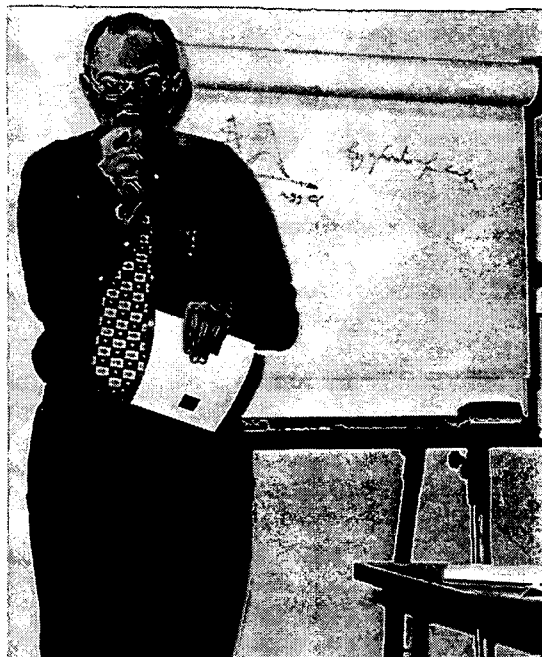
analyse van je werkplek is zeer geschikt als onderwerp voor een profielwerkstuk in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs.

We kijken terug op een geanimeerde werkgroep met geïnteresseerde deelnemers. Een uitgebreidere beschrijving van het cursuspakket met een besteladres is te vinden in NVOX nummer 8 - oktober 1997, blz. 419-421: Ergonomie als context voor BINAS-lessen.

# Cochleair implant of kunstbinnenoor

Werkgroep 7

*J. Wouters*



Een cochleair implant of kunstbinnenoor is een systeem dat tot op zekere hoogte de geluidswaarneming en het spraakverstaan kan herstellen bij cochleair dove mensen. Dit gebeurt door het omzetten van het akoestische signaal (onder andere spraak) naar elektrische pulsen die op hun beurt stimulatie van de resterende gehoorzenuwvezels met zich mee brengt. Het cochleair implant zorgt in feite voor een bypass van de bij doven defecte cochleaire functie. In de normale cochlea gebeurt de transductie naar elektrochemische activiteit in de gehoorzenuw via beweging van het basilair membraan en via de haarcellen.

Het cochleair implantsysteem bestaat uit een uitwendig en een inwendig deel. Het interne deel van de courante cochleaire implantaten bestaat uit een spoel, een signaalverwerkingseenheid en een elektrodenstrip. Het interne deel wordt tijdens een chirurgische ingreep geïmplantéerd bij de patiënt. De elektrodenstrip die bestaat uit een siliconenstrip met een aantal kleine platina-iridium metaalcontacten, wordt langs het ronde venster in de cochlea ingebracht. Opdat de elektrodecontacten zo dicht mogelijk bij de zenuwvezeluiteinden terecht komen en opdat de elektrodenstrip diep genoeg in de cochlea ingebracht kan worden, worden speciale elektrodenstripstructuren gebruikt. Via de inwendige spoel wordt vermogen en informatie, gemoduleerd op een hoogfrequente draaggolf, van het uitwendige deel doorgezonden.

Het uitwendige deel bestaat uit een spraakprocessor, een hoorapparaat en een spoeltje waarlangs informatie en vermogen aan het interne deel wordt doorgegeven. Door de evolutie in de miniaturisatie van de elektronica kan in de nieuwste generatie cochleaire implants de volledige spraakverwerking in een achter-het-oor hoortoestel geïncorporeerd worden.

Geluiden en spraak worden via het microfoontje in het achter-het-oor hoorapparaat opgevangen en vervolgens in de processor via spraakalgoritmes omgezet naar parameters van elektrische stimulatie via de elektrodes in de

cochlea. Deze parameters worden gecodeerd (modulatie) en via het uitwendig spoeltje doorgestuurd naar de inwendige spoel. Deze informatie wordt in de inwendige chip gedecodeerd en vertaald naar elektrische stroompulsen van bepaalde amplitude. Deze pulsen worden vervolgens op de elektrodes aangeboden ter stimulering van de (resterende) neurale uitlopers van de gehoorzenuw. De amplitudes, elektrodekeuze en tijdstippen van stimulatie worden door het spraakalgoritme bepaald. Een veel toegepast spraakverwerkingsalgoritme is CIS (Continuous Interleaved Sampling). Hierbij wordt het inkomende akoestische signaal van typisch 100 Hz tot 5000 Hz na digitalisatie eerst gefilterd in een aantal filterbanden die logaritmisch verdeeld kunnen zijn over de volledige bandbreedte. Het aantal filterbanden laat men meestal overeenkomen met het aantal (intacte) elektrische stimulatiekanalen en ze worden verdeeld van lage frequenties naar hoge frequenties overeenkomstig de meer apicale tot de meer basale elektrodes in de cochlea. Vervolgens wordt een maat voor energie-inhoud per kanaal bepaald. De kanalen worden dan niet-gelijktijdig, het ene kanaal na het andere, gestimuleerd met elektrische stroompulsjes met een amplitude die afhankelijk is van deze maat voor energie-inhoud. Typisch worden bifasige stroompulsjes gebruikt van 40  $\mu$ s per fase, aan een rate van 10000 pulsen per seconde, verdeeld over het aantal kanalen, en met amplitudes tussen enkele tientallen  $\mu$ A en 1500  $\mu$ A.

Natuurlijk moet er rekening gehouden worden met de specifieke individuele gevoeligheden van de patiënt voor elektrische stimulatie. Bij eerste gebruik of aanpassing van het cochleair implant worden de amplitudes van stimulatie per kanaal zo afgesteld dat ze tussen de detectiedrempel en het maximaal acceptabel luidheidsniveau van de patiënt liggen. Zo kan gegarandeerd worden dat een normaal geluidsniveau van spraak geen aanleiding kan geven tot te luide of te zachte percepties.

Op dit moment wordt in het wetenschappelijk onderzoek veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van meer geavanceerde spraakverwerkingsalgoritmes en andere elektrodenstrips om het spraakverstaan met cochleaire inplants te verhogen.



# Internettoepassingen in het natuurkundeonderwijs

Werkgroep 8

*R. van der Weijden*



## Inleiding

Dat het onderwijs iets met Internet moet, blijkt uit de feiten. Er worden steeds meer Internetprojecten gestart, waarin meerdere scholen samen op zoek gaan naar mogelijke toepassingen. De Internetcursussen voor docenten worden druk bezocht. Er worden speciale Netdays door de Europese Unie georganiseerd. Ook in het project Investeren in Voorsprong van het ministerie van OC&W en in de ICT-vaardigheidseisen van de Tweede Fase speelt Internet een rol. De vraag is echter hoe Internet in het onderwijs gebruikt kan worden. Wat zijn de mogelijkheden op dit moment en wat zijn de verwachtingen voor de komende tijd? Heeft het gebruik van Internet meerwaarde of is het alleen maar een nieuwe werkvorm naast de bestaande?

In deze werkgroep werd er gekeken naar een aantal mogelijkheden nu en in de toekomst. Tevens werd de meerwaarde van Internet voor het onderwijs ter discussie gesteld. Er werd gebruik gemaakt van voorbeelden op Internet, die met het thema van deze conferentie Natuurkunde en gezondheid verband hielden.

## Internet en de Tweede Fase

In het examenprogramma voor de Tweede Fase staan een aantal vaardigheidseisen, die direct of indirect met Internet te maken hebben:

- Het kunnen raadplegen van multimediale bestanden in netwerken.
- Het gebruik kunnen maken van zoeksystemen om informatie op te zoeken. Dit is zeker niet altijd even gemakkelijk op Internet. Het gericht naar informatie zoeken is een vaardigheid, die geleerd moet worden.
- Het gebruik kunnen maken van e-mail en nieuwsgroepen.
- Het kunnen beoordelen van de betrouwbaarheid van informatie. Er staat ontzettend veel informatie op Internet, maar vanwege het feit dat iedereen er op kan

zetten wat zij maar kwijt wil, is er ook heel veel onzin te vinden. Het kaf van het koren te leren onderscheiden is daarom van groot belang.

- Het kunnen maken van multimediale presentaties: naast presentatieprogramma's als PowerPoint is het maken van Web-pagina's een goede manier om iets te presenteren. Daarbij heeft het de voor leerlingen stimulerende werking dat deze pagina's of via het Intranet van de school of via de site van de school op het Internet voor velen leesbaar zijn.
- Internationalisering: weliswaar geen expliciete examen-eis, maar toch een veelgenoemde wens. Leerlingen moeten meer contact hebben met leerlingen in het buitenland. E-mail is hier een uitstekend medium voor.

## De waarde van Internet

Als er gekeken wordt naar de waarde van Internet, kan er onderscheid gemaakt worden in de maatschappelijke waarde en de onderwijskundige waarde.

*Maatschappelijke waarde* - De maatschappelijke waarde staat niet meer ter discussie. Voor een aantal beroepsgroepen zoals o.a. wetenschappers en journalisten en bedrijven (dan vooral ook hun Intranet) zijn de mogelijkheden van Internet van groot belang. De belangrijkste voordelen van Internet zijn daarbij de snelle manier van informatie vinden (in databases) en doorgeven en het kunnen samenwerken op afstand. Maar ook voor de gewone mens is het een handig medium om informatie op te zoeken, om in contact te komen met anderen die zich met eenzelfde onderwerp bezighouden, om een programma te downloaden (bijv. bij de belastingdienst), om boeken te bestellen in het buitenland enz.

Aangezien het Internet dus een belangrijk maatschappelijk verschijnsel aan het worden is, is het de plicht van het onderwijs de leerlingen hiermee bekend te maken door het te integreren binnen de vakken.

**Onderwijskundige waarde** - De onderwijskundige (meer)waarde is moeilijker aantoonbaar. Op allerlei onderwijsfronten worden projecten gestart om te onderzoeken hoe Internet binnen het onderwijs gebruikt zou kunnen worden. De BVE heeft sinds een paar jaar zijn door het ministerie gesubsidieerde BVE-Net. Op deze site zijn al een aantal projecten te vinden, die de afgelopen jaren zijn ontwikkeld. Het Sophi-project is een project van zeven VO-scholen in samenwerking met o.a. de universiteiten van Leiden en Utrecht, waarin getracht wordt zinvolle Internettoepassingen te ontwerpen voor de diverse schoolvakken. Vooral hogescholen en universiteiten zijn vergaand bezig met experimenten voor de studenten. Een paar voorbeelden hiervan zijn op-afstand-begeleiding tijdens stages of groepswerkstukontwikkeling, en samenwerking met behulp van een shared workspace, dat is een plaats op het Web, waar studenten samen aan een studieopdracht kunnen werken.

Dit soort projecten zullen zeker wel zinvolle toepassingen voor het onderwijs opleveren. Of er dan echter sprake is van *meerwaarde* ten opzichte van andere leermiddelen zal de tijd moeten leren. De waarde van een nieuw alternatief leermiddel heeft Internet echter zeker.

### Internet als leermiddel

Er is een site op Internet, waarop systematisch vele mogelijkheden van Internetgebruik in het natuurwetenschappelijk onderwijs aangegeven worden: Possibilities! Integrating the Internet in the science classroom. (<http://kendaco.telebyte.com/billband/Possibilities.html>).

Een paar voorbeelden van mogelijkheden voor nu of over een paar jaar zijn:

- Verdieping of verbreding van de lesstof of alternatieve lesvorm: er staat een aantal multimediale rondleidingen (bijv. in een deeltjesversneller, in een kerncentrale, in een energiecentrale) en online-cursussen (bijv. over het standaardmodel, over het planetenstelsel, over het elektron) op het Web, die bij de behandeling van het bijbehorende onderwerp als extra of als alternatief aangeboden kunnen worden.
- Informatiebron bij werkstukken: niet alleen is er veel actuele informatie op het Web te vinden over allerlei onderwerpen, maar er zijn ook mogelijkheden om deskundigen te raadplegen (Ask an Expert, docenten in de vaklokken van de Digitale School) en vragen te stellen in een nieuwsgroep over een bepaald onderwerp.
- Interactieve simulatieprogramma's: met de programmeertaal JAVA zijn er mogelijkheden ontstaan om interactieve simulatieprogramma's via het Web te draaien. O.a. in het TWIN-project (samenwerking van o.a. Freudenthal Instituut, Hogeschool van Utrecht en een aantal MBO-scholen) is men JAVA-applets (programma's voor het Web) aan het ontwikkelen voor het onderwijs.
- Samenwerken aan vak(overschrijdende) projecten: er zijn reeds vele internationale projecten, waarbij leerlin-

gen van verschillende scholen gegevens verzamelen, via e-mail uitwisselen, vergelijken en eventueel op een gemeenschappelijke website presenteren.

- Diagnostische toetsen: ook hieraan wordt gewerkt. Het zou toch mooi zijn, als iedere uitgever bij haar methode een aantal diagnostische toetsen op haar website heeft staan, die iedere leerling zelfstandig en eventueel thuis kan uitvoeren om te kijken of ze de stof beheerst.
- Begeleiding op afstand: is waarschijnlijk (nog) niet zo interessant voor het VO. Voor hogeschool en universiteit is dit wel belangrijk, vooral als studenten niet (vaak) fysiek contact met de begeleidend docent hebben, zoals o.a. tijdens stages.

### Testcase: Natuurkunde en gezondheid

Om na te gaan hoeveel nuttige informatie voor het onderwijs Internet kan opleveren over een willekeurig onderwerp is er gekeken naar onderwerpen die betrekking hebben op het thema van de conferentie. Er is gezocht naar informatie over straling en gezondheid, laser in de chirurgie, gehoor en spraak, biomechanica, fysieke ergonomie en nucleaire geneeskunde en scanners. De resultaten van deze zoektocht zijn te vinden op <http://www.fys.ruu.nl/~weijden/woudschoten97.html>.

Helaas vielen de resultaten tegen.

- De sites over deze onderwerpen hebben een te grote (wetenschappelijk) of juist een te kleine diepgang (eenvoudige patiëntenvoorlichting, meestal van ziekenhuizen). Bijv. de laser in de chirurgie leverde veel sites van instituten op, die reclame maken voor hun veilige laserbehandeling voor het weghalen van rimpels en tatoeages.
- De sites met zinnige informatie bestaan voornamelijk uit voor de leerlingen niet al te uitnodigende dorre tekst zonder enige opmaak of interactiviteit.
- Veel sites verwijzen ijverig naar elkaar, maar de feitelijke informatie is niet te vinden.
- De doelgroep van deze sites is zeker niet de VO-leerling.
- Over sommige onderwerpen is wel veel informatie te vinden, maar zelfs met gericht zoeken kost het vinden ervan veel tijd.
- De meeste sites met zinnige informatie zijn Engelstalig.

### Conclusie

Tijdens de discussie in deze werkgroep kwam men tot de conclusie dat er weliswaar zeer veel informatie op Internet te vinden is, maar dat deze vaak niet geschikt is voor gebruik door leerlingen. Voor een aantal onderwerpen zouden er (zeker voor de onderbouw) meer Nederlandstalige sites moeten komen, die qua niveau beter op de VO-leerling afgestemd moeten zijn.

Op de vraag wie dit dan zouden moeten doen, werd door de meerderheid gesuggereerd dat dit door het onderwijsveld zelf gedaan moest worden: docenten, ministerie van OC&W, PM-ICT, educatieve uitgeverijen enz.

Tevens werd mij op één van de bijeenkomsten gevraagd of ik, als webmaster van de NatDoc-thuispagina, wilde nagaan of er een aantal docenten bereid waren hieraan mee te werken, en de coördinatie via NatDoc op me wilde nemen. Dat vind ik prima. Dus ook langs deze weg verzoek ik natuurkundedocenten, die mee willen werken aan meer voor het Nederlandse VO-onderwijs geschikte natuurkundesites, zich via e-mail bij mij (r.vanderweijden@phys.uu.nl) te melden. Het omzetten van ideeën in Webpagina's en de plaatsing hiervan op Internet via NatDoc is geen enkel probleem.

# De handen van Madame Curie

Werkgroep 9

*M. Bruinvels*



*De handen van Madame Curie* is de titel van een werkgroep die werd gegeven door een ex-lid van de vakontwikkelgroep ANW. De kerngedachte van ANW is, dat de mens zelf het uitgangspunt van het zelfstandig leren door de leerling vormt. Als auteur voor een methode ANW heeft Marjan Bruinvels dan ook geprobeerd dit idee te concretiseren.

In het thema van deze Woudschotenconferentie 'Natuurkunde en Gezondheid' past bovendien het praktische onderwerp Stralingsbescherming, waarover ook dr. Bos op dezelfde conferentie een lezing heeft gehouden.

In het gepresenteerde ANW-materiaal, dat één van de 62 kleine hoofdstukken (artikelen) uit de methode bevat, wordt de aandacht van de leerling getrokken door enkele fragmenten uit het beroemde, romantische boek van Eve Curie over haar moeder. Speciaal de handen van haar moeder komen in beeld, de handen die Madame Curie door haast en nonchalance onvoldoende beschermde tegen de verwoestende invloed van de radioactieve straling.

Drie vragen kunnen in de leerling opkomen: wat had zij ter bescherming moeten doen, waar was zij eigenlijk mee bezig waarbij zij haar gezondheid zo verwaarloosde, en wat zijn ook weer die radioactieve stralen?

Dit zijn echte ANW-vragen, die in de regel niet op die manier bij de Binas-vakken of bij het vak geschiedenis worden gesteld. Ook echt ANW is om de leerling het antwoord niet te geven maar hem of haar op onderzoek uit te sturen. Uiteraard gewapend met aanwijzingen, tips en eventuele begeleiding.

De inleidster legde kort uit hoe de besproken methode in elkaar zit: als een natuurwetenschappelijk tijdschrift met losse artikelen. Structuur wordt aangebracht door een soort bosplan, met verplichte dan wel zelf uitgezette routes. Grote opdrachten zorgen voor verdieping en affectieve lading. Voor zover zij uitgetest is, werkt deze methode redelijk.

Bij de eerste vraag worden de leerlingen gestimuleerd een soort gripper te ontwerpen. Dit kan uiteenlopen van een eenvoudig knijpertje tot een computergestuurde robotarm. Voorbeelden daarvan kwamen op tafel. Bij de tweede vraag zal de leerling moeten proberen te achterhalen hoe het onderzoek aan elementaire deeltjes er rond de vorige eeuwwisseling uitzag. Bij de derde vraag komen ook meer hedendaagse aspecten aan de orde. In deze drie gevallen is steeds het stellen van de vraag en het zoeken naar een antwoord belangrijker dan de oplossing.

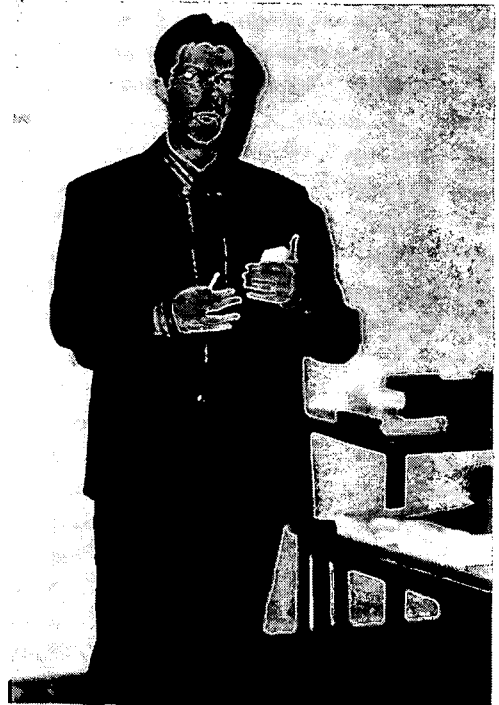
Over het aan de 19 aanwezigen (18 mannen en één vrouw) gepresenteerde materiaal ontstond een heftige discussie. Deze kwam deels voort uit het misverstand dat in een ANW-methode allerlei 'stof' moet worden 'behandeld'. Het voldoen aan een eindterm kan echter ook heel goed in de vorm van een open opdracht. De docenthandleidingen moeten hiervoor dan wel de criteria bevatten. De vele nuttige didactische en praktische aanwijzingen van de aanwezigen werden door de auteur overigens zeer op prijs gesteld.

Tenslotte kunnen wij twee conclusies trekken. Het vak ANW is zeker gebaat bij een actieve participatie van alle betrokkenen. Na enige jaren ervaring in de klas en na een complete revisie van alle methodes zal het naar onze stellige overtuiging bij veel meer 'echte alfa's' belangstelling voor de  $\beta$ -wetenschappen wekken dan nu het geval is. De typische alfa is vaak een meisje. Daarom vormt het geringe aantal vrouwen (onder de 5%) dat dit vak in de komende jaren gaat geven, een bron van zorg. Het is te hopen dat de overweldigende mannenaanwezigheid (nog meer dan bij het vak natuurkunde!) niet tot dezelfde afkeer en afweer zal leiden als de meisjes nu tegenover het vak natuurkunde vertonen.

# MRI, Röntgen en Ultra-geluid scanners

Werkgroep 10

*R. Boxstart, A. Lindeman,  
W. Overlaet & A. Voorpool*



## Inleiding

Verzoeken om presentaties/demonstraties aan natuurkundedocenten komen niet iedere dag bij Toshiba in de brievenbus, dus het leek ons een leuk idee om het verzoek van de Werkgroep Natuurkunde Didactiek te honoreren. Nu was het voor ons moeilijk om demonstraties te geven met MRI scanners (installatietijd 3 weken), of CT scanners (1 week), maar een Ultrasound echo scanner konden we in ieder geval meenemen, evenals een computer om CT beelden uit te werken.

## Magnetic Resonance Imaging (MRI)

In de presentatie is het principe van kernspin-tomografie, waarop MRI gebaseerd is, aan de orde geweest. Als watermoleculen in een sterk magnetisch veld worden gebracht, zullen ze allen om een denkbeeldige (verticale) as gaan spinnen met een frequentie afhankelijk van de magnetische veldsterkte (Lamorfrequentie). Wanneer we dit magnetische veld gedurende korte tijd verstoren, zullen de atomen even uit hun positie komen, maar direct weer terugvallen in de oude positie. Bij dat proces wordt de spinfrequentie even verstoord. Met gevoelige antennes (spoelen) kunnen we de verstoorde spinfrequentie als EM-veld detecteren, en dus traceren hoeveel watermoleculen er zich in het lichaam bevinden. Hoe meer watermoleculen, hoe sterker het ontvangen signaal. Door nu het magnetisch veld in drie richtingen te verstoren, kunnen we zelfs de positie van die watermoleculen in het lichaam bepalen.

## Röntgenbuis

De tweede presentatie ging over een bekend onderwerp: het opwekken van röntgenstraling. Allereerst werd teruggegaan naar de quantummechanica, om de verschillende soorten straling nog eens de revue te laten passeren. Daarna hebben we gesproken over de

interactie van een elektronenbombardement met een wolfraam oppervlak. Het rendement van het bombardement is dat slechts 1% van de energie wordt omgezet in röntgenstraling, en 99% in warmte.

Vanwege dat lage rendement wordt de scantijd bij een CT scanner tegenwoordig niet meer beperkt door de snelheid van de reconstruerende computer, maar door de koelingscapaciteit van de röntgenbuis.

## Ultra-geluid

Geluidsgolven die zich door water voortplanten, gaan langzamer dan geluidsgolven in menselijk bot. Die snelheid is afhankelijk van de akoestische impedantie van het materiaal.

Indien er in het lichaam een overgang van het ene naar het andere materiaal is, zal de akoestische impedantie verschillen. Een geluidsgolf zal op zo'n impedantiegrens reflecteren. Hoe groter het impedantieverschil, hoe meer reflectie. Door een geluidspuls uit te zenden, en de reflectie op te vangen, weten we

- hoe lang de reflectie wegblijft (dus de afstand tot de impedantie-sprong)
- hoe sterk de reflectie is (dus de grootte van de impedantie-overgang).

Als we nu een geluidsgolf met een bepaalde frequentie uitsenden naar een bewegend deel in het lichaam (bloed, hartwanden enz.), kunnen we zelfs de mate van beweging meten. Het Dopplereffect zorgt er namelijk voor dat een geluidspuls met een hogere of lagere frequentie wordt gereflecteerd, afhankelijk van de beweging naar de ontvanger toe resp. van de ontvanger af.

Tijdens de demonstratie werd duidelijk dat de snelheid van bloedstromen in het lichaam makkelijk via een luidspreker weer te geven is.

# Natuurkunde en Optiek

Werkgroep 11

*A.M. Laclé*

Belangrijk verschijnsel in de optiek is licht (elektromagnetische straling). Voor het menselijke oog geldt het zichtbare gedeelte (400-800 nm). Licht kent twee vormen: *natuurlijk licht* en *gepolariseerd licht*. Deze laatste vorm wordt toegepast in optische apparatuur en zonneglazen.

## Lenzen

Licht kan in de optiek gebroken worden door diverse soorten lenzen, zoals bi-, plan-, concaafconvex en bi-, plan-, convexconvaaf.

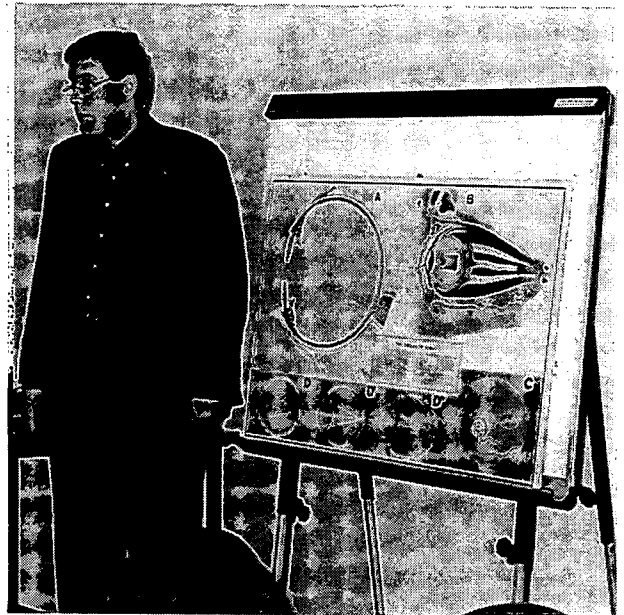
Afhankelijk van het type lens is de uiteindelijke afbeelding reëel (stralen snijden elkaar daadwerkelijk) of virtueel (stralengang kan alleen geconstrueerd worden). De sterkte van de lens wordt  $F$  (hoofdbrandpunt) genoemd. Deze is afhankelijk van de brekingsindex van het materiaal, de dikte en de kromming van de grensvlakken. Zo bestaat er ook de astigmatische lens (rotatie niet symmetrisch) met zijn zwakke en sterke hoofdrichting.

Dikke lenzen worden toegepast in optische instrumenten zoals loepen en camera's. De dikte van de lens mag niet worden verwaarloosd ( $F = F_1 + F_2 - d/n \cdot F_1 \cdot F_2$ ). Zelfs lenzen in lucht worden gezien als dikke lenzen ( $F = F_1 + F_2 - d \cdot F_1 \cdot F_2$ ). Lenzen veroorzaken veel fouten, zoals kleurschifting, sferische aberratie, coma, astigmatisme van scheef invallende bundels, vertekening en beeldvlakwelling. Aan het grensvlak van een lens kan reflectie optreden. Reflectie zorgt voor contrastvermindering, beeldsluiering en dubbelbeeld. Om deze problemen terug te dringen wordt een zogenaamde ontspiegeling aangebracht.

Ontspiegelingen berusten op het principe van interferentie. De ontspiegeling bestaat uit drie lagen, omdat licht uit verschillende golflengtes bestaat en verschillend uitgedoofd wordt. De dikte van een ontspiegellaag is  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{3}{4}$  en  $\frac{5}{4}$  van de golflengte van het invallende licht, de brekingsindex van de laag is gelijk aan de wortel van de brekingsindex van het glas.

## Het oog

Het oog en de camera tonen veel overeenkomsten. Het oog heeft de ooglenzen om het beeld te vormen, terwijl de



camera dit doet met zijn objectief. Het oog vormt het beeld op het netvlies en de camera doet dit op de film. Het scherpstellen vindt bij de camera plaats door verandering van de beeldafstand en bij het oog door verandering van de sterkte van de ooglenzen. De sterkte van het oog hangt af van hoornvlies, ooglenzen en glasachtig-lichaam.

Het oog wordt gezien als een dikke lens (58.88 dpt). Wanneer de sterkte van het oog niet in overeenstemming is met de lengte van het oog zien we onscherp (bijziend en verziend). Wanneer echter de ooglenzen niet meer in staat is zich sterker te maken, spreken we van ouderdomsverziendheid. Tevens kunnen er naast sterkte-afwijkingen ook problemen zijn met het richten van het oog (scheel zien). Brilleglazen kunnen een oplossing bieden. Deze worden uitgevoerd in mineraal en organisch materiaal. In de optiek gebruiken we de meniscus glazen (sferisch en asferisch). De sterkte van brilleglazen wordt niet uitgedrukt in  $F$  maar in  $2^\circ$  topsterkte.

Glazen moeten het zicht verbeteren. Ze moeten zo homogeen mogelijk zijn, dus overal dezelfde brekingsindex hebben. Moderne glazen moeten een hoge afbeeldingskwaliteit hebben, maar daarnaast ook nog esthetisch verantwoord zijn. Een nadeel is dat wanneer je het éne probleem oplost, je een ander probleem veroorzaakt, bijv. dikte reduceren door hogere brekingsindex levert kleurschifting op.

Het oog is een optisch stelsel dat voorwerpen in oneindig scherp kan afbeelden op het netvlies (emmetroop). Is dit niet het geval, dan is het oog ammetroop (myoop en hyperoep). Bij een myoop (bijziend) ligt het vertepunt  $R$  voor het oog, zodat we daar een reëel voorwerp kunnen plaatsen. Bij een hyperoep (verziend) ligt het vertepunt  $R$  achter het oog. Hier kan slechts een virtueel voorwerp een scherp beeld opleveren.

Om een persoon weer scherp te kunnen laten zien, plaatst de opticien een brilleglas zodanig voor het oog dat de  $2^\circ$  topafstand samenvalt met het vertepunt  $R$  van die persoon (volcorrectie).

# Medisch-biologische modellen

Werkgroep 13

*G. Munters*



In deze werkgroep gingen de deelnemers - na een korte uitleg over het gebruikte computerprogramma VU-dynamo - zelf aan het werk.

Aan de hand van een instructie zoals die ook in gebruik is in het tweede studiejaar van het Hoger Laboratoriumonderwijs (HLO) van de Hogeschool van Utrecht, maakte men een wiskundig model van de groei van een bacteriekolonie.

De meeste deelnemers hadden tenminste enige (sommigen zelfs zeer veel) ervaring met het modelleren van fysische processen. Ondanks dat, bleek het hier gepresenteerde biologische model verrassend lastig te maken.

De conclusie was dan ook dat dergelijke modellen voor HAVO/VWO-leerlingen te moeilijk zijn als niet ook (bijv. in de biologieles) vrij uitvoerig aandacht is besteed aan de achtergrond van het te modelleren proces.

Het verband met het natuurkundeonderwijs was onvoldoende duidelijk. Het zelfstandig maken van computermodellen door leerlingen wordt ook bij het vak natuurkunde nog slechts op beperkte schaal gedaan.



# Lesmateriaal Medische Technologie

Werkgroep 14

*W. Vriend*

## Inleiding

In de vernieuwde tweede fase van het voortgezet onderwijs wordt veel zelfstandigheid van de leerling gevraagd. Hij/zij voert praktische opdrachten uit, maakt een profielwerkstuk, oriënteert zich op maatschappij en beroep. Een belangrijk context-gebied voor het profiel Natuur en Gezondheid is Medische Technologie. Het blijkt ook een terrein te zijn waar meisjes vaak veel belangstelling voor hebben, wat bij andere natuurwetenschappelijke of technische onderwerpen wel eens minder het geval is. Het kan dus een niet te verwaarlozen bijdrage leveren tot de motivatie van vrouwelijke leerlingen.

Het vak biedt aanknopingspunten bij vele onderdelen van het examen. Dat zijn o.a. de praktische opdrachten, het profielwerkstuk en de oriëntatie op beroep.

## Praktische opdrachten

- Literatuurstudie
- Informatie ten behoeve van meningsvorming
- Een opdracht waarbij de werking van medisch technologische apparatuur wordt onderzocht of medische gegevens worden bepaald (hartslag, electrocardiogram, ademhaling).

## Profielwerkstuk

Hiervoor is het een uitstekend terrein. Veel medisch technologische onderwerpen hebben natuurkundige en biologische aspecten. Dan wordt er voldaan aan de eis van de betrokkenheid van twee profielvakken. Het maken van een technisch ontwerp op medisch gebied behoort tot de mogelijkheden.

## Oriëntatie op beroep

Excursies naar ziekenhuizen, het bekijken van medische televisieprogramma's.



## Studiehuis

De hiervoor genoemde activiteiten doen een beroep op het vermogen van leerlingen zelfstandig te leren en te werken. Het blijkt dat onderwerpen uit dit gebied leerlingen daartoe vaak extra motiveren (met name meisjes).

## Het beschikbare materiaal

Op de lerarenopleiding Techniek van de Hogeschool Rotterdam & Omstreken schrijven studenten een scriptie over een medisch technologisch onderwerp en presenteren hun resultaten aan hun mede-studenten. Het is vaak verrassend uit welke bronnen men informatie weet te putten.

## Presentatie

De volgende onderwerpen zijn gepresenteerd om een indruk te geven van de mogelijkheden:

- Behandeling van het Slaap Apneu Syndroom door positieve luchtdruk.
- Luchtzuivering door ionisatie.
- Röntgenstraling, zowel voor diagnose, voor observatie tijdens operatie, als voor therapie en bijbehorende moulage-technieken.
- Heup-protheses.

## Discussie

De bijeenkomst werd afgesloten met een discussie over de mogelijkheden van het gebruiken van medisch technologische onderwerpen in de vernieuwde tweede fase bij het profiel Natuur en Gezondheid.



# Werken met Science Workshop

Werkgroep 15

*E. Campen &  
E. van der Laan*



Na de introductie vorig jaar op de Woudschotenconferenties Natuur- en Scheikunde werd dit jaar voor het eerst een 'grote' werkgroep gegeven waar docenten aan de hand van het beschikbare nederlandstalige materiaal zelf aan het werk konden met het programma Science Workshop.

Het programma Science Workshop is een computerprogramma waarmee het mogelijk is om computergestuurde experimenten uit te voeren. Dit programma, wat in dezelfde categorie thuis hoort als IP Coach, is geschikt voor natuurkunde, scheikunde en biologie.

Deze werkgroep, waar ruim 30 docenten aan deelnamen, was er op gericht om zelfstandig aan de gang te gaan met het programma en zo de eenvoud van het programma te ontdekken. Tijdens de werkgroep, waar bijna iedereen enthousiast over was, is een tiental verschillende proeven uitgevoerd. Het niveau van de proeven was van betrekkelijk eenvoudig (het meten van de valversnelling) tot redelijk ingewikkeld (het meten van een diffractiepatroon van een laser). Met deze experimenten hebben de gebruikers ondervonden dat het nu zeer gemakkelijk wordt om een experiment tijdens een lesuur meerdere keren uit te voeren, doordat het verwerkingsgedeelte, grafiek en tabellen, in zijn geheel op het scherm zichtbaar is. Ook de berekeningen aan een grafiek zijn gelijktijdig op het scherm weer te geven.

Tijdens de werkgroep is er de nadruk op gelegd dat dit programma voor een groot aantal doeleinden is te gebruiken:

- demonstratie-experimenten, zowel voor onder- als bovenbouw
- leerlingenpracticum, zowel voor onder- als bovenbouw
- open onderzoek voor bovenbouw HAVO/VWO

- experimenten die voorheen niet mogelijk waren, zoals krachten op een slinger.

Docenten zijn met al deze aspecten bezig geweest en hebben zo ondervonden wat de mogelijkheden zijn. Tevens hebben de aanwezigen een demonstratie gezien van de uitgebreide mogelijkheden die het programma biedt. Tijdens deze demonstratie werd aangegeven dat het programma ook gebruikt kan worden als oscilloscoop en als meter, waardoor het mogelijk is om dure apparaten uit te sparen.

Tijdens de demonstratie kon men zien dat het meten en weergeven in 'real time' tot de mogelijkheden behoort. Van geluid kan men dan ook tegelijkertijd een frequentie-analyse uitvoeren.

Daarnaast is er te zien geweest hoe men binnen een Windows-omgeving alle gegevens tegelijkertijd kan verwerken in een verslag, door grafieken en tabellen vanuit het programma Science Workshop rechtstreeks te importeren in een tekstverwerker of een spreadsheet.

Voor meer informatie over Science Workshop:

VOS Instrumenten B.V.

tel 0347 351787

fax 0347 351664

e-mail: [info@vosinstrumenten.nl](mailto:info@vosinstrumenten.nl)

# Newton, de methode natuurkunde voor de tweede fase

Werkgroep 16

*H. Lensink*

De deelnemers bekijken aan de hand van een opdracht concepten van het informatie- en het verwerkingsboek van de nieuwe methode *Newton* voor natuurkunde in de tweede fase VO. In het informatieboek staat de theorie kort en bondig. In het verwerkingsboek staat het didactisch leerproces centraal. Veel mensen waarderen het doordachte concept. De labeling van opgaven naar soort en diepgang vergemakkelijkt een selectie, door leerling of docent. Er worden veel vragen gesteld over het parallel gebruiken van de NT-delen naast de NG-delen. In de docentenhandleiding staan suggesties over het moment dat dit verantwoord kan gebeuren. Ook mogelijke alternatieve routes door de methode kan men hier vinden. Deze schoolorganisatorische problemen blijken bij veel scholen te spelen.

Gelukkig, op het moment dat dit geschreven wordt, zijn de boeken er. Het geblader en zoek naar het juiste hoofdstuk door de deelnemers tijdens de opdracht in de werkgroep is daarmee verleden tijd. De scheiding in informatie- en verwerkingsboeken heeft, naast de inhoudelijke voordelen, ook een belangrijk prijsvoordeel. De informatieboeken worden full-colour uitgevoerd, de verwerkingsboeken daarentegen zijn een stuk goedkoper door de uitvoering in één kleur (resp. ongeveer f80,- en f50,-).

Voor meer informatie over *Newton*:

Uitgeverij Thieme

Postbus 7

7200 AA Zutphen

Telefoon (0575) 594911

Fax (0575) 519970

Internet <http://www.thieme.nl>

Email [h.lensink@thieme.nl](mailto:h.lensink@thieme.nl)

# Informatie over ICT

Werkgroep 18

*M. van Os & L. Heimel*



De 'Nintendo-generatie' komt de school binnen. Deze leerling weet alles van de 'supermariobrothers'! Hoe houd je zo'n kind gezond?

In alle examenprogramma's van de tweede fase wordt Informatie- en Communicatietechnologie genoemd. ICT is volop in ontwikkeling. Het computergebruik komt niet alleen in het 'handelingsdeel' aan bod, maar ook in de vakspecifieke eindtermen. Wat verandert er in het onderwijs? Het ministerie heeft een uitgave 'Investeren in Voorsprong' uitgebracht, waarin het actieplan voor het invoeren van ICT op de scholen uiteen gezet wordt. Het betreft de invoering zowel in de basisschool als in het middelbaar onderwijs als in de lerarenopleiding.

Het APS heeft een nieuwe software-brochure samengesteld, waarmee een goed en actueel overzicht gegeven wordt van wat er allemaal te koop en te krijg is. In deze werkgroep maakte u kennis met deze brochure. Daarnaast is er in de werkgroep aandacht geweest voor de opbrengst van het project 'Kamer in het Studiehuis', een bundel met lesideeën en - minstens zo belangrijk - ondersteuning bij de opzet van een samenwerking op gebied van ICT tussen natuurkunde, scheikunde en biologie. Deze KIS-bundel is een goede basis bij het invoeren van onderzoekend leren in de natuurwetenschappen, op weg naar de tweede fase.

Op school is softwaregebruik grofweg in drie groepen in te delen.

Schoolbreed gebruikt men onder meer een tekstverwerker, spreadsheet, een webbrowser (Explorer bijvoorbeeld, ook voor e-mail bruikbaar) en een presentatie programma.

Vanuit de school kunnen licenties voor docenten en leerlingen georganiseerd worden. Daarnaast is er vakspecifieke software en een categorie die door meerdere secties ondersteund moet worden, zoals de keuze voor IP-Coach of een ander meetprogramma.

Verschillende uitgeverijen houden zich bezig met de

ontwikkeling van cd-roms bij de lesmethodes. Als nieuwe ontwikkeling is er de Encyclopedie Encarta 98 die (uitgegeven samen met Winkler Prins) in het Nederlands is verschenen.

In de werkgroep is Internet-gebruik onder meer bediscussieerd aan de hand van 'de onderzoeksvraag van de maand' op <http://www.phys.uva.nl/fnsis/didaktiek/vraag-hom.html>.

# Het examendossier

Werkgroep 21

*P. van Wijlick*



## **Inleiding**

Op de volgende pagina's is het materiaal voor de werkgroepdeelnemers opgenomen. Hieronder enkele opmerkingen bij dat materiaal.

## **Soorten dossiers**

De overheid schrijft niet voor hoe het dossier er precies uit moet zien en in hoeverre het toegankelijk is voor leerlingen zelf, hoewel niet valt te ontkennen dat het de bedoeling is van de schrijvers van de nieuwe examenprogramma's dat leerlingen meer vat krijgen op hun eigen leren. En dat kan alleen als ze in de gelegenheid zijn om geregeld terug te kijken op gemaakt werk en daarvan te leren: 'Waar loop ik telkens vast bij het maken van opgaven?', 'Zijn er ook andere manieren om dit aan te pakken?', 'Wat moet ik de volgende keer doen als ik niet weet hoe ik verder moet?' Kortom: reflecteren op je eigen leren kan alleen als er nog iets over is van het leerproces en bijbehorende producten. Als leerlingen toetsen weggoeien na het terugkrijgen van weer een onvoldoende, dan is er weinig gelegenheid tot leren.

## **Stappenplan**

*Stap 1* - Het aantal praktische opdrachten dat leerlingen moeten uitvoeren voor de verschillende exacte vakken ligt vrijwel vast. Elke grote praktische opdracht (p.o) duurt 10 à 20 studielasturen (slu) en het totaal aantal studielasturen (klokuren) dat voor een bepaald vak moet worden besteed aan praktische opdrachten is voorgeschreven, zodat de keuzevrijheid van scholen beperkt is.

Naast de grote praktische opdrachten (p.o) dienen de natuurwetenschappelijke vakken (na, sk en bi) ook nog een of meerdere korte practica (krt) aan te bieden die meetellen voor het schoolexamen.

Naast deze practica en praktische opdrachten mag u natuurlijk zoveel practica door leerlingen laten uitvoeren als u zelf wilt, alleen mogen de daarvoor behaalde resultaten niet meetellen voor het schoolexamen (maar wel voor het volgende rapport of voor de overgang).

*Stap 2* - De nieuwe examenprogramma's benadrukken het vele malen: er moet duidelijk sprake zijn van spreiding van zowel type (soort) als van presentatiewijze van de praktische opdrachten. Dat moet voor elke individuele leerling het geval zijn als je zijn of haar totale profieldeel bekijkt als ook voor elk individueel vak. Het mag niet zo zijn dat scheikunde alleen maar natuurwetenschappelijke onderzoekjes laat uitvoeren door leerlingen die daar alleen maar verslagen over mogen schrijven, terwijl bij biologie alle leerlingen alleen maar literatuuronderzoek mogen doen, afgesloten door een spreekbeurt voor de klas. Spreiding moet, maar hoeveel dat is de vraag. Waarschijnlijk is het al voldoende als je kunt aangeven dat je als profielvakken met geringe keuzemogelijkheden begint, maar dat je er aan werkt om de komende jaren meer keuzemogelijkheden te gaan aanbieden. De tweede fase voer je niet in een jaar in, dat is een meerjarig (leer)proces.

*Stap 3 en 4* - Spreid de verschillende praktische opdrachten (en handelingen en toetsen ook?) van de verschillende profielvakken over de leerjaren, zodat er geen ophopingen ontstaan: vlak voor de Kerst moet elke leerling voor elk profielvak een praktische opdracht afronden. Dit kan alleen tijdens vakgroepoverstijgend overleg. De profielvakken zullen regelmatig met elkaar rond de tafel moeten gaan zitten: 'Wie maakt een handleiding voor literatuuronderzoek gevolgd door een posterpresentatie?', 'Bedenk dat de beoordelingscriteria vooraf bekend moeten zijn bij de leerlingen', 'Zet ze er maar gelijk bij in de handleiding', 'Schrijf de handleiding maar meteen vakoverstijgend zodat alle profielvakken er mee kunnen werken'.

Wellicht is het verstandig om niet al teveel keuzemogelijkheden aan te bieden bij het uitvoeren van een bepaalde praktische opdracht tijdens een bepaalde periode. Beperk het aantal keuzemogelijkheden door bij stap 4 aan te geven wat er kan worden gekozen. Teveel keuzemogelijkheden leiden tot de situatie waarin u in een periode zowel een posterpresentatie naar aanleiding van een natuurwe-

tenschappelijk onderzoek moet beoordelen als ook een forumdiscussie naar aanleiding van een onderzoek over de menings- en besluitvorming over de aanleg van de Betuwelijn. Mede door de verschillende beoordelingscriteria leiden dergelijke onvergelykbare onderzoeken waarschijnlijk tot problemen bij het beoordelen.

*Stap 5, 6 en 7* - Er moet nog veel worden ontwikkeld, hoewel het niet allemaal in een keer klaar hoeft te zijn. Zie het als school als een meerjarenplan dat geleidelijk aan ontwikkeld moet worden.

De KIS-bundel (Kamer in het Studiehuis) doet verslag van een samenwerkingsproject tussen zes middelbare scholen die ieder op hun eigen manier een 'lijn' hebben ontwikkeld in het vakoverstijgend werken met de computer bij de natuurwetenschappelijke vakken. Er is veel voorbeeldmateriaal ontwikkeld, dat op een cd-rom is verzameld. Bundel plus cd-rom zijn voor f 115,- schriftelijk te bestellen bij het APS, afdeling VODA, postbus 85475, 3508 AL Utrecht, o.v.v. nr. 400375.

# 1 Soorten dossiers en wat er in een dossier kan zitten



## Drie soorten dossiers

### A **Dossiers als schoolexamenreglement**

Het schoolexamenreglement (dossier) bevat onder andere:

- een overzicht van alle toetsen en praktische opdrachten die meetellen voor het schoolexamen en hun gewicht voor het schoolexamen.
- een overzicht van uiterste inleverdata en toetsmomenten.
- een overzicht van eisen die aan opdrachten worden gesteld.

### B **A + Dossiers als een verzamelpunt van belangrijke opdrachten/werkstukken (een productdossier) + een cijferkaart (een overzicht van alle behaalde cijfers en beoordelingen).**

### C **Dossier als A + B + oriëntaties, evaluaties, reflecties, toetsanalyses, logboek (een procesdossier) met de mogelijkheid tot selectie van werkstukken door leerlingen en eventueel met de mogelijkheid van 'verbeterversies'.**

## Wat moet/kan er in een dossier zitten?

### A **Inhoudsopgave en in/uit-kaart: datum en reden waarom je iets uit je dossier haalt, of er juist aan toevoegt.**

### B **Overzichtskaart (cijferkaart)**

Hierop vult een leerling *zelf* alle behaalde cijfers en beoordelingen in, evenals 'naar behoren' uitgevoerde handelingen.

Bovendien berekent de leerling *zelf* het periodecijfer, rapportcijfer en schoolexamencijfer, rekening houdend met de op de overzichtskaart aangegeven weging van de cijfers.

Eén overzichtskaart per rapportperiode en één schoolexamenkaart per schoolloopbaan.

### C **(Praktische) opdrachten (leerlingproducten (verslagen))**

De verzameling van alle (belangrijke) praktische opdrachten, compleet met de (eventueel vereiste) procesbeschrijving erbij (welke problemen kwam je tegen? Hoe heb je ze aangepakt? Achteraf: evaluatie: wat ging er goed? Wat zou je achteraf gezien anders aanpakken dan je nu hebt gedaan?)

### D **Handelingen (leerlingproducten (verslagen))**

a Alle handelingen (voorbereiding, uitvoering en evaluatie).

b Alle toetsanalyses die zijn gemaakt.

c Alle reflectieve/evaluatieve opdrachten die verplicht zijn.

### E **Het profielwerkstuk (leerlingproducten (verslagen))**

Opslaan in de map van één van de profielvakken.

### Niet opslaan in een dossier?

Losse (onbelangrijke) toetsen die *niet* meetellen voor het schoolexamen?

Alle toetsen (en eventueel ook praktische opdrachten en het profielwerkstuk) die *wèl* meetellen voor het schoolexamen. De docent moet deze innemen en opslaan?

Hiernaast zal elke leerling de beschikking moeten krijgen over de volgende zaken, niet op te slaan in het dossier, maar voortdurend bij de hand in een 'multomap' waarin elke les wordt gewerkt:

#### F **Werkwijzer/studiewijzer**

- Een duidelijke omschrijving van alle opdrachten/taken/toetsen/handelingen die deze periode moeten worden uitgevoerd. B.v.: Opdrachten: in hoeverre zèlf te kiezen? Aan welke eisen (randvoorwaarden) moet worden voldaan? B.v.: Toetsen: over welke stof precies handelt de toets? Welke opdrachten in het boek moeten worden uitgevoerd, welke is facultatief en welke moet worden overgeslagen? *Welke keuzemogelijkheden hebben leerlingen?* De studielast (duur) van opdrachten.
- Leerlingbegeleiding: wanneer is een docent beschikbaar voor hulp?
- Wat moet wèl en wat moet niet worden opgeslagen in het dossier? Welke toetsen/opdrachten tellen alleen mee voor de overgang en welke toetsen ook voor het schoolexamen (aangeven op de overzichtskaart!)?
- Samenwerkingsvorm: in welke groepssamenstelling werk je aan de verschillende opdrachten? Wat betekent samenwerken deze periode? B.v.: uitwisselen van verschillende delen van de stof of.....
- Oefentoetsen? Herkansen? Toetsanalyse?
- Verplichte oriënterende, evaluatieve/reflectieve opdrachten: welke? Wanneer uitvoeren/inleveren? Cijfer of andersoortige beoordeling?

#### G **Periodeplanning (tijdsplanning)** (eventueel opgenomen in de werkwijzer)

- Toetsdata en herkansingsdata.
- Deadlines: vóór welke datum moeten bepaalde opdrachten/taken/handelingen zijn uitgevoerd en ingeleverd (uiterste inleverdata) òf op welke data moeten/kunnen bepaalde opdrachten/taken/handelingen worden uitgevoerd?

**Tenslotte dienen in het lokaal één of meerdere exemplaren aanwezig te zijn van voorbeelden, beoordelingscriteria en manieren van aanpak (handleidingen) voor p.o.'s, handelingen en profielwerkstuk.**

- **Voorbeelden** van onderwerpen voor open onderzoeken, handelingen en praktische opdrachten (p.o.'s) en/of profielwerkstukken.
- **Handleidingen** (o.a. met eisen) voor p.o.'s, handelingen (opzet, uitvoeringen en evaluatie) en profielwerkstuk, inclusief tijdstippen van voortgangs/beoordelingsgesprekken (of uiterste inleverdata).
- **Beoordelingscriteria** voor alle p.o.'s, handelingen en het profielwerkstuk. De totstandkoming van het schoolexamencijfer.

**Inhoudsopgave van het natuurkundedossier**  
**van.....**



Pagina- nummer	Titel	Datum opname in dossier	Datum waarop uit dossier gehaald



## 2 Stappenplan invoering van praktische opdrachten in de profielvakken

Stap 1: maak een keuze: hoeveel praktische opdrachten (p.o.'s) per vak?

Vereisten:

- A Minimaal 1 praktische opdracht bij Na, Sk en Bi.
- B Minimaal 2 praktische opdrachten bij WiB.
- C 2 praktische opdrachten bij ANW.
- D Minimaal 1 kortdurend practicum (krt) met vragen of een verslag bij Na, Sk en Bi.
- E 2 handelingen bij ANW.
- F Een aantal handelingen bij de profielvakken Na, Sk, Bi en WiB samen.

De beschikbare uren voor praktische opdrachten (p.o.'s) per vak:

1 p.o. = 10 à 20 studielasturen (slu's)

		Havo	Vwo
Algemene deel	ANW	20 slu: 2 p.o.'s (elk 10 slu)	20 slu: 2 p.o.'s (elk 10 slu)
	Natuurk	20 slu: 1 p.o. + krt	40 slu: 2 of 3 p.o.'s + krt
N&G	Scheik	30 slu: 1 of 2 p.o.'s + krt	40 slu: 2 of 3 p.o.'s + krt
	Biologie	30 slu: 1 of 2 p.o.'s + krt	40 slu: 2 of 3 p.o.'s + krt
	Wisk. B	30 slu: 2 of 3 p.o.'s	40 slu: 2 à 4 p.o.'s
	<b>Totaal</b>	<b>130 slu: 7 à 10 p.o.'s + korte practica (krt)</b>	<b>180 slu: 10 à 15 p.o.'s + korte practica (krt)</b>
	Profielwerk	40 à 80 slu	80 slu

		Havo	Vwo
Algemene deel	ANW	20 slu: 2 p.o.'s (elk 10 slu)	20 slu: 2 p.o.'s (elk 10 slu)
	Natuurk	40 slu: 2 of 3 p.o.'s + krt	50 slu: 2 à 4 p.o.'s + krt
	Scheik	30 slu: 1 of 2 p.o.'s + krt	50 slu: 2 à 4 p.o.'s + krt
	Wisk. B	40 slu: 2 of 3 p.o.'s	50 slu: 3 à 5 p.o.'s
	<b>Totaal</b>	<b>130 slu: 7 à 10 p.o.'s + korte practica (krt)</b>	<b>170 slu: 9 à 15 p.o.'s + korte practica (krt)</b>
	Profielwerk	40 à 80 slu	80 slu
Vrije ruimte	Deelvak Biologie	N.v.t	20 slu: in de vrije ruimte 1 p.o. + krt

**Stap 2:** vul per profiel en per niveau (havo of vwo) de volgende matrix in: spreiding van typen p.o.'s en presentatiewijzen. Vul eventueel ook de kortdurende practica in (voor zover ze meetellen voor het examendossier).

Type (overheersend) Presentatiewijze	(Korte practica)	Technisch en meetkundig ontwerp	Literatuur onderzoek	Omgaan met informatie	Probleem oplossen	Natuurwetenschappelijk onderzoek	Opdracht met gebruik ICT	Menings- en besluitvorming	.....
Verslag									
Essay, artikel									
Mond. voordracht									
Stellingen + onderbouwing									
Posterpresentatie									
Product van ontwerp opdracht									
Presentatie met media									
(Practicumtoets)									
Forumdiscussie									
.....									

N.B.: Elk vakje in de bovenstaande matrix wordt beoordeeld aan de hand van beoordelingscriteria die vooraf bij de leerlingen bekend moeten zijn. Deze beoordelingscriteria kunnen worden afgestemd tussen de verschillende (profiel)vakken.

N.B.: Tenminste één praktische opdracht (p.o.) moet door minimaal 3 leerlingen worden uitgevoerd als groepsopdracht. Geef duidelijk aan welke p.o. dat is (zijn).

**Stap 3:** p.o.'s, handelingen en profielwerkstuk invullen op een tijdsbalk (in de genoemde periode dient de taak te worden uitgevoerd en ingeleverd) voor N&G Havo: minimaal 7 p.o.'s, 6 (?) handelingen, 8 (?) korte practica en 1 profielwerkstuk.

**4 Havo, N&G**

Periode	1					2					3					4					5									
Practica p.o./krt		p.o	krt			krt	krt			p.o	p.o						krt		p.o				krt							
Handelingen					X								X								X									
Profielwerk																					X	X	X	X						
Vak	Na	S	B	W	A	N	S	B	W	A	Na	S	B	W	A	Na	S	B	W	AN	Na	S	B	W	A					
		k	i	i	N	a	k	i	i	N		k	i	i	N		k	i	i	W		k	i	i	B		k	i	i	W
			B	B	W				B	W				B	W				B	W				B	W					
					N					N					N					W					N					
					W					W					W					W					W					

**5 Havo, N&G**

Periode	1					2					3					4					5									
Practica p.o./krt			p.o					krt		p.o		krt		p.o		krt														
Handelingen							X													X										
Profielwerk	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	X						
Vak	Na	S	B	W	A	N	S	B	W	A	Na	S	B	W	A	Na	S	B	W	AN	Na	S	B	W	A					
		k	i	i	N	a	k	i	i	N		k	i	i	N		k	i	i	W		k	i	i	B		k	i	i	W
			B	B	W				B	W				B	W				B	W				B	W					
					N					N					N					W					N					
					W					W					W					W					W					

**Aandachtspunten:**

- Wanneer wordt er aan een p.o. begonnen, wanneer kan er op school aan worden gewerkt, welke hulp is er dan eventueel beschikbaar en wanneer is de uiterste inleverdatum?
- Spreiding in de tijd per vak en per profiel als geheel.
- Opbouw in vaardigheden.
- Alle vaardigheden dienen ergens aan bod te komen.

**Stap 4: specificeren van de p.o.'s: typen en presentatiewijzen:**

**4 Havo, N&G**

Periode	1					2					3					4					5									
Practica p.o./krt		p.o	krt			krt	krt			p.o	p.o						krt		p.o				krt							
Type p.o		ICT								mening besluit-vorm.	n.w. onder-zoek								lit. onder-zoek											
Presentatie-wijze		arti-kel								stellingen	poster presen-tatie								multi-media											
Vak	Na	S	B	W	A	N	S	B	W	A	Na	S	B	W	A	Na	S	B	W	A	N	S	B	W	A					
	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N
			B	B	W			B	B	W			B	B	W			B	B	W			B	B	W			B	B	W

**5 Havo, N&G**

Periode	1					2					3					4					5									
Practica p.o./krt			p.o					krt		p.o		krt		p.o		krt														
Type p.o			n.w. info							tech. ontwerp				probleem oplossen																
Presentatie-wijze			forum discus							Product + docum				verslag																
Vak	N	S	B	W	A	N	S	B	W	A	N	S	B	W	A	Na	S	B	W	A	N	S	B	W	A					
	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N	a	k	i	i	N
			B	B	W			B	B	W			B	B	W			B	B	W			B	B	W			B	B	W

Kiest de leerling type en/of presentatievorm van elke p.o. of bepaalt de docent? Blijft dat zo in de toekomst?  
 Wat zijn voor- en nadelen van vrije leerlingkeuze?

### **Stap 5:** wat er moet worden ontwikkeld?

- A Handleidingen (voor de leerlingen) bij alle (typen) praktische opdrachten, handelingen (voorbereiding, uitvoering en evaluatie) en bij het profielwerkstuk.  
Mogelijke aanpak: elke sectie specialiseert zich door de handleiding te schrijven van één of meerdere handelingen en/of presentatiewijzen (van p.o.'s en het profielwerkstuk). Door uitwisseling tussen de verschillende vakgroepen beschikt iedereen over 'alle' handleidingen.
- B Beoordelingscriteria en de totstandkoming van het cijfer voor het examendossier formuleren.  
Mogelijke aanpak: specialisatie per sectie, zoals hierboven beschreven, levert beoordelingscriteria op voor alle handelingen en presentatiewijzen.
- C Werkwijzers (voor leerlingen) per vak, maar onderling afgestemd per profiel.

### **Stap 6:** begeleiding van leerlingen (profielmentor?) Waar kunnen leerlingen hulp vragen? De keuzevrijheid van leerlingen: van voorgeschreven naar meer keuzevrijheid in enkele jaren?

Bepaalt de docent alles of is de leerling volledig vrij om het type p.o. en de presentatiewijze te kiezen?

- A Als de leerling alle keuzevrijheid heeft, wie waakt er dan voor voldoende spreiding van de typen p.o.'s en de presentatievormen?  
Als de leerling volledige keuzevrijheid heeft, moet de docent in één periode verschillende typen p.o. begeleiden en verschillende presentatievormen organiseren en beoordelen.
- B Als de docent alles vastlegt (type p.o. en presentatiewijze) zit de leerling in een (te) strak keurslijf.
- C Tussenvormen tussen a en b blijken realistischer. De docent legt bijvoorbeeld de periode en het type p.o. vast, terwijl de leerling de presentatiewijze kiest.

### **Stap 7:** opnemen van afspraken/regelingen tussen de profielvakken in het schoolexamenreglement en in het leerlingenboekje. Afstemming binnen school met de andere profielen en met de vakken in het algemene deel.

# Werken aan vaardigheden/omgaan met informatie

Werkgroep 22

*P. Noordzij*

In de kerndoelen van de basisvorming en de examenprogramma's van VBO t/m VWO is het omgaan met informatie een van de algemene doelen.

Uit de preambule van de vernieuwde kerndoelen van de basisvorming:

De leerling leert in zo veel mogelijk herkenbare situaties, mede met gebruik van ICT:

- informatie in verschillende gegevensbestanden opzoeken, selecteren, verzamelen en ordenen
- informatie beoordelen (op betrouwbaarheid, representativiteit en bruikbaarheid), verwerken en benutten
- verschillen in meningen en opvattingen benoemen en hanteren
- zichzelf en eigen werk presenteren.

In deze werkgroep is besproken hoe deze vaardigheden aan te leren zijn. Aan de hand van videomateriaal en een verslag is een voorbeeld van een lessenserie bekeken. Er is een algemene strategie 'uitgeprobeerd' door die uit te werken voor een zelfgekozen vaardigheid.

## Stappenplan

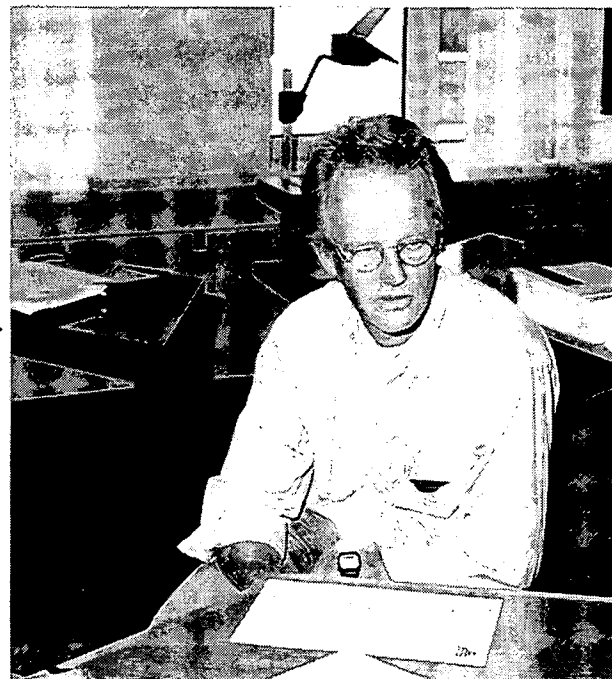
Het 7-stappenplan voor het aanleren van vaardigheden:

### *Demonstreren*

1. Introduceren van de vaardigheid, argumenten aanreiken op het waarom van de vaardigheid.
2. Tonen van de belangrijkste kenmerken van de vaardigheid.
3. Een beeld oproepen bij leerlingen zodat ze zich de belangrijkste kenmerken kunnen voorstellen (metafoor, demonstratie, figuur).

### *Oefenen*

4. Leerlingen oefenen met veel sturing en controle van de docent.



5. Leerlingen oefenen zelfstandig.
6. Leerlingen kijken en beoordelen hoe vaardig ze geworden zijn.

### *Toepassen*

7. Leerlingen passen de vaardigheid toe in complexe, betekenisvolle situaties.

## Literatuur

*NME en vakoverstijgende vaardigheden* - beschrijving van een lessenserie uitgevoerd door Ines Bergsma op het Bornego-college in Wolvega. Utrecht: APS.

# Leren meten met Coach Junior

Werkgroep 23

*P. Molenaar*



## **Ontwikkelingen in het gebruik van multimedia in het natuurkunde-onderwijs**

Eén van de grote problemen die iedere leraar dagelijks tegenkomt is: Hoe bepaal ik op welke manier een leerling een stuk leerstof moet verwerken. Ervaring leert ons veel, toch zijn we steeds weer verrast als blijkt dat leerlingen ons feilloos in elkaar gestoken lesmateriaal niet oppikken. Aangetoond is dat het werken met multimedia, mits goed toegepast, een positieve invloed op het onderwijs heeft en begripsvorming stimuleert.

De achtergrond is dat, alhoewel we heel weinig weten over het leerproces, een multimedia-aanpak de mogelijkheid geeft concepten op diverse manieren aan te bieden. Niet het demotiverende 'steeds meer van hetzelfde', maar de zeer diverse werkvormen in de multimedia-aanpak vormen voor ons vak een geweldige didactische uitdaging. Als hetzelfde concept aan leerlingen op verschillende manieren wordt aangeboden, geeft het iedere leerling de mogelijkheid de eigen leerweg te vinden.

Reeds jarenlang is met de apparatuur van de Stichting CMA van Didactiek Natuurkunde van de UvA met het programma IPOACH onder DOS op allerlei niveaus gewerkt met de computer in het onderwijs. Metingen werden met behulp van de computer uitgevoerd, met Modelomgeving werden modellingsexperimenten uitgevoerd en realistische fysica zagen de leerlingen bij Interactieve Video en Cd-rom's. De bemoedigende resultaten wettigen een voortgang in de ontwikkeling van deze onderwijsmaterialen.

Enkele problemen die structureel naar voren komen zijn *de organisatie van multimedia-onderwijs en het ontwerpen van instructiemateriaal*

## **Organisatie van multimedia-onderwijs**

Veel nieuwe didactische werkvormen zijn gestrand op dit punt. Een zorgvuldig begeleid experiment blijkt zeer goed te werken, maar het toepassen van dezelfde structuur in

de normale lespraktijk blijkt veel slechtere resultaten te geven. In de ontwikkelfase wordt het materiaal zorgvuldig voorbereid en toegepast. Als de nieuwe didactiek in de klas wordt toegepast en de voorbereiding van de les te veel tijd en organisatie vraagt dan 'komt het er niet van' en uiteindelijk komt het materiaal niet uit de kast vandaan.

Met het nieuwe Coach Junior materiaal worden veel van deze problemen ondervangen. Vrij simpel kan de docent een voor de leerling duidelijk experiment aanbieden. De voorbereiding kost heel weinig tijd en het materiaal kan in elke gewenste structuur, van zeer open tot zeer gesloten, worden aangeboden. Daarnaast is modelling zeer geschikt om als 'stoplap' te gebruiken. Dan maakt het niet uit op welke computer de leerling werkt en de volgorde van werkvorm hoeft niet belangrijk te zijn en slechts de modelling instructies zijn noodzakelijk.

## **Ontwerpen van instructiemateriaal**

Een steeds weer terugkerend probleem bij het gebruik van de computer in het onderwijs is dat de koppeling tussen het schriftelijk materiaal en het werken met de computer slecht functioneert. Leerlingen zijn zo bedreven met het werken met de computer dat men binnen de kortste keren in allerlei hoeken van het programma zit en men niet goed toekomt aan de didactische gang van het lesmateriaal. Men weet niet meer aan welke opdracht men werkt en surft wat door het programma.

In het nieuwe Coach Junior programma bestaat de mogelijkheid om optimaal gebruik te maken van de Windows-omgeving. Uitvoerige instructies zijn overbodig geworden. Zowel aanwijzingen als achtergronden van de proef staan op het scherm. De gebruikte opstelling is geprojecteerd en tegelijkertijd kunnen meetwaarden, tabellen, grafieken, vragen, antwoorden en hulpmateriaal gebruikt worden. Zeer goede mogelijkheden om de zo belangrijke interactieve elementen in het lesmateriaal te brengen.

In figuur 1 staan enige schermen van een meting met een lichtsensor. De sensor geeft de meetwaarde aan en in het diagram worden de metingen weergegeven. Kennelijk was bij deze meting een tl-buis aanwezig omdat de variaties een frequentie van 100 Hz hebben. Ook de opstelling staat op het scherm en de leerling kan de opstelling manipuleren.

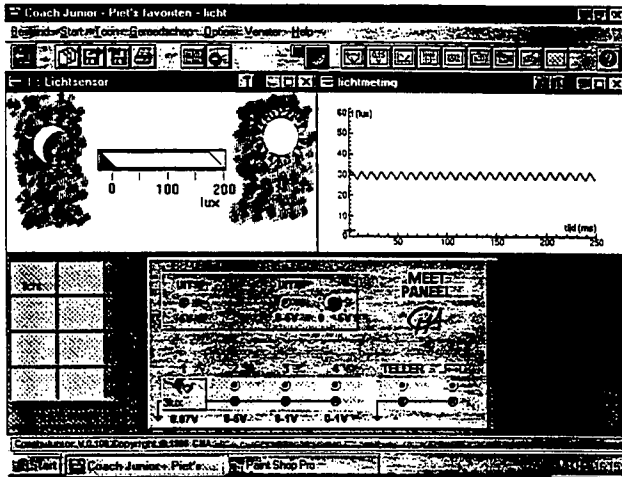


Fig. 1: Meting met een lichtsensor.

De iconenstructuur geeft de leerling weinig problemen. In zeer korte tijd beweegt men gemakkelijk door de software. Het oorspronkelijke instructiemateriaal van enige jaren terug is nu in hoeveelheid gedecimeerd. Leerlingen hebben slechts weinig instructie nodig, gewend als ze zijn aan het werken met allerlei software.

De instructies, vragen en opdrachten op het scherm ondersteunen zeer goed de activiteiten van de leerling. In figuur 2 staan enkele instructies voor de lichtmetingen.

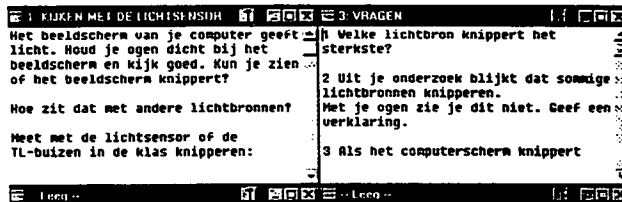


Fig. 2: Enkele instructies voor lichtmetingen.

Zelfs leerlingen in hun eerste echte serie meetproeven bleken een behoorlijk lastig pakket experimenten aan te kunnen op het gebied van geluid, optica en mechanica.

Lastige concepten konden leerlingen uit de tweede klas hanteren bij de optica, zoals het meten van de frequentie van een verlicht beeldscherm, de lichtfluctuatie van tl, het meten van lichtintensiteit, het meten van de kwadratenwet, enz.

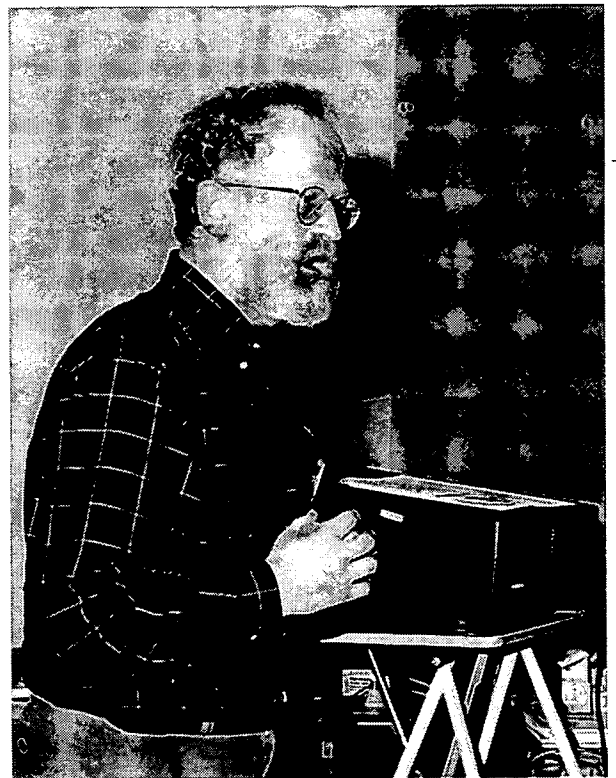
Bij het geluid was er inzicht in frequentiemeting, toonhoogte, toonsterkte en geluidssnelheidsmeting.

Bij de mechanica bleek het mogelijk te zijn begrip voor de concepten van afstand en snelheid aan te brengen en

leerlingen konden zelfs al enigszins de twee concepten aan elkaar koppelen.

Ervaringen van leerlingen met het werken met Windows-programma's ondersteunen de experimenten. De concentratie is niet meer gericht op het manipuleren van het computerprogramma maar is weer terug waar hij hoort: bij het fysisch experiment.

Bovendien is er een cognitieve winst. Het aanleren van lastige nieuwe fysische concepten verloopt soepeler.





# Technisch ontwerpen in de tweede fase

Werkgroep 24

*C. de Beurs & P. Over*



## Inleiding

Bij de vernieuwing van het examenprogramma havo/vwo werden aspecten van Techniek geïntegreerd in de natuurwetenschappelijke vakken binnen de beide  $\beta$ -profielen. Leerlingen die kiezen voor de profielen Natuur en Techniek en (in mindere mate) Natuur en Gezondheid stromen voor een belangrijk deel door richting technische vervolgoedingen. Slechts een kleine minderheid kiest voor een puur natuurwetenschappelijk vervolgtraject. Potentiële "techniek-doorstromers" moeten zich daarom vooraf een reëel beeld kunnen vormen van de technische discipline en van de werkwijzen van technici. Aan die beeldvorming wordt thans vanuit de traditionele natuurwetenschappelijke vakken onvoldoende bijgedragen.

Integratie van techniek-aspecten dient leerlingen te helpen inzicht te krijgen in hun capaciteiten en sluimerende interesses voor techniek. Belangrijk daarbij is dat ze tijdens hun schoolloopbaan actief kennis maken met de voor technici kenmerkende denkwijzen en probleembenaderingen. Enerzijds moet dit de keuze voor technische vervolgstudies stimuleren, anderzijds moet door zelfselectie een verkeerde keuze voorkomen worden. Het komt te vaak voor dat "spijtoptanten" na een of twee jaar technische studie teleurgesteld afhaken.

De voor techniek meest kenmerkende problemen zijn ontwerpproblemen. Ontwerpen is daarom als aparte vaardigheid opgenomen in domein A van het nieuwe examenprogramma. Bij het profielwerkstuk, dat minstens twee vakken uit het profiel betreft, kan gekozen worden voor een onderzoeksopdracht of voor een ontwerp-opdracht.

Het is uiteraard niet de bedoeling dat leerlingen zonder enige voorbereiding aan een profielwerkstuk beginnen. Technisch ontwerpen moet evenals het doen van

onderzoek geleerd worden. Ruimte hiervoor is binnen het examenprogramma te vinden in de vorm van zogenaamde praktische opdrachten. Voor het uitvoeren van één of meer praktische opdrachten zijn 10 tot 20 sluis beschikbaar.

Door de projectgroep Techniek 15+<sup>1</sup> wordt voorbeeldlesmateriaal ontwikkeld om de integratie van techniek in de tweede fase te ondersteunen. Dit lesmateriaal heeft tot doel leerlingen voor te bereiden op de ontwerpactiviteiten die in het kader van het profielwerkstuk moeten worden uitgevoerd. Het is dus oefenmateriaal dat in een *practische opdracht* wordt aangeboden. Voortbouwend op de ervaringen met technisch ontwerpen in de basisvorming wordt daartoe een methodiek aangereikt waarmee op een systematische wijze ontwerpproblemen kunnen worden opgelost. Leerlingen oefenen deze methodiek door het uitwerken van voorgestructureerde ontwerp-opdrachten.

Binnen het project Techniek 15+ wordt materiaal ontwikkeld voor biologie, natuurkunde en scheikunde. Bij natuurkunde is als context gekozen voor automatisering (informatietechnologie), bij biologie voor het brouwen van bier (biotechnologie) en bij scheikunde voor het maken van verf (processtechnologie).

De gevolge opzet en werkwijze is bij alle vakken in grote lijnen gelijk.

In samenhang hiermee wordt binnen een SLO-project ondersteunend materiaal ontwikkeld (ontwerphandleiding, logboek) dat gebruikt kan worden bij het profielwerkstuk.

## Technisch ontwerpen

Ontwerpen betekent volgens Van Dale: *uitdenken en in schets brengen*. Een goed overzicht van in de praktijk gehanteerde ontwerpmethoden is te vinden in Roozenburg & Eekels (1996). Een ontwerper probeert een (technische) oplossing uit te denken voor gesignaleerde problemen.

Van leerlingen verwachten we dat ze tijdens het ontwerpproces een ontwerpprobleem analyseren, een ontwerpvoorstel formuleren en een werkend prototype bouwen en testen aan de hand van geformuleerde eisen en randvoorwaarden.

Elk ontwerp begint met de volgende kernvragen: *wat* is het probleem, *wie* heeft het probleem, *waarom* is het een probleem en *waartoe* moet de oplossing leiden?

We spreken pas over een aanvaardbaar ontwerp als de probeemhebber of opdrachtgever tevreden is. Voordat wordt nagedacht over mogelijke ontwerpvoorstellen moeten daarom eisen, wensen en randvoorwaarden zo precies mogelijk in kaart worden gebracht. Deze worden vastgelegd in het programma van eisen (PvE). Belangrijk daarbij is dat de eisen zo worden geformuleerd dat ze bij de evaluatie van het product tot toetsbare resultaten kunnen leiden.

Het genereren van alternatieve oplossingen op basis van ontwerp-eisen is een lastige klus die de nodige creativiteit vraagt. Toch vormt deze fase een cruciaal onderdeel van het ontwerpproces. Meestal voldoen voorgestelde oplossingen slechts gedeeltelijk aan geformuleerde eisen en het is nooit zeker of meer belovende mogelijkheden niet over het hoofd zijn gezien.

Deze fase, die voorafgaat aan de uitwerking van een veelbelovend ontwerp-idee, wordt ook wel de *conci-*

*piërende fase* genoemd. Beginnende ontwerpers hebben een natuurlijke neiging om hier (te) weinig aandacht aan te besteden, wat in veel gevallen leidt tot slechte ontwerpvoorstellen.

Bij de structurering van de ontwerp opdrachten is daarom gepoogd de concipiërende fase "op te rekken". Leerlingen worden gestimuleerd het gegeven ontwerpprobleem op te splitsen in deelproblemen, waarvoor deeluitwerkingen moeten worden bedacht.

De gevonden uitwerkingen voor deeltaken worden verzameld in een zogenaamde *ideeëntabel*, waarna aan de hand van de gegeven ontwerp-eisen (en praktische randvoorwaarden) de meest belovende oplossing wordt gezocht. Belangrijk hierbij is dat niet te snel gedacht wordt in termen van concrete uitwerkingen. Het gaat erom eerst in algemene termen de systeemfuncties (taken van deelsystemen) te bepalen voordat wordt nagedacht over mogelijke uitwerkingen (realisaties) per functie. Deze werkwijze is erop gericht om het creatief bedenken van meerdere oplossingen in de voorfase te bevorderen. Vroegtijdige concretisering werkt meestal remmend op het ideevormingsproces. Een voorbeeld van een ideeëntabel is weergegeven in figuur 1.

De ideeëntabel biedt een handig overzicht van mogelijke uitwerkingen voor het ontwerpprobleem. Leerlingen formuleren een *ontwerpvoorstel* door hieruit een keuze te

Boiler Taken van deelsystemen	Mogelijke uitwerkingen per deelsysteem			
	1	2	3	4
1 Water inlaten	kraan	klep	rechtstreeks op waterleiding	
2 Water opslaan	cilindrisch reservoir	Lange, opgerolde buis		
3 Water verwarmen	elektrische gloeispiraal	gasvlam	doorvoer van hete stoom	
4 Warme water isoleren	piepschuim	glaswol	steenwol	

Fig.1: Voorbeeld van een ideeëntabel voor het ontwerp van een boiler. Elke 'alternatieve route' door de tabel vormt een mogelijk ontwerpvoorstel.

maken. Bij die keuze wordt niet alleen rekening gehouden met de ontwerpisen, maar wordt ook gekeken naar de uitvoerbaarheid met de op school aanwezige middelen.

Bij *het testen* van het prototype moet in ieder geval worden nagegaan in hoeverre aan de ontwerpisen wordt voldaan. Er wordt niet gevraagd op basis hiervan het prototype weer te wijzingen. Een (kort) testrapport met suggesties voor verbeteringen volstaat.

Over het totale ontwerpproces valt uiteraard meer te zeggen, bijvoorbeeld over het behoeftenonderzoek (opstellen PvE) of over het rekening houden met eisen die voortvloeien uit productie, gebruik, beheer, onderhoud en afstoting/hergebruik van een te ontwikkelen product. In het voorbeeldmateriaal ligt de nadruk op de concipiërende fase en het rekening houden met gegeven ontwerpisen en randvoorwaarden bij het kiezen van een ontwerpvoorstel en bij het testen van het gebouwde prototype.

### Technisch ontwerpen binnen natuurkunde

Om de inpasbaarheid binnen het reguliere lesprogramma te vergroten is ervoor gekozen de ontwerp opdrachten inhoudelijk te koppelen aan het subdomein Signaalverwerking/Automatisering. Hierdoor wordt het mogelijk de behandeling van domein-inhoud te combineren met ontwerpactiviteiten. Daarmee is voor de natuurkunde-module 'ontwerpen van automatische systemen' in totaal zo'n 30 sluis beschikbaar: 10 tot 15 sluis voor het verwerven van de benodigde domeinkennis (fysische informatica) en 15 tot 20 sluis voor het aanleren van ontwerpvaardigheden en het toepassen van de domeinkennis in een technische context.

De keuze voor automatisering is niet alleen ingegeven door de mogelijkheden die deze context biedt voor interessante ontwerp problemen uit de moderne informatietechniek. Ook overwegingen van meer praktische aard hebben hierbij een rol gespeeld:

- Dit examenonderdeel staat inhoudelijk het meest los van de andere natuurkunde-onderwerpen, waardoor de module in principe in elk leerjaar inpasbaar is.
- Omdat op de meeste scholen voldoende practicum-materiaal voor technische automatisering beschikbaar is, vormt materiaalvoorziening voor ontwerp opdrachten in mindere mate een probleem. Voor het bouwen van aanstuurbare modellen wordt wel uitgegaan van de beschikbaarheid op school van een aantal standaard constructie-bouwdozen (Lego, Fischer techniek, Lazy Control, Meccano, enz.).

De natuurkundemodule biedt leerlingen – passend bij de studiehuisgedachte – verschillende mogelijkheden voor actief en zelfstandig leren.

De benodigde theorie (fysische informatica) wordt niet apart behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar het natuurkundeleerboek. In een aparte bijlage bij de module

worden wel uitgewerkte suggesties gedaan voor de toepassing van de theorie in veel voorkomende praktijksituaties. Bij de uitwerking van ontwerp opdrachten is ondersteuning beschikbaar in de vorm van een ontwerphandleiding, logboek en vraagbaak.

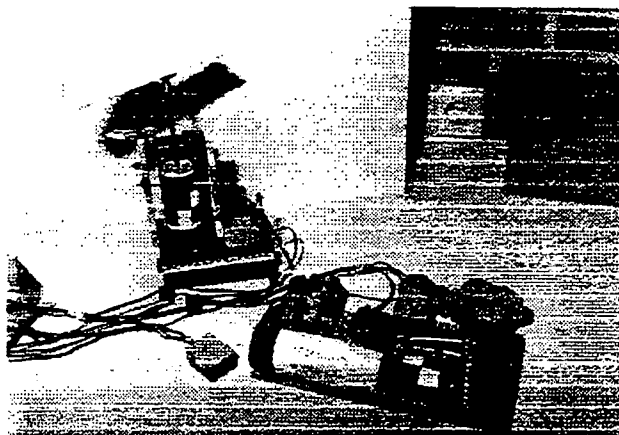


Fig. 2: Een prototype voor een windrichtingsmeter.

Er zijn vijf ontwerp opdrachten uitgewerkt, waaruit leerlingen een keuze kunnen maken:

- Route Informatie Systeem (RIS): ontwerp een voorziening om blinden automatisch de weg te wijzen.
- Windrichtingsmeter: ontwerp een automatische windwijzer voor amateurmeteorologen.
- Energiedak: ontwerp een regelsysteem om een zonnecollector op de zon te richten.
- Stortkoker: ontwerp een systeem dat milieuvriendelijk blikjes scheidt van ander afval.
- Automatische brug: ontwerp een systeem voor een automatische brugwachter.

Bij elke ontwerp opdracht hoort een uitgewerkte vraagbaak met achtergrondinformatie voor leerlingen en uitgebreide informatie voor de docent (tijdsplanning, materiaallijst, voorbeeld ideeëntabellen, testresultaten enz.).

De resultaten van de ontwerp activiteiten worden (beknopt) vastgelegd in een logboek, dat kan worden toegevoegd aan het examendossier van de leerling.

In de maanden maart en april 1998 wordt het voorbeeldmateriaal getest op een aantal proefscholen en in september 1998 zullen de voorlopige eindproducten worden opgeleverd voor verspreiding.

### Noten

<sup>1</sup> De projectgroep Techniek 15+ is een samenwerkingsverband van Didactiek Natuurkunde UvA, SLO, Stichting Techniek en Onderwijs HvU en Onderwijskundig Centrum UT.

### Literatuur

N.F.M. Roozenburg & J. Eekels (1996). *Produkt-ontwerpen, structuur en methoden*. Utrecht: Lemma.

# Object-georiënteerd onderwijs

Werkgroep 25

*R. Slagter & F. Wolters*

Even voorstellen:

Rob Slagter (28) studeerde in 1995 af als natuurkundige, sterrenkundige en informaticus. Na zijn afstuderen volgde hij de eerstegraads leraren-opleiding in Groningen. Hij liep stage bij het Nienoord-college te Leek (Gr.) en bleef daar na het behalen van zijn lesbevoegdheid nog anderhalf jaar werken als docent natuurkunde. Momenteel werkt hij als systeemontwerper bij een software-huis.

Fred Wolters (46) studeerde in 1977 af als (technisch) natuurkundige en in 1985 als psycholoog. Sinds 1990 is hij als leraar natuurkunde verbonden aan het Nienoordcollege te Leek. Daarnaast werkt hij sinds 1993 bij de werkgroep vakdidaktiek natuurkunde van de RUG en is ook nog als psycholoog werkzaam.

## Inleiding van de werkgroep

Fred begint met een aantal voorbeelden te geven van gevolgen van de sommetjes-cultuur in het natuurkunde-onderwijs. Leerlingen blijken vaak puur gefixeerd te zijn op formules en blijken weinig inzicht in de probleemstelling te hebben. Leerlingen die bijvoorbeeld bij een vraag de formule voor het berekenen van de oppervlakte nodig hadden ( $A = \pi R^2$ ), vulden hier zonder blikken of blozen voor  $R$  de weerstandswaarde  $10 \Omega$  in.

Een ieder kent wel het scala aan antwoorden dat je krijgt als je leerlingen laat berekenen hoeveel geld je voor de elektriciteit moet betalen als je gedurende een uur onder een lamp van 60 W je proefwerk natuurkunde voorbereidt. Enige tienduizenden guldens als antwoord komt regelmatig voor. Ook als je het aanbod doet dat je met 50% korting voor deze prijs de elektriciteit bij hun thuis wel wilt leveren, gaat er soms nog geen lichtje branden. Het berekenen van de remweg van een vliegtuig blijkt eveneens lastig te zijn voor leerlingen. Bij een proefwerk zegt Fred er altijd bij dat het antwoord ligt tussen 1,80 m en 245 keer rond de aarde. Leerlingen vinden dit (terecht) een wonderlijke hint. Als toelichting wordt dan gezegd



dat leerlingen in het verleden dit als uiterste antwoorden gaven. Als extra hint wordt er soms ook nog bij gezegd, dat de passagiers in beide gevallen hoofdpijn krijgen. Met een variant op de SPA-methode (Systematische Probleem Aanpak) probeert Fred het blindelings toepassen van formules een halt toe te roepen. Dit gaat als volgt. Bij een vraagstuk moeten de leerlingen allereerst een tekening maken met de belangrijkste gegevens erbij, ze moeten duidelijk opschrijven wat er wordt gevraagd en welke theorie ze denken nodig te hebben. Vervolgens moeten ze een reële schatting maken van de uitkomst. Dan pas kunnen ze (eventueel) met de formules aan de slag. Toch blijken de leerlingen dit niet goed op te pakken en vinden de extra tijd die ze hiervoor nodig hebben weggegooid. Deze ervaring werd aangevuld door een werkgroepdeelnemer die vertelde dat hij zijn leerlingen voorstelde eerst een tekening van het probleem te maken alvorens het probleem te lijf te gaan. Ook hij ondervond dat leerlingen dit als een tijdverspillende bezigheid zien. Het draait immers puur om de formules. Binas-criminaliteit noemde een andere deelnemer dit.

## Een object-georiënteerde aanpak

Rob vertelde dat natuurkunde ook voor hem een zaak was van het toepassen van formules. Omdat analytisch denken een sterke kant van hem is, kwam hij dan ook zonder problemen door zijn studie natuur- en sterrenkunde heen. Pas in het onderwijs merkte Rob dat zijn begrip van de natuurkunde niet zodanig was dat hij de leerlingen goed kon begeleiden. Het toepassen van formules stond hem tegen omdat hem dit niet dichterbij de leerlingen bracht. Hoe denken nu de leerlingen, was de vraag die Rob zich stelde en hij herinnerde zich zijn informatica-colleges over object-oriëntatie.

In de informaticawereld kwam men in aanraking met steeds complexere informatiesystemen. Zo complex dat de gangbare ontwerpmethododes geen goed inzicht meer kon-

den geven. Toch is het vreemd dat we zoeken naar een methode om complexe vraagstukken te beheersen. Iets complexers dan de dagelijkse wereld om ons heen is er niet. En daar schijnen we geen enkel beheersingsprobleem mee te hebben. Blijkbaar heeft een mens van nature al een denkmethode die hem in staat stelt de meest complexe vraagstukken beheersbaar te houden. Deze methode is de object-oriëntatie.

Bij object-georiënteerd denken, denkt de mens in termen van objecten (de naam zegt het al). De mens wijst in elke situatie de belangrijkste objecten aan, geeft detailinformatie over het soort object, zijn belangrijkste eigenschappen, de manier waarop het is samengesteld en de wisselwerking die het met andere objecten heeft. Dit, en niet meer of minder, is de manier waarop een mens instinctief tegen de wereld om hem heen aankijkt.

Toch is door opvoeding en onderwijs de mens op bepaalde gebieden anders gaan denken. Zo zijn ook wij als natuurkundigen op het gebied van de natuurkunde anders gaan denken. Daardoor is een kloof ontstaan tussen de 'normale' dagelijkse manier waarop mensen tegen natuurkundige verschijnselen aankijken en de manier waarop dit in de klas gebeurt. Door natuurkunde object-georiënteerd te presenteren kunnen we deze kloof dichten.

### Voorbeelden

Omdat object-oriëntatie iets is wat we allemaal al dagelijks toepassen en waar we dus allemaal expert in zijn, is een theoretisch relaas niet de geëigende manier om uit te leggen wat we met dit begrip bedoelen. Veel beter konden we enkele natuurkundige vraagstukken aan de leden van de werkgroep voorleggen met de opdracht om ze gezamenlijk object-georiënteerd te analyseren.

### Opdracht 1

De eerste vraagstelling, die we aan de werkgroep voorlegden, kwam uit één van onze artikelen in NVOX. Welke objecten neem je op in een tekening als je het drijven van een boot met behulp van de wet van Archimedes wilt uitleggen?

De geëigende objecten, de boot en het water, werden genoemd. Ook maakten de werkgroepleden in de tekening terecht duidelijk dat de boot een diepgang had. Wat echter geen van de werkgroepleden tekende was het object aarde. Onmisbaar, immers zonder de aarde zou de boot zeker niet gaan drijven en is ook de wet van Archimedes niet uit te leggen. Met het object aarde wordt de uitleg van de wet van Archimedes logisch. De boot en het water willen beiden even graag bij de aarde zijn, net als jij en ik dat even graag willen. De gelijkheid die in de wet van Archimedes zit wordt dan logisch en herkenbaar voor de leerling.

### Opdracht 2

We hadden een bak met water met daarin een drijvende vis. De opdracht om eens een tekening van de situatie te maken, was te doorzichtig voor de werkgroepleden. Hun

terechte tegenvraag was welk natuurkundig verschijnsel willen we bekijken? In dit geval wilden we weten hoe we de vis zien.

Deze genoemde tegenvraag legt wel iets bloot waar leerlingen vaak moeite mee hebben. Voor ons volgt uit de vraagstelling vaak vanzelfsprekend welk verschijnsel wordt bedoeld en welke zaken belangrijk zijn voor dat verschijnsel. De leerling heeft deze ervaring niet en moet hierin door ons worden getraind. We moeten als het ware de leerling leren in elke situatie (voor elk natuurkundig probleem) eerst de juiste objecten aan te wijzen en daarna alleen de relatie(s) tussen de objecten te bekijken, die voor het probleem relevant zijn.

Bij het beantwoorden van onze vraag (hoe zien we de vis?) neigde men aanvankelijk naar het standaard plaatje waarin de breking van licht en de schijnbare grotere verschijning van de vis wordt getekend. Echter, geprikkeld door de voorafgaande discussies en vraagstellingen en door de verschillende perspectieven die we hadden op de bak met water hadden (we zaten er omheen), kwam een ieder tot andere objecten en/of relaties tussen de objecten.

Conclusie was dan ook dat dit eigenlijk een zeer ingewikkeld vraagstuk was, waarvan de situatieschets zonder meer informatie niet eenduidig vastligt. (Dit vraagstuk stamt rechtstreeks uit een lesboek!)

### Opdracht 3

De derde opdracht ging op verzoek van een werkgroep lid over elektriciteit. 'Kunnen we object-oriëntatie hier wel toepassen?', was zijn vraag. Object-oriëntatie kun je altijd toepassen! Het vergt echter voor sommige situaties meer inspanning, naarmate we meer zijn gewend aan een niet objectgerichte aanpak. Een ander lid van de werkgroep gaf bijvoorbeeld aan dat Feynman er in slaagde de volledige optica uit te leggen door het lichtdeeltje steeds als basisobject te beschouwen, zonder daarbij het dualistisch karakter van licht nodig te hebben. Dan moet het zeker mogelijk zijn de elektriciteitsleer uit te leggen met het elektron als basisobject.

Het onderwerp waar men naar vroeg bij de derde vraag ging over een elektrische schakeling. Leerlingen hebben moeite zelfs eenvoudige schakelingen te doorzien. Dit komt omdat we eigenlijk als docent razendsnel switchen tussen een aantal beelden van de schakeling. Wij beseffen bijvoorbeeld terdege dat elke schakeling te reduceren is tot een schakeling met een spanningsbron en een weerstand. Dit beeld houden we steeds in het achterhoofd. Als er in een schakeling bijvoorbeeld parallel-geschakelde weerstanden voorkomen, dan zal de docent deze snel herkennen en meteen al een vervangingsweerstand 'zien'. Als docent ben je geneigd om er vanuit te gaan dat de leerlingen ook vanuit deze perspectieven naar een elektrische schakeling kijken. Daar komt bij dat een docent er in is getraind om snel van het ene naar het andere perspectief te switchen. Belangrijk is dan dat de docent expliciteert vanuit welk perspectief zij naar de desbetreffende

schakeling kijkt.

Tijdens de werkgroep werd daarom geopperd de leerling te trainen in het tekenen van deze beelden.

Een ander probleem waar we vaak tegen aan lopen bij het analyseren van schakelingen is het herkennen van serie en parallel geschakelde weerstanden. Als we de boeken er op naslaan dan wordt dit eigenlijk niet correct uitgelegd. Het heeft immers niet direct te maken met naast of achter elkaar, maar meer met een gedwongen weg (serie-schakeling) of een gekozen weg (parallel-schakeling) voor de stroom. Twee stuwdammen (weerstanden) zijn in serie als we noodzakelijkerwijs beiden tegenkomen als we op een boot (elektron) door het kanaal (kabel) varen (stromen). Twee stuwdammen (weerstanden) zijn parallel als we of de ene of de andere met de boot (elektron) kunnen passeren. Het kanaal (kabel) is dan dus gesplitst. Uit dit voorbeeld blijkt een belangrijk voordeel van object-oriëntatie: het wordt eenvoudiger om eigenschappen van onbekende objecten te relateren aan objecten die bij de leerling bekend zijn.

#### **Tot slot**

Vanwege de tijd konden we slechts drie vraagstukken bespreken. Het doel van de werkgroep was collega's kennis te laten nemen van een methode waarmee we in staat zijn onderwijs te geven op een manier die dichter bij de belevingswereld van de leerling staat. Dit resulteerde in een aanpak van de natuurkunde waarbij we niet direct naar formules grijpen. Dat betekent niet dat formules niet belangrijk zijn. Ze worden nu echter een verklarend onderdeel in plaats van een leidend onderdeel.

Object-georiënteerd onderwijs is nog een idee; het is geen uitgewerkte lesmethode. We zijn allemaal, misschien met een klein beetje hulp, in staat natuurkunde object-georiënteerd te geven. Wij hopen dan ook dat we de werkgroep zo hebben opgezet dat collega's enthousiast zijn geworden deze aanpak in hun lessen eens toe te passen. Natuurlijk willen we heel graag van zulke ervaringen op de hoogte worden gesteld. Ook zijn we graag bereid hulp te bieden bij het toepassen indien men dat wenst.

Wij danken hierbij tevens de deelnemers aan de werkgroep voor hun bijdragen.



# Paragraafvragen, -schema's en -puzzles: hoe zetten we leerlingen aan het leren?

Werkgroep 26

*J.W. Drijver, A.J. Mighielsen  
& H.S. Wielenga*



Op de klassieke school geeft de leraar bij elk nieuw onderwerp - zelfs vaak bij elke nieuwe theorieparagraaf van een leerboek - een klassikale inleiding, waarbij hij/zij de algemene gedachtengang van de leerstof schetst, moeilijke punten aangeeft en een voorbeeld doorrekent. In het beoogde studiehuis zal diezelfde leraar te maken krijgen met leerlingen die met een eigen planning de leerstof doornemen en derhalve niet gelijklopen. In het algemeen zal er dus geen sprake kunnen zijn van een klassikale inleiding bij een bepaalde theorieparagraaf. Op welke manier ondersteun je dan je leerlingen bij het leren van nieuwe theorie?

Op het St. Bonifatius College te Utrecht werken we bij natuurkunde in de bovenbouw HAVO/VWO met groeps-  
werk, waarover al eerder werd bericht in een werkgroep van de Woudschotenconferentie 1996. Aan deze groepjes (3 à 4 leerlingen) worden als hulp bij het bestuderen van leerstof zogenaamde paragraafvragen aangeboden. Bij elke theorieparagraaf uit het leerboek (Systematische Natuurkunde) hebben we een aantal inleidende vragen opgesteld van diverse soorten:

- accentuerend: ze verwijzen naar tekst/figuren/diagrammen, herhalen vragen of opdrachten uit de tekst en geven zo extra nadruk aan bepaalde onderdelen: *waarom is figuur .... van belang voor ....?; beantwoord de vraag onderaan blz 104.*
- verhelderend: ze leiden tot kritisch lezen, tot verduidelijking van een moeilijk punt: *noteer in eigen woorden wat er bedoeld wordt met .....; leg ..... uit met een figuur.*
- waarschuwend: ze wijzen op valkuilen bij het begrip-

pen van de theorie of onduidelijkheden in de tekst:  *$\rho$  is niet alleen het symbool voor soortelijke weerstand maar ook voor .....*

- toetsend: ze controleren of een bepaald onderwerp wel goed is begrepen: *welke uitspraak over ..... is waar: a ....., b ....., c .....*?
- integrerend: ze leggen verbanden tussen verschillende onderdelen of ze laten een stuk tekst samenvatten: *wat heeft ..... te maken met .....?; vat het wezenlijke van ..... samen in één regel.*

Als aanvulling hierop laten we per paragraaf kleine schematische samenvattingen maken en ook zogenaamde paragraafpuzzles oplossen. Het belang van de schematische samenvattingen spreekt voor zichzelf. De paragraafpuzzles behoeven wel toelichting. Deze zijn altijd in meerkeuzevorm en hebben meestal tot doel om een groepje te laten discussiëren over een praktijksituatie waarbij intuïtieve misvattingen mogelijk zijn. Dit idee is ontstaan naar aanleiding van de lezing die Erik Mazur over conceptuele vragen hield op de Woudschotenconferentie 1996. Een voorbeeld: *Je rent naar een wachtende bus en ongemerkt valt je schoudertas op de grond. Waar komt die terecht? a. vóór je voeten, b. naast je voeten, c. achter je voeten.* Soms zijn de paragraafpuzzles niet anders dan een lastig vraagstukje, waarin bijvoorbeeld de driftsnelheid van elektronen in een snoer moet worden geschat (a.  $10^{-4}$  m/s, b.  $10^0$  m/s, c.  $10^4$  m/s, d.  $10^8$  m/s).

Het probleem waar we tegenaan lopen bij onze zelfstandig werkende leerlingen is, hoe deze paragraafopdrachten aan onze leerlingen te 'verkopen'. Hun eerste reactie is altijd: dit is nog meer werk dan we al moeten doen, we hebben

al zo weinig tijd, moet dit? In het begin van de cursus stellen we daarom de paragraafvragen/schema's/puzzles verplicht, als kennismaking. Dat betekent dat we dan zelf ook tijd kwijt zijn met het nakijken van het een en ander. Na enkele weken vinden we eigenlijk dat de leerlingen het belang van de zaak moeten inzien, en eigener beweging het een en ander horen te doen. Het is tenslotte zelfstandig werken, nietwaar? Maar in de praktijk blijken maar enkele groepjes dit vol te houden, en de groepjes die deze ondersteuning het hardst nodig hebben, stoppen natuurlijk het eerst.

We proberen op het ogenblik verschillende manieren uit om het bovengeschetste probleem aan te pakken:

- We trachten groepjes met argumenten te overtuigen van het nut van de paragraafopdrachten (zet meestal weinig zoden aan de dijk).
- We stellen soms de paragraafvragen van enkele paragrafen verplicht ('mensen, deze paragrafen verdienen extra aandacht').
- We geven invulvellen uit waarop per 4 à 5 paragrafen (de groepjes maken daarover een groepstoets) de paragraafvragen kunnen worden beantwoord en waarop nog ruimte over is voor een kleine groepsevaluatie.
- We stellen de beantwoording van de paragraafsche- ma's en paragraafpuzzles verplicht; eerder mogen leerlingen geen groepstoets maken. Dat geeft gemop- per, maar het werkt wel. Vaak echter maken de leer- lingen de opdrachten achteraf in plaats van gelijk bij de paragraaf.
- We onderzoeken of de paragraafopdrachten misschien een rol kunnen spelen in een centrale les voorafgaande aan een repetitie. We hebben bijvoorbeeld een positie- ve ervaring gehad met het groepsgewijs oplossen van de paragraafpuzzles in zo'n les.
- We proberen het groepswerk beter aan te sturen door vast te houden aan het principe dat vragen over opgave- n pas aan ons gesteld mogen worden als ze in het groepje besproken zijn (dit is een hele moeilijke!). We hopen dat ze dan als groepje makkelijker de paragraaf- opdrachten uitvoeren.

Tijdens de werkgroep hebben we onze probleemstelling aan de tien deelnemers voorgelegd. Die vertoonden echter een even evasief gedrag als onze leerlingen. Ter sprake kwamen onder andere: een vernietigende kritiek op het leerboek dat wij gebruiken, een discussie over het verschil tussen de begrippen spanning en potentiaalverschil, diverse presentaties over hoe je eigenlijk groepswerk in hoort te richten, en nog meer ..... Wel werd er waardering geuit voor de indeling in de soorten groepsvragen zoals boven besproken, maar onze pogingen om de deelnemers zelf enkele paragraafvragen te laten opstellen werden in de kiem gesmoord. Al met al was het een zeer levendige werkgroep met veel zinnige bijdragen over aspecten van het zelfstandig werken.

Met de paragraafopdrachten gaan we zeker verder, we zijn er van overtuigd dat ze een belangrijke rol kunnen spelen bij het bestuderen van de theorie. De para- graafvragen en -puzzles worden in aangepaste vorm opgenomen in de 'Leerlinghandleiding' die verschijnt bij de nieuwe 'Systematische Natuurkunde' (zie figuur 1). Te zijner tijd hopen we te kunnen berichten op welke wijze het ons is gelukt om de paragraafopdrachten door zelfstandig lerende leerlingen te laten gebruiken.

**2.6 Eenparig versnelde rechtlijnige beweging (1)**

1 Hoe kun je in een (u,t)-grafiek het verschil zien tussen een versnelde of een vertraagde beweging? En hoe zie je of het ontwerp versneld of vertraagd is?

2 Leg in je eigen woorden uit wanneer iets een versnelling van  $3.0 \text{ m/s}^2$  heeft. Idem voor een versnelling van  $-3.0 \text{ m/s}^2$ . Welke formule hoort daar bij?

3 Zie de figuren 2.48 en 2.49. Is er tussen  $t = 3 \text{ s}$  en  $t = 5 \text{ s}$  sprake van een versnelling of van een vertraging? Leg uit.

Jan zegt dat een voorwerp met een negatieve versnelling altijd afremt. Volgens Willem kan een voorwerp met een negatieve versnelling ook wel versnellen. Hoe zit dat?

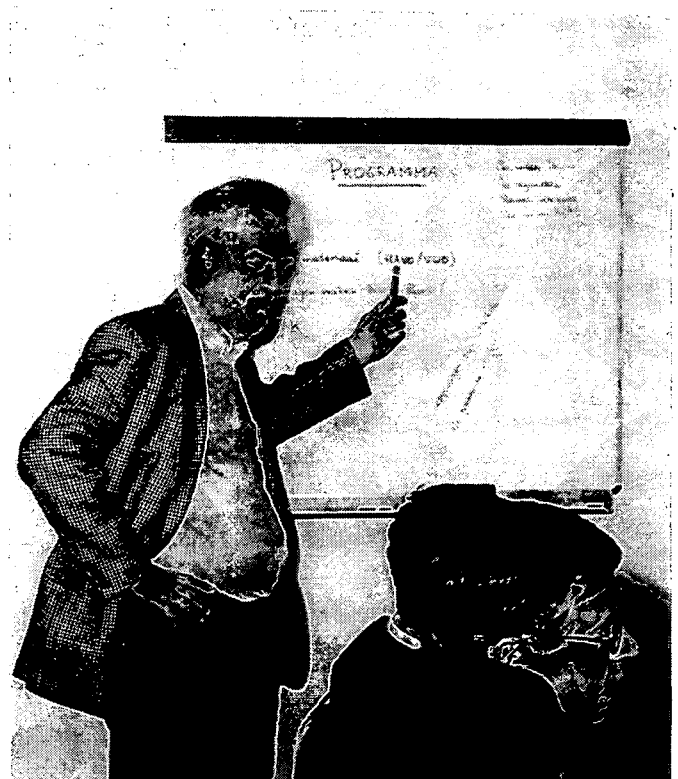
a Jan heeft gelijk                      b Willem heeft gelijk

59/60 Je kunt de definitie van versnelling (zie hiernaast) gebruiken.  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

62 Het is al helemaal voorgedaan voor  $t = 4.0 \text{ s}$

63/64 Je kunt de definitie van versnelling (zie rechtsboven) gebruiken.

Fig. 1





# Systematisch reflecteren

Werkgroep 27

*H. Vos*



## Werkwijze

Deze werkgroep was bedoeld voor lesgevers; voor docenten die daadwerkelijk willen invoeren dat leerlingen zo nu en dan systematisch reflecteren op hun activiteiten in school. Tijdens de werkgroep zijn we begonnen met de vragen:

- wat kun je vanuit de theorie zeggen over systematische reflectie?
- wat hebben we elk zelf gedaan aan reflectie?
- welke ervaringen hebben we daarmee?
- wat voor ideeën hebben we erover?
- wat kunnen we daar verder mee?

Op deze manier hebben we ervaren hoe een methode van systematische reflectie aanvoelt. Al doende hebben degenen die ervaring met reflectie hadden, gelegenheid gehad hun tips in te brengen en uit te wisselen. Dit verslag geeft een idee van wat er gebeurd is. We zullen beginnen zoals de aankondiging begon.

## Systematiek

Reflectie is in. We kennen in de natuurkunde al reflecterende spiegels. Gaan we ook al reflecterende leerlingen krijgen? Dat zou mooi zijn. Al lang is bekend dat bevorderen van reflectie op de eigen activiteiten een vruchtbaar onderwijsprincipe is. De vraag is: wat is reflecteren en welke 'spiegels' kun je daar dan bij gebruiken?

Vaak wordt reflecteren opgevat als nadenken. Achteraf dus. Reflecteren kunnen we definiëren als: een bepaalde manier van nadenken over gebeurtenissen en ervaringen met het doel te leren. Reflecteren kan ook 'voordenken' zijn. Denk aan het voorbereiden van een les: op basis van je ervaringen als docent in het verleden ga je na hoe je de les deze keer het beste kunt geven. Ook leerlingen kunnen ontdekken dat het zinvol is om van tevoren even door te lezen waar de les over zal gaan.

Reflecteren is een onderdeel van de bekende Kolb-cirkel, namelijk reflecterend observeren. In de werkgroep hebben we aandacht besteed aan de leerstijlen die in de Kolbcirkel

opgenomen zijn, en aan het gebruik van de Kolbcirkel in het onderwijs bij ervaringsleren. Ervaring heeft met het gevoel te maken: je voelt met je tong de elektriciteit in een 4,5 V batterij, of je bent blij dat je de som kunt, of je schrikt omdat je een onvoldoende hebt gekregen terwijl je dacht dat je het goed geleerd had.

Deze ervaringen vormen de basis voor persoonlijke betrokkenheid bij de leerstof. Zonder ervaringsgevoel is het leren dood: de informatie gaat het ene oor in en het andere weer uit. Of wat de leerling met zijn handen doet op een practicum gebeurt achteloos (vaak ook gedachteloos) en is de volgende keer weer vergeten. Betrokkenheid bij de stof leidt daarentegen tot integratie en daarmee tot leren waar je later wat mee kunt. De leercirkel kan op elk punt starten: bijvoorbeeld bij informatie in de vorm van uitleg, regels, formules enz. (abstracte generalisatie). Vervolgens komt dan het doen: het uitvoeren van opdrachten, sommen maken, vragen beantwoorden (actief experimenteren). Daarna het voelen: teleurstelling, saai, of juist leuk, daar heb je wat aan (concrete ervaring). Tenslotte het nadenken: het beschouwen, ideeën krijgen (reflectief observeren). En dan wordt de cirkel gesloten met het vorm geven aan die ideeën: wat er geleerd is wordt geordend en vastgelegd in uitleg, regels, formules enz. Tegelijk wordt daarmee de generalisatie naar nieuwe situaties voorbereid. Je kunt je dan natuurlijk nog afvragen: wat gebeurt er precies bij het rondgaan langs de cirkel, welke processen spelen zich af in de hersenen, wat zijn de voorwaarden daarvoor en hoe kun je ze bevorderen. Bijvoorbeeld, om ideeën te krijgen over wat er gebeurd is moet je openstaan voor (nieuwe) gedachten. De term 'divergeren' wordt hier gebruikt. Nadenken wordt als lineair gezien, als logisch opeenvolgende stappen, terwijl reflectie misschien meer intuïtief verloopt, in sprongen. Nadenken kun je alleen doen, ook alleen krijg je ideeën, maar samen of met een groepje reflecterend krijg je méér ideeën.

## Praktijk

Stel U wilt reflectie invoeren in uw VWO-klassen. Of U doet het al, maar wilt het systematischer aanpakken. Kan dat dan? Waarop? Hoe? In welke volgorde?

Allereerst moet reflecteren nut hebben, er moet ergens op gereflecteerd worden dat te maken heeft met een taak waar je voor staat. En waarop reflecteren dan wel? Op het verschil tussen spanning en stroom? Op het nut van het construeren van de stralengang door een halfbolle lens? Op hoe het komt dat je van sommige dingen die je vroeger geleerd hebt alles vergeten bent? Soms zelfs dát je er iets van geleerd hebt? Alles is mogelijk, maar het moet wel zin hebben voor degene die aan het reflecteren is.

Boven zagen we al de mogelijkheid voor het gebruik van de cirkel van Kolb om de taakonderdelen zo af te wisselen dat reflectie aan bod komt. Ten tweede kunnen we eens denken aan reflecteren op de taak voordat we beginnen (Waar doen we het voor? Wat moet er uit komen?), tijdens de uitvoering (Ben ik nog steeds op de goede weg?) en na afloop (Wat leverde het op? Hoe ging het?).

Er zijn heel verschillende aanzetten mogelijk. Bij psychologie, waar men al lang succesvol met mondelinge reflectie heeft gewerkt, wordt nu gewerkt aan schriftelijk materiaal om reflectie bij het bestuderen van leerstof te bevorderen. Natuurkundedocenten hebben meer de ervaring dat schriftelijke reflectieve vragen nauwelijks of niet tot reflectie leiden.

Reflectie wordt als vervelend gezien, het is een extra klus. Nadenken, zei een leerling, dat doe je toch altijd al? Wat heb ik er aan om dat ook nog op te schrijven? Dat is lastig, ik houd er niet van en het is zonde van mijn tijd. Er heerst een natuurlijke weerzin tegen reflectie. Die weerzin is er ook tegen het schrijven van reflectieve opmerkingen in een logboek. Reflectievragen worden vaak niet ingevuld. Toch zijn er ook positieve ervaringen. Het is mogelijk om via verrassende demonstraties of informatie leerlingen gemotiveerd te krijgen voor de fysica, ze aan het werk te krijgen, vervolgens dóór te praten over: welke nieuwigheid komt hier nu uit? Reflectie wordt dan concreet gemaakt. Wat denk je, twee lampjes in serie, welke zal het felst branden? Stel dat in het echt (doen!) een van de twee iets feller brandt. Wat denk je dat het geval is als je de twee lampjes van plaats verwisselt? De leerling wordt uitgedaagd om na te denken, terwijl het voor de docent een uitdaging is om dit te bereiken.

Ook is het mogelijk om leerlingen tot reflectie te brengen na bijvoorbeeld vastlopen in een som. Of na een diagnostische toets, waarvan het resultaat niet zo best was. Dat is de gelegenheid voor de leerling om eens - samen met de docent - na te denken over de eigen werkhouding. Wat had je zelf gedacht dat je waard was? Hoe kwam het dat je ....? Zelfbeoordeling speelt hier een rol. Het is dus belangrijk om het goede moment uit te kiezen voor reflectie.

Het bevorderen van reflectie kost veel tijd omdat er vaak individueel vragen gesteld worden. Hoe komt het dat je

....? Heb je iets geleerd? Ben je er wijzer van geworden? Dat betekent aandacht voor individuele leerlingen.

Klassikaal is het heel moeilijk om leerlingen serieus te laten reflecteren. Met tussenvormen, bijvoorbeeld klassikaal gecombineerd met het leren reflecteren in groepjes, is nog weinig ervaring opgedaan.

Reflectie gebeurt ook teveel incidenteel. Het zou regelmatig moeten gebeuren. Reflectie zou een natuurlijke inbedding moeten hebben in het leerproces. Het moet zin hebben en het moet niet te lang duren. Hoogstens een uurtje. Je moet er wel de tijd voor nemen zoals wij nu doen.

Reflectie moet je vrijwillig doen. Het betekent ook je kwetsbaar opstellen, je bloot geven, als docent en als leerling. De docent zou hier het voorbeeld moeten geven: zelf reflectie toepassen, zelf oefenen met een reflectief logboek, kijken hoeveel tijd dat kost, of je er iets van leert, en wat je er wel en niet in moet schrijven.

## En wij zelf?

Reflecteren door wie dan? Door docenten? Leerlingen? In de werkgroep bleek dat het nadenken over reflectie door leerlingen om te leren, ook leidt tot nadenken over jezelf, hoe je zelf leert. Een deelnemer merkte op: 'Ik leer altijd via inhoud, niet via reflectie op de inhoud. Als ik iets wil leren over reflectie, dan moet een stuk theorie over reflectie in de inhoud zitten.'

Tenslotte de deelneemster die zei: 'Het lijkt wel in mijn hoofd alsof de leercirkel van Kolb wordt opgenomen in een andere leercirkel'. Die had ontdekt dat de workshop zelf ook was opgebouwd als een leercirkel van Kolb. Naar mijn mening moeten inhoud en vorm bij reflectief leren congruent zijn: de docent moet het voorbeeld geven van wat hij wil dat de leerlingen doen.

Tenslotte dan natuurlijk de vraag: wat heb je er aan? Wat doe je er mee? Voor de leerling betekent dat zoiets als: de volgende keer het iets anders doen. Een beetje anders leren. Voor ons kan het betekenen: eens nadenken over de vragen die gesteld zijn, en de antwoorden uitproberen, testen.

Wat zijn de goede momenten voor reflectie? Mogelijk speelt hierbij het optreden van een gevoelservaring een rol. Welke vragen moet je dan stellen? In elk geval vragen die de leerling verder helpen, dus mogelijkheden om gebruik te maken van wat goed ging, een alternatief ontdekken om dingen beter te doen die niet goed gingen. Hoe kan je de leerlingen zover krijgen dat ze het doen? Dat is lastig. Ze moeten in korte tijd de ervaring krijgen dat je er iets aan hebt. En voor sommigen is het bedreigend, omdat je bij reflectie nooit weet wat je ontdekt over jezelf.

En hoe krijg je leerlingen zover dat ze leren elkaar daarbij te helpen zoals wij dat nu doen? Dat kan alleen als leerlingen waardering voor elkaar krijgen, als er een gevoel van vertrouwdeheid, veiligheid en saamhorigheid ontstaat. In zo'n omgeving kunnen de leerlingen elkaar een spiegel voorhouden zonder dat er brokken vallen als ze schrikken van hun spiegelbeeld.

# Natuurkunde in het studiehuis

Werkgroep 29

*F.L. Gravenberch*



De deelnemers werden geïnformeerd over de activiteiten in het kader van de invoering van het Studiehuis, binnen de afdeling Voorgezet Onderwijs (VO) van de SLO. Om te beginnen is een onderverdeling van het concept 'leren leren' in de stadia zelfstandig werken, zelfstandig leren en zelfverantwoordelijk leren, ontleend aan het VO-brede project 'Leren leren', toegelicht. Vervolgens is een checklist voor de beoordeling van onderwijsleersituaties en van lesmateriaal op basis van deze indeling besproken. Daarna is ingegaan op resultaten tot nu toe van een studiegroep binnen het project Biologie-Natuurkunde -Scheidkunde (BiNaSk) rond het ontwikkelen van vaardigheden binnen een experimenteel eigen onderzoek (EXO). Het uiteindelijke product van deze studie zal een publicatie 'Op weg naar een EXO' zijn. Met name is ingegaan op drie mogelijke uitgangspunten voor leerlijnen binnen een cursus 'onderzoek doen', en op mogelijkheden om als docent de stapsgewijze verzelfstandiging van leerlingen bij het doen van experimenteel onderzoek op een praktische manier in te vullen.

Tenslotte is kort geïnformeerd over een experimentele versie van het computerprogramma EXOTOOL dat in het kader van het - inmiddels beëindigde - project Nieuwe Media in de Ontwikkeling van de Natuurwetenschappen (NiMON) is ontwikkeld. EXOTOOL is een hulpmiddel voor docenten en leerlingen bij het voorbereiden, uitvoeren en rapporteren van experimenteel onderzoek.

Uit de discussie tijdens de werkgroep valt onder meer het volgende te rapporteren.

Onder de deelnemers bestaat nogal wat onzekerheid over de wijze waarop de nieuwe examenprogramma's qua vakinhoud moeten worden geïnterpreteerd. Dat heeft enerzijds te maken met de manier waarop de vakinhoud wordt beschreven (de zogenaamde 'werkwoorden'), welke als minder duidelijk wordt ervaren dan het geval was in de zogenaamde WEN-programma's. Anderzijds zijn er nog weinig voorbeelden uit een 'Studiehuisversie' van de methodes bekend.

Bij de deelnemers is grote behoefte aan informatie over mogelijkheden om in de concrete lespraktijk aandacht te besteden aan vaardigheden. Er is ook onduidelijkheid over hetgeen wat dit betreft verwacht mag worden in de examenopgaven voor het centraal examen (CE). Heldere uitspraken op zo kort mogelijke termijn over de inhoud van het CE en duidelijke aanwijzingen om vorm te geven aan handlingsdeel en profielwerkstuk worden zeer gewenst gevonden.

# Het toestel van Atwood met IP Coach

Werkgroep 30

*H. Joosten*



## Inleiding

In september 1999 wil het Cito een practicumtoets op de markt brengen waarbij het gebruik van de computer centraal staat.

Het is voor de toets noodzakelijk, dat de leerlingen regelmatig met IP Coach hebben gewerkt.

## Kennismaking

In de werkgroep hebben leraren kennis kunnen maken met een deel van de toets.

Zoals in het stroomschema van figuur 1 is te zien, kunnen docenten straks hun leerlingen verschillende toetsversies voorschotelen.

## Beschrijving

We hebben met Proefmaker een speciaal Atwood-programma gemaakt en dat op een leerlingendiskette gezet. Verder hebben we voor deze toets een low budget-gatenwiel met lichtsluis ontworpen, dat dienst doet als plaats-sensor.

Over een aan een gatenwiel vastgemaakte katrol loopt een koord met twee identieke blokjes van 20 gram. Als één blokje wordt verzwaard met een krokodillenklem, beweegt dit blokje versneld naar beneden. Met Stapmeting zien we dan een plaats-tijd-diagram op het scherm.

Daarna wordt met Multiscoop het sensorsignaal bekeken en weer met Stapmeting het gatenwiel geijkt.

Met Verwerking wordt uit het x,t-diagram een a,t-diagram gemaakt en daarna - na meting van de massa's - wordt met Rekenvel een g,t-diagram op het scherm getekend. Tenslotte wordt met Modelomgeving een verklaring gezocht voor de afwijking van g.

Het bijzondere is, dat elke keer als de leerling met 'alt e' een programma afsluit, zijn resultaten op de diskette worden bewaard.

Op het eind kan de leraar zo over alle meetresultaten van zijn leerlingen beschikken.

Met de opmerkingen uit de werkgroep kunnen we verder aan de slag om de toets te vervolmaken.

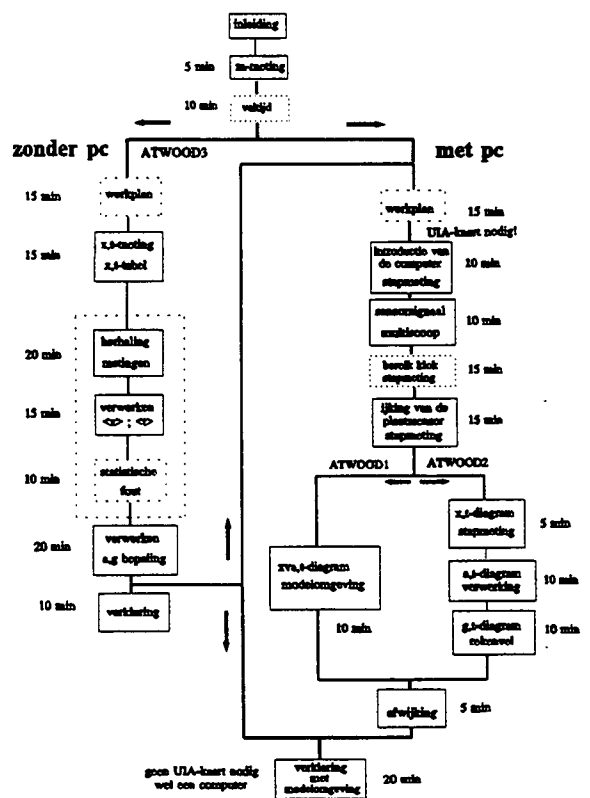


Fig. 1: Stroomschema van de practicumtoets "Het toestel van Atwood"

# Science across Europe en natuurkunde

Werkgroep 32

*L. Schoen & K. Tijdink*

*Science across Europe* is een initiatief van de Engelse Association of Science Education (ASE). Science across Europe formeerde een Europees ontwikkelteam dat tot nu toe negen projectjes (units) schreef. Het ontwikkelteam bestaat uit schrijvers en uitvoerders uit bijna alle Europese landen. In de centrale databank staan inmiddels 683 docenten van 521 scholen in 23 (Europese) landen geregistreerd.

Science across Europe wordt gesponsord door British Petroleum (BP).

## Basisvorming

Science across Europe heeft inmiddels tien units over een natuurwetenschappelijk onderwerp gepubliceerd. De projectjes zijn vertaald in twaalf Europese talen, waaronder Nederlands.

De titels zijn:

- 1 Zure regen over Europa
- 2 Energieverbruik thuis
- 3 Vernieuwbare energiebronnen in Europa
- 4 Water om te drinken in Europa
- 5 Wat heb je gegeten...?
- 6 Broeikas-effect
- 7 Huishoudelijk afval
- 8 Verkeersveiligheid
- 9 Blijf gezond
- 10 Leven met chemie

De inhoud van de units sluit goed aan bij de kerndoelen van de basisvorming. De leerlingen verzamelen gegevens in hun eigen omgeving, rekenen gemiddelden uit en verwerken de resultaten in tabellen en grafieken. Uitvoeren van een hele unit kost minimaal 4 lessen. De opzet van de units is vakoverstijgend, maar ze kunnen goed tijdens de vaklessen natuur- en scheikunde (1,2,3,4,8 en 10) en biologie (5 en 9) aan de orde komen.

De opzet van unit 7 'Huishoudelijk afval' is multidisciplinair. Alle genoemde units zijn zeer geschikt voor gebruik



bij ANW. Unit 6 'Broeikas-effect' is geschikt voor leerlingen met een 'exacte richting' in de tweede fase.

## Internationalisering

De resultaten van de onderzoekjes worden op een gestandaardiseerd formulier uitgewisseld met andere Europese scholen. Het materiaal biedt de leerlingen en docent houvast bij de vergelijking van de resultaten. In een afsluitende les worden verschillen en overeenkomsten besproken.

Alle klassen, die op een bepaalde tijd met een bepaalde unit bezig zijn, zijn geregistreerd in een centrale databank. De resultaten kunnen op deze manier heel gericht naar andere deelnemende klassen gestuurd worden. Als de resultaten van de andere klassen ontvangen zijn, worden in een afsluitende les de eigen resultaten vergeleken met die van leerlingen in andere Europese landen. Het materiaal biedt de leerlingen en de docent houvast bij de vergelijking van de resultaten.

Een unit bevat het geschreven materiaal in alle beschikbare talen. Als docent kun je dus kiezen of je de Nederlandse vertaling gebruikt, of bijvoorbeeld Engels of Duits. De docent kiest in welke taal gecommuniceerd gaat worden. Deze voorkeur wordt opgenomen in de databank. De units lenen zich goed voor samenwerking met talendocenten.

## Informatietechnologie

Meedoen aan Science across Europe biedt veel mogelijkheden voor gebruik van ICT: tekstverwerken, (grafische) presentatie van gegevens met een moderne tekstverwerker (bijv. Word, vanaf 6) of een spreadsheet en e-mail. Er is ook een site op het World Wide Web: <http://www.bp.com/saw>. Via WWW kan de databank met geregistreerde scholen geraadpleegd worden. Ook is het mogelijk de exchange form online in te vullen en te versturen naar scholen met e-mailadres of een fax. Een Forum, dat voor geregistreerde docenten via een password toegankelijk is,

biedt mogelijkheden voor discussie. Op de Website staat verder de 'Newsletter'. In de artikelen van de elektronische nieuwsbrief zijn ook links naar de homepages van deelnemende scholen opgenomen.

De leerlingen voegen vaak per post iets toe aan het gestandaardiseerde formulier, bijv. extra gegevens die ze verzameld hebben in het plaatselijk Milieu Educatiecentrum. Verder worden ook foto's en persoonlijke verhalen uitgewisseld.

Gebruik van Internet is niet noodzakelijk, uitwisselen van de formulieren kan ook met gewone post of fax. Er is ook een geprinte database van scholen beschikbaar.

### **Docentenhandleiding**

In de bijgeleverde docentenhandleidingen staat de vereiste voorkennis van de leerlingen, wat je nodig hebt en een mogelijke werkwijze. Verder bevat hij mogelijke antwoorden op de vragen en verdere, ook lokale, informatie. Vaak worden ook actuele kaarten en statistische gegevens meegeleverd.

### **Kosten en registratie**

Door het eenmalig aanschaffen van een unit, worden de gegevens van de school opgenomen in de centrale databank. Er wordt geregistreerd: naam van de school en van de docent(e), leeftijd van de leerlingen, schooltype (ability), onderwerp van de unit en maanden van het jaar waarin de unit uitgevoerd wordt. De uitwisselingsformulieren komen zo terecht in klassen die met dezelfde unit bezig zijn. Omdat de deelnemende docenten elk jaar (gratis) opnieuw geregistreerd worden, raakt de databank niet vervuld.

De units kosten f75,- per stuk en zijn te bestellen bij het APS. Het materiaal mag vrij gekopieerd worden.

Nieuwe units worden uitgebreid getest in de klas. "Blijf gezond" en 'Leven met chemie' zoeken docenten voor proefuitvoeringen in voorjaar 1998. U kunt zich aanmelden bij het APS (Nicole van den Berg, 030 2856713) of rechtstreeks per e-mail bij het project: sae@bp.com.

Deelname is kosteloos.

### **Science across the World**

Science across Europe is inmiddels uitgebreid tot Science across the World. De wereld is verdeeld in zes regio's: Afrika, Amerika, Latijns Amerika, Midden Oosten, Oost Azië en Europa. Een docent in Nederland kan meedoen aan een unit van bijv. Science in Asia Pacific. De units zijn aangepast aan de plaatselijke omstandigheden of speciaal ontwikkeld. Een voorbeeld is 'Dwellings' van Science across Africa.

### **Inlichtingen**

Inlichtingen over deelname en registratie: APS, Nicole van den Berg, tel. 030-2856713.

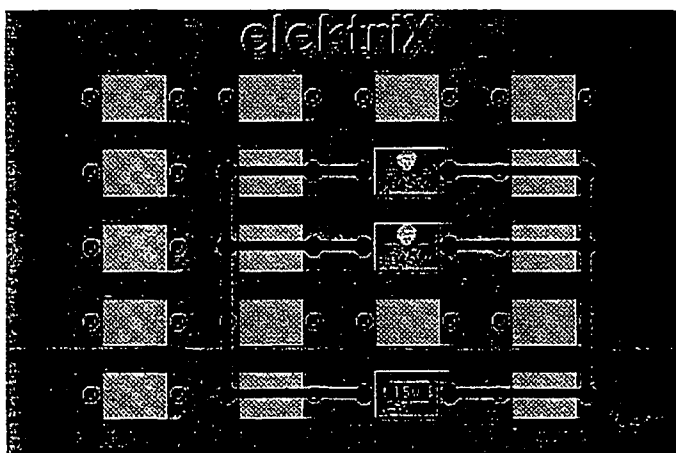


# ElektriX

een simulatie-omgeving op de computer

Werkgroep 34

*C.H.T. Mulder*



## Inleiding

- ElektriX is ontwikkeld op verzoek van de Vereniging DBKna. Zij heeft PRINT/VO bereid gevonden financiële steun te verlenen. ElektriX is ontwikkeld door het Amstel Instituut van de Universiteit van Amsterdam in samenwerking met docenten van de Vereniging DBKna.

In de werkgroep zijn de achtergronden van het simulatieprogramma ElektriX belicht. Het betreft de begripsontwikkeling van elektriciteit in zowel onderbouw als bovenbouw. Na deze inleiding is het programma gedemonstreerd en bediscussieerd. Het programma bevindt zich thans in een fase van uitproberen op de scholen. Een aantal deelnemers aan de werkgroep heeft zich aangemeld als testschool. Het programma wordt te zijner tijd uitgebracht door CMA. De aankondiging zal plaatsvinden via het blad Signaal.

## Elektrix

Het programma ElektriX is een simulatieprogramma over elektrische schakelingen. Het is ontwikkeld voor het onderdeel elektriciteit van het schoolvak natuurkunde in het voortgezet onderwijs. Het is bedoeld voor de basis-

vorming, middenbouw en bovenbouw van mavo, havo en vwo. Differentiatie en aansluiting op de leerboeken is optimaal mogelijk via het samenstellen van projecten op maat.

Er zijn vele redenen geweest om ElektriX te ontwikkelen, zoals

- meer mogelijkheden om begripsproblemen rond elektriciteit aan te pakken
- differentiatie te kunnen toepassen
- practica effectiever te maken
- leerlingen zowel thuis als op school actiever met de leerstof om te laten gaan
- contexten, zoals bijvoorbeeld elektrische apparaten, makkelijker in de klas te halen
- scholen met beperkte faciliteiten voor practica (zowel instrumenteel, als wat betreft technische ondersteuning) te voorzien van een relatief goedkoop practicum dat op veel plaatsen inzetbaar is
- software aan te passen aan de eigen instructies of het leerboek.

In dit artikel willen we iets dieper op ingaan op deze zaken. Wie in het algemeen iets wil weten over de achtergronden en de didactische mogelijkheden van dergelijke simulatiepractica voor natuur/scheikunde verwijzen we naar de publicatie in de PRINT/VO reeks: Computers in de schoolpraktijk nr.31 (Mulder, 1997).

## Begripsontwikkeling

Elektriciteit is een belangrijk onderwerp in het gehele voortgezet onderwijs. In de basisvorming wordt het sterk in het kader van elektrische energie geplaatst. Het is daar gericht op contexten uit het dagelijks leven en van leerlingen verwachten we dat zij praktisch kunnen omgaan met zaken als vermogen, stroomsterkte en spanning. In de middenbouw (mavo plus en derde klas havo/vwo) moeten leerlingen begrippen als spanning, stroom, elektrische

energie en weerstand goed uit elkaar kunnen houden. Grafieken, de wet van Ohm, vermogensberekeningen komen hier langzaam maar zeker aan bod. In de bovenbouw moeten leerlingen een formeler beeld hebben van de elektriciteit.

ElektriX is een programma om leerlingen op elk niveau in het voortgezet onderwijs een goed onderscheid te laten maken tussen de begrippen stroom, spanning, elektrische energie, vermogen en weerstand. Enerzijds simuleert ElektriX een schakelingenbord waarop elektrische componenten kunnen worden geplaatst en bestudeerd, anderzijds kan men ook een model van elektriciteit starten. In de basisvorming ligt de nadruk op het praktisch kunnen hanteren van het schakelingenbord, in de middenbouw visualiseert het model de begrippen. In de bovenbouw moeten leerlingen zowel kunnen redeneren als berekeningen kunnen maken.

Leerlingen hebben veel denkbeelden over elektriciteit. Deze denkbeelden zijn niet altijd even effectief voor de waargenomen verschijnselen en het kunnen verklaren daarvan. Belangrijk bij begripsontwikkeling is altijd dat leerlingen de verschijnselen kunnen bestuderen en allerlei ideeën omtrent verklaringen kunnen zoeken. Zintuiglijke waarnemingen mogen in een goed elektriciteitspracticum niet ontbreken. Een simulatie kan hiervoor geen oplossing zijn. Wel is het zo dat de werkelijkheid vaak weerbarstig is. Batterijen raken leeg, lampjes zijn niet identiek, weerstanden hebben te grote toleranties, noem maar op. Een simulatie, als die goed refereert aan de "ideale" werkelijkheid, kan een oplossing voor deze problemen zijn. Voor het duidelijk maken van begrippen, eigen denkbeelden en die van anderen, is een didactisch storingsvrije leeromgeving gewenst.

De werkelijkheid leent zich meer voor het toepassen van de begrippen. Afwijkingen van het ideale model zijn daar juist interessant, omdat ze het model relativeren. (De meet- en verwerkingsfaciliteiten van Coach Junior lenen zich goed voor deze onderzoeksopdrachten).

Voor begripsontwikkeling hebben leerlingen een omgeving nodig waar ze een redelijke vrijheid tot experimenteren hebben. Ze moeten nu eenmaal hun eigen ideeën kunnen onderzoeken. ElektriX biedt voor elektriciteitspractica een redelijke storingsvrije experimenteeringomgeving. Het experimenteerbord kan door de docent voorzien worden van de benodigde componenten. Hierdoor kunnen leeromgevingen gemaakt worden, aangepast aan het niveau van het gewenste onderwijs.

Behalve het experimenteerbord biedt ElektriX ook een visualisatie van een model ter verklaring van de verschijnselen. In het elektriciteitsonderwijs zijn diverse modellen (analogieën) in omloop, zoals het watermodel, het luchtdruk(spanning)model of het bruine bonen model. Omdat veel van deze modellen niet direct een link gegeven met elektriciteit levert dit wat extra begripsproblemen op. Hierdoor zijn ze wat uit de mode

geraakt. In de DBKna methode van de jaren tachtig kwam het lading(dichtheid)model naar voren, als een model dat leerlingen een goed houvast kan geven om inzicht te krijgen in de te onderscheiden begrippen. Het grote bezwaar toen was, dat het model moeilijk te visualiseren was, want het ging over ladingen die door een schakeling bewegen en verschillen in dichtheid laten zien. Met een computersimulatie is dit wel te doen. We verwijzen hierbij naar het artikel van P.Licht over dit model (Licht, 1987). In het programma Netwerk is voor het eerst geprobeerd de visualisatie van het model op een computer weer te geven. Het model van ElektriX is hiervan afgeleid. Door het toepassen van kleur als een functioneel element is het model in ElektriX een aanzienlijke verbetering.

### **Differentiatie**

Om rekening te houden met verschillen tussen leerlingen is ElektriX zo ontworpen, dat men zowel kan werken met vaste problemen, als met een vrije experimenteeromgeving. Men kan voor elk niveau een eigen omgeving bouwen. ElektriX bestaat dan ook uit zowel een docent/ontwerp-omgeving als uit een leerlingomgeving. De docent biedt de leerling wat hij nodig acht. Omgekeerd heeft een leerling in een "eigen lab" situatie een maximale vrijheid binnen de door de docent aangegeven grenzen. Door middel van projecten kan elke situatie op maat gemaakt worden. De leerling kan alleen of in groepsverband werken, men kan op school werken of thuis bij het huiswerk. Leerlingen die lessen gemist hebben kunnen deze ook thuis of in vrije momenten inhalen.

### **Practica effectiever maken**

Veel practica zijn niet effectief genoeg. De oorzaak hiervan is veelal gelegen in het feit dat het doen van de proeven te dominant is ten opzichte van het doel van het practicum. In veel gevallen zijn practicuminstructies te recept-achtig van structuur. Voor sommige practica is dit verstandig, maar voor andere vormen juist weer niet. Een effectief practicum heeft meer kenmerken dan het uitvoeren van proeven. Van belang is goed duidelijk te maken wat het doel van het practicum is, de resultaten te laten vastleggen en ze te laten verwerken. Practica kunnen we niet op één hoop gooien, er zijn verschillende vormen die elk hun eigen toepassingsgebied hebben. Een vaardigheid als een stroommeter aflezen vereist een andere aanpak, dan leerlingen het begrip stroom bij te brengen. Ook toepassingspractica in de vorm van onderzoeken en technische ontwerpen hebben weer hun eigen didactiek. Een effectief practicum is dus een practicum dat op adequate wijze zijn doel weet te bereiken. ElektriX maakt het mogelijk via de projectstructuur om de verschillende soorten practica te bewerkstelligen. Een paar voorbeelden:

- Vaardigheden-practicum: maken van schakelingen, plaats stroommeter en voltmeter, aflezen van meters.



- Theorie-ondersteunend practicum: simulaties met het model, verduidelijken van de begrippen spanningsverschil, stroom, enz.
- Onderzoek doen: onderzoeksvragen in combinatie met bronnen en open practicumbord. (Bijvoorbeeld: waarom valt het licht uit? Onderzoek naar de belasting van een zekering in een groep. Bronnen: plaatjes en teksten over allerlei apparaten. Simulatie: elektriciteitsbord met diverse apparaten, zekeringen en stroommeters.)
- Technische ontwerpen: op basis van een ontwerp een apparaat bouwen. (Bijvoorbeeld: bouw een variabele spanningsbron die een lampje in lichtsterkte regelt. In teksten en plaatjes probleem uitwerken, op elektriciteitsbord een ontwerp bedenken en maken. Testen van het ontwerp).

In sommige gevallen volstaat bij onderzoek-doen en technisch ontwerpen ElektriX, maar meestal zal men de aspecten van ElektriX willen gebruiken om leerlingen juist voor te bereiden op de werkelijke uitvoering. Zo is bijvoorbeeld bij het ontwerpen van de variabele spanningsbron er niets leuker om deze ook echt te bouwen en uit te proberen.

ElektriX biedt voorzieningen om projecten te maken. Elk project wordt gevuld met activiteiten. In elke activiteit kan men via teksten, plaatjes, foto's, enz. focuseren op de gewenste didactiek. Leerlingen kunnen hun resultaten bewaren, commentaar intypen en deze opnemen in een tekstverwerkingsprogramma voor verslaglegging. Docenten kunnen achteraf dus bekijken wat een leerling gedaan heeft en beoordelen of het practicum wel effectief was.

### Thuis werken

Veel leerlingen hebben thuis de beschikking over een computer. In tegenstelling tot een gewoon practicum kunnen ze een practicum met ElektriX thuis nog eens over doen. Dit is zeker een voordeel als een leerling nog eens reflecteert op het practicum op school. Als het op school niet goed ging, kan het alsnog worden uitgetoetst thuis. Ook maakt ElektriX het mogelijk om theorie, die thuis bestudeerd wordt, te verduidelijken met de modelsimulaties.

### Contexten

Elektriciteit wordt tegenwoordig aangeleerd in contexten. 'Elektriciteit in en rond het huis' is de meest voorkomende context. Door deze context beginnen de meeste leerboeken met de begrippen elektrische energie en vermogen. In de hogere leerjaren komt dan de stroomkring in beeld en het model van elektriciteit. ElektriX houdt hier rekening mee. Behalve de gebruikelijke componenten als spanningsbron, weerstanden, ampèremeter, enz., zijn er ook apparaten opgenomen. Deze apparaten zijn in spanning en vermogen aan te passen. Ook kan de context gebruikt worden door foto's,

tekeningen en digitale videoclips toe te voegen. Voor auteurs en uitgevers, die de context van hun leerboek willen toevoegen, bestaat de mogelijkheid om eigen apparaten op het bord weer te geven. Zij moeten dan contact opnemen met CMA.

### Uitbreiding practicumfaciliteiten

Op veel scholen wordt practicum nog onvoldoende gebruikt als werkvorm. Een beperkt budget en weinig technische ondersteuning zijn hiervan vaak de oorzaak. ElektriX is toepasbaar in een groot aantal lessen en kan voor deze scholen een (relatief) goedkope oplossing zijn, zeker als men kan beschikken over voldoende computers. Dit is meestal het geval in het computerlokaal.

### Aansluiting op het boek

Door projecten te maken kan men ElektriX naadloos laten aansluiten bij het eigen leerboek (practicumboek) of op de eigen instructies.

### Literatuur

- P. Licht (1987). *Een model voor electriciteitsonderwijs*. NVON Maandblad, 12(6), 264-267.
- C. Mulder (1996). *Computertoepassingen bij natuur/scheikunde in de basisvorming*. Uitgave in het kader van de PRINT/VO reeks: Computers in de schoolpraktijk, nr.31. Te bestellen bij het CPS onder bestelnummer 30.344. (f. 12,50 inclusief de software simulatie: Vismeer).

# Het toetsen van ICT-vaardigheden in onderzoek doen

Werkgroep 35

*C.H.T. Mulder*



## **Inleiding**

Het onderwijzen van de ICT-vaardigheden van het kunnen meten en modelleren met de computer staat nog in de kinderschoenen. In het tweede fase project Kamer in het Studiehuis van het APS is dit geprobeerd via het doen van onderzoek. De natuurwetenschappelijke secties van de projectscholen hebben enkele curricula ontwikkeld en uitgeprobeerd. Het toetsen of de vaardigheden ook beheersd worden is voor het vak natuurkunde door het Amstel Instituut (UvA) nader uitgewerkt in een meerkeuzetest en een computertest met IP-Coach4. Deze testen zijn gevalideerd door een groep docenten en op een viertal proefscholen uitgeprobeerd. Thans worden deze testen gebruikt op de projectscholen.

In de werkgroep is een inleiding gegeven over de ICT-vaardigheden en de aanpak in het project Kamer in het Studiehuis (KIS-project). Ook werden de testen toegelicht en bediscussieerd.

## **ICT-vaardigheden en onderzoeksopdrachten**

In het KIS-project hebben we vooral willen aantonen, dat de vakspecifieke ICT-vaardigheden goed aan te leren zijn door ze te combineren met de onderzoeksvaardigheden. Het streven was dan ook om onderzoeksopdrachten te formuleren waarin al deze vaardigheden konden worden geleerd en toegepast.

In het KIS-project was een belangrijke vraag: hoe kunnen we een curriculum maken dat aandacht geeft aan zowel de vakspecifieke ICT-vaardigheden als aan de onderzoeksvaardigheden? Allereerst moet dan de vraag beantwoord worden welke ICT-activiteiten in te passen zijn in de onderzoeksopdrachten.

Als we de onderzoeksvaardigheden groeperen in de blokken ontwerpen, uitvoeren, verwerken en evalueren (zie o.a. Gott, 1995) en de ICT-vaardigheden in de blokken

modelleren, meten, verwerken en presenteren, dan ontstaat de in figuur 1 weergegeven matrix.

Om onderzoek te doen moeten leerlingen in staat zijn om een onderzoeksopzet te ontwerpen. Zij moeten vertrouwd zijn met zaken als onderzoeksvragen, hypothesen, afhankelijke/onafhankelijke variabelen, een goede onderzoeksopzet. Om een gewenst probleem aan te pakken moeten zij met de hen beschikbare theoretische kennis een verklaring of voorspelling kunnen geven.

Als men ICT wil gebruiken kan dit via het opzoeken van informatie over het onderwerp (via cd-roms of Internet). Indien men voor een onderzoek eenmaal de variabelen heeft vastgesteld kan men op basis van de bestaande kennis een model maken op de computer. De computer kan het model doorrekenen en op eenvoudige wijze kan men dan allerlei parameters wijzigen. Via dit simuleren krijgt men meer grip op wat men nu wil onderzoeken en wat op basis van de eigen kennis de te verwachten resultaten zijn.

Hierna maakt men een voorstel voor een experiment dat de eigen beweringen/hypothesen moet testen.

Een experiment uitvoeren met behulp van een computer-meetsysteem betekent bouwen van een experiment, sensoren weten te gebruiken (o.a. ijking) en de software kunnen instellen. Doordat het computersysteem metingen snel omzet naar grafieken kunnen vaak gidsexperimenten gedaan worden. Via deze gidsexperimenten krijgen leerlingen feedback waardoor ze hun opstellingen en meetinstellingen kunnen optimaliseren.

Als men eenmaal de gemeten data heeft, zullen deze bewerkt moeten worden. Computers helpen heel goed bij het maken van tabellen, grafieken en berekeningen. Ook

ICT	Modelleren	Metten	Verwerken	Informatie vergaren, presenteren
Onderzoek doen				
Ontwerpen	Model maken Simuleren			Onderzoeksgebied verkennen via informatie van cd-rom, Internet
Uitvoeren		Metten met computer		
Verwerken	Model en experiment vergelijken		Tabellen, grafieken, berekeningen maken	
Evalueren	Model verbeteren			Rapporteren

Fig. 1

verbanden die men vooraf aan de hand van een model heeft doorgerekend laten zich nu goed vergelijken met de (bewerkte) meetgegevens.

Elk onderzoek behoeft een evaluatie. Men doet uitspraken over betrouwbaarheid en validiteit en men doet voorstellen het onderzoek te verbeteren. Ook voorstellen om het model waar men mee werkte te verbeteren komen aan de orde.

Dit leidt tot de onderstaande lijst van onderzoeksvaardigheden, met de nadruk op meten en verwerken met de computer en modelberekening. De cursief weergegeven vaardigheden zijn de computervaardigheden binnen onderzoek-doen.

#### Ontwerpen

- 1.1 formuleren onderzoeksprobleem
- 1.2 *ontwerpen van een fysisch model op computer*
- 1.3 *uitproberen van het computermodel*
- 1.4 formuleren hypothese
- 1.5 *hypothese uitdiepen via computermodel*
- 1.6 ontwerpen proef (fair test)
- 1.7 ontwerpen observaties/meetprocedure
- 1.8 voorspellen resultaat/*voorspellen resultaat via simulatie*

#### Uitvoeren

- 2.1 observeren, *meten met computer*
- 2.2 experiment opzetten, *het computer meetsysteem*

#### *bouwen*

- 2.3 experiment uitvoeren (*juist software gebruik*)
- 2.4 *resultaten bewaren*

#### Verwerken

- 3.1 *maken, analyseren en aanpassen van tabellen en grafieken met de computer*
- 3.2 *berekeningen met meetgegevens maken met de computer*
- 3.3 *verbanden vaststellen via de computer*
- 3.4 inzicht in nauwkeurigheid
- 3.5 *een model kunnen manipuleren voor experiment/model vergelijking*
- 3.6 formuleren van conclusies (aannames, verklaringen, generalisaties)

#### Evaluatie

- 4.1 betrouwbaarheid vaststellen
- 4.2 *voorspellingen kunnen doen via simulaties van het model*
- 4.3 nieuwe voorstellen doen
- 4.4 *voorstellen om computermodel uit te breiden/aan te passen*
- 4.5 *rapport kunnen maken (printen, model, model-resultaten, metingen)*

Uiteindelijk zullen leerlingen in staat moeten zijn deze vaardigheden toe te passen in de zelfstandige onderzoeksopdracht of bij de nieuwe tweede fase in zowel het profielwerkstuk als in de praktische opdrachten. Met het oog

hierop hebben de scholen gewerkt aan een curriculum zoals weergegeven in figuur 2.

	Aandacht in onderzoeksopdracht	Opmerkingen
klas 4, periode 1	nadruk op meten computer	
Extra bij natuurkunde	leren modelleren	aanleren van deze ICT-vaardigheden
Klas 4, periode 2	nadruk op rol model in onderzoek	
Klas 5, periode 3	hypothesetoetsing via model/experiment vergelijken	
Klas 5, periode 4	informatie via cd-rom en Internet	
Klas 6, schoolexamen	alle ICT- en onderzoeksvaardigheden kunnen toepassen	zelfstandige onderzoeksopdracht profielwerkstuk praktische opdrachten

Fig. 2

### Testen van de ICT-vaardigheden

Voordat leerlingen beginnen aan de zelfstandige onderzoeksopdracht in 6 vwo willen we inzicht krijgen in de mate waarin leerlingen de ICT-vaardigheden beheersen. Het ligt dus voor de hand een test te ontwikkelen voor eind klas 5 of begin klas 6 vwo. Voor de test is de vaardighedenlijst gebruikt. Met andere woorden: de ICT-vaardigheden van meten, verwerken en modelleren zijn uitgesplitst in een samenhangend geheel van subvaardigheden. Op basis hiervan hebben we een meerkeuzetest gemaakt. Veel zaken kunnen met potlood en papier, maar veel vaardigheden kunnen we alleen testen als de leerlingen achter de computer zitten en daar de benodigde handelingen uitvoeren. De totale test bestaat uit veertig items, waarvan er 14 achter de computer gedaan moeten worden. Om een werkbare testsituatie te krijgen maakt de ene helft van de klas de 26 schriftelijke vragen en de andere helft doet de 14 computervragen in het computerlokaal. Na een lesuur wisselt men de groepen. De totale test neemt dus 2 lesuren in beslag. Voorts is ook IP-Coach aangepast met het doel leerlingen steeds in dezelfde testsituatie te brengen. Hiervoor wordt een apart menu geleverd, een subdirectory met data en een IP-Coach waaruit de bewaar-, en dus de overschrijfmogelijkheden zijn verwijderd.

De test is in vier fasen ontwikkeld. De eerste versie is voorgelegd aan docenten en enkele deskundigen om te

bezien of de vragen wel valide zijn. Met een groepje van drie leerlingen zijn de testomstandigheden bekeken. Vervolgens is een tweede versie gemaakt, die met een klas is uitgetest. Op basis hiervan is een derde test ontwikkeld, die op drie niet KIS-scholen is afgenomen. Met de gegevens van deze leerlingen zijn de testvragen aangescherpt. Voorts heeft dit ook een afnameprotocol opgeleverd (wat te doen bij problemen met de computer?). Thans zijn we in de vierde fase. Op zes KIS-scholen zijn/worden de testen nu afgenomen.

### Een voorbeeld uit de computertest

Op de volgende bladzijde staat een opdracht uit de computertest. Om de computervaardigheden in het ophalen en verwerken van meetgegevens te testen moeten de leerlingen met een speciale testversie van IP-Coach een gemeten file ophalen. Ze krijgen dan het computerscherm van figuur 3.

### Literatuur

- W. Bustraan (1997). *Kamer in het Studiehuis, onderzoekend leren bij de natuurwetenschappelijke vakken*. APS, Publishing Service Center, Utrecht. ISBN 90-6607-284-9.
- C.H.T. Mulder (1997). *Modelling and datalogging in investigations*. In: S.Oblak (Ed.): *New ways of teaching physics*, GIREP 1996, pp. 307-311.

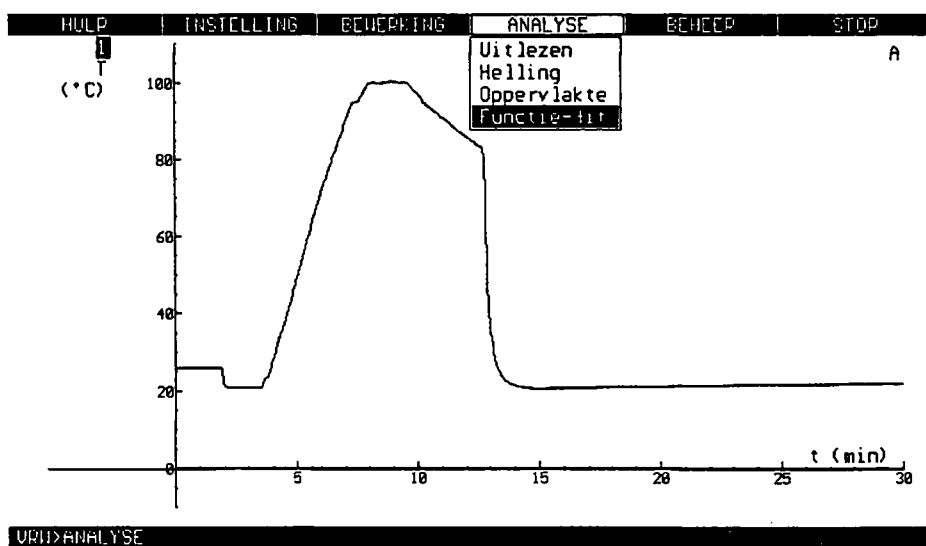
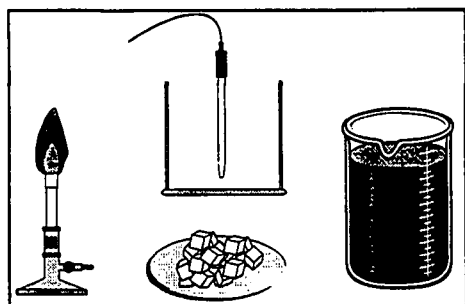


Fig. 3

**Opdracht: blikje**



**Experiment.**

De temperatuursensor hangt in een leeg blikje. In het blikje wordt water uit de koude kraan gedaan. Na verloop van enige tijd wordt het water verwarmd met een bunsenbrander. Deze wordt ook weer weggehaald. Op een gegeven moment wordt ijs toegevoegd aan het warme water. Het programma Multiscope heeft de tijd en de temperatuur geregistreerd.

> Haal in Verwerking de gemeten waarden op (*Combi > BLIKJE*).

6. Hoe hoog is de kamertemperatuur?
  - a. 20,6 °C
  - b. 20,8 °C
  - c. 22,0 °C
  - d. 25,9 °C
7. Wanneer werd de bunsenbrander onder het blikje gezet en wanneer werd deze weer weggehaald?
  - a. begintijd 3,5 min; eindtijd 9,6 min.
  - b. begintijd 3,5 min; eindtijd 8,1 min.
  - c. begintijd 1,9 min; eindtijd 9,6 min.
  - d. begintijd 1,9 min; eindtijd 8,1 min.

8. Bij welke temperatuur van het water werd ijs toegevoegd?
    - a. 95 °C
    - b. 83 °C
    - c. 100 °C
    - d. 20,6 °C
  9. Wat voor temperatuurstijging per minuut veroorzaakte de bunsenbrander tijdens het opwarmen tot 100 °C?
    - a. -5,5 °C/min.
    - b. 13 °C/min.
    - c. 20 °C/min.
    - d. 10,5 °C/min.
  10. Het water heeft enige tijd gekookt. Hoe groot is de oppervlakte onder het kooktraject?
    - a. 728 °C.min.
    - b. 432 °C.min.
    - c. 156 °C.min.
    - d. 788 °C.min.
- > We stoppen nu met **BLIKJE**. Je wist de grafiek en de instellingen door <shift> <F10> te drukken.

# ICT, vaardigheden en zelfstandig leren in het studiehuis

Werkgroep 36

*P. Geerke & J. Louwes*



## **Inleiding**

Zelfstandig leren wordt op school nog vaak improviserend ingevoerd. Door het gemis aan geschikte boeken en faciliteiten op het gebied van informatie- en communicatietechnologie (ICT), door beperking van het gebruik van het practicum en ook soms door te rigide sturing van bovenaf.

Leerlingen dienen meer verantwoordelijkheid te krijgen voor het leren. Daarbij moeten zij wel over voldoende gereedschappen beschikken voor afwisselende werkvormen. Het gebruik van ICT biedt hier oplossingen. Er is immers een verscheidenheid aan software-pakketten en cd-rom's. Uitgaande van de vaardigheden bespreken wij in deze werkgroep enkele mogelijkheden van ICT voor zelfstandig leren. Na een algemeen overzicht gaan wij meer in detail in op de programma's Coach Junior (meten onder Windows), Vismeer (verkennen van onderzoeksvaardigheden), ElektriX (allerhande elektrische schakelingen onder Windows) en Internet (voor onderzoeksoopdrachten en bronnenonderzoek, speciaal in combinatie met meetopdrachten voor Coach).

## **Zelfstandig leren**

In de Tweede Fase dient de school het onderwijs zo in te richten dat leerlingen de leerstof minder gedoceerd krijgen maar zich deze meer zelfstandig en via verschillende wegen, die onder meer bepaald worden door de leerstijl van de leerlingen, eigen maken. Vandaar ook de term Studiehuis. Natuurlijk is het niet de bedoeling de huidige leerstof in bijvoorbeeld een derde van de tijd te doceren waarbij de leerlingen in de resterende tijd zich de besproken stof eigen maken door 'zelfstudie' en door opgaven te maken met als enige houvast de studiewijzer. Leerlingen hebben zich al een beeld van (natuurkundige) verschijnselen gevormd waarbij de eigen verklaring voor

hen goed functioneert terwijl deze fysisch gezien rammelt. Voor het aanleren van begrippen moeten leerlingen de niet-schoolse beelden uit hun eigen leefwereld kunnen vervangen door de fysisch juiste. Experimenten worden daarbij belangrijk geacht. Echter, het practicum als zodanig is wel leuk maar dikwijls niet leerzaam of begripvormend, vooral niet als de proeven als kookboekrecepten worden uitgevoerd. Aan zinvol onderzoek moet enige theorie voorafgaan, de opzet van het onderzoek moet aan een minimale structuur voldoen: doel en onderzoeksvraag formuleren, meetplan opstellen en uitwerken, evaluatie. In de basisvorming wordt dit voorbereid door voldoende tijd te besteden aan de werkvorm 'onderzoek doen'. In de bovenbouw dient onderzoek gebaseerd te zijn op hypothesetoetsing. Een onderzoek wordt vaak bemoeilijkt door de te lastige werkelijkheid. Het practicum resulteert in meer effect wanneer dit gecombineerd wordt met simulaties en gericht is op ontdekkend leren. In simulaties kunnen enigszins geïdealiseerde experimenten worden uitgevoerd. Met simulatie of modellering is een eerste hypothesetoetsing mogelijk en ontstaat een zinvolle sturing van het onderzoeksplan. Het uiteindelijke doel is voorbereiding op een praktische opdracht en profielwerkstuk.

## **Organisatie van ICT-gebruik op lesniveau**

Bij de afdeling Natuurkunde van de Fontys Hogeschool, Tilburg wordt bij een groot aantal cursussen intensief van de mogelijkheden van ICT binnen het zelfstandig leren gebruik gemaakt. Daarbij kan de student tot op zekere hoogte kiezen voor de middelen en de wegen die hij/zij gebruikt om zich begrippen eigen te maken. Die keuze wordt o.a. bepaald door de persoonlijke leerstijl van de student(e). Via soms tamelijk uitgebreide studiewijzers wordt de weg door de stof aangegeven, waarbij ook de diverse mogelijkheden (experiment, meten en verwerken

m.b.v. de computer, simulatie, boek, cd-rom, enz.) worden aangeduid.

De begeleidend docent waakt er voor dat niet steeds dezelfde leermethode (bijv. alleen het boek, dus de theoretische leerweg) wordt gekozen maar dat alle mogelijkheden aan bod komen. Hij kan dat vrij eenvoudig doen omdat de studenten, die in groepjes van 3 á 4 man werken, een dossiermap aanleggen waarin niet alleen staat wat er door wie met welk resultaat gedaan is, maar ook welke weg men bewandeld heeft. Deze map wordt in de practicumzaal, die de hele dag toegankelijk is, bewaard. Deze map is ook voor het groepje zelf een belangrijk communicatiemiddel, omdat binnen zo'n groep een zekere taakverdeling kan worden afgesproken. Als bijv. twee leden van de groep 's ochtends een experiment uitvoeren, dan komt het verslag en de verwerking daarvan in die map zodat de twee anderen uit de groep daar 's middags kennis van kunnen nemen.

### Vaardigheden en ICT-werkvormen

#### Vaardigheidsdoelen uit de eindtermen (havo-algemeen) op het kruispunt van ICT en onderzoek

**Domein A/15**  
informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen, mede met behulp van ICT.

**Domein A/17**  
benodigde gegevens halen uit grafieken, tekeningen, simulaties, schema's, diagrammen en tabellen en deze gegevens interpreteren, mede met behulp van ICT: o.a. het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules.

**Domein A/18**  
gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT.

**Domein A/21**  
informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT.

**Domein A/25**  
gebruik maken van micro-elektronica systemen voor het meten en regelen van grootheden.

Fig. 1

Veel van de in figuur 1 weergegeven vaardigheden die genoemd worden in de eindtermen hebben betrekking op ICT of zijn mede met behulp van ICT aan te leren. Voor het doen van onderzoek (ijken, meten, analyseren, hypothesetoetsing), voor simuleren en rekenen in een realistische situatie, voor raadplegen van bronnen enz. De programma's, genoemd in de inleiding, bestrijken één of meer van deze onderwerpen. Een onderwerp kan zo op verschillende wijze worden geleerd waarbij steeds een beroep wordt gedaan op wisselende vaardigheden. In de matrix van figuur 2 is aangegeven waar van de ver-

schillende ICT-mogelijkheden de belangrijkste toepassing ligt binnen een lessituatie.

	Informatie	Practicum	Lesen	Profielwerkstuk	Ideeen	Analyse
IPC4		X		X		X
Internet	X		X	X	X	
Simulaties		X	X	X		X
Dig. School	X		X	X		
Ond. softw.	.			X		
CD-ROM	X		X	X	X	

Fig. 2

### Besproken toepassingen en gedemonstreerde ICT-gereedschappen in deze werkgroep

- Modelomgeving (IP-Coach4): leegstromend vat
- Interactieve natuurkunde: de slinger en de trillende veer
- Crocodil Clips: parallel/serie schakeling
- Cd-rom Motion: onderzoek aan de bewegingen in de gefilmde werkelijkheid
- Coach Junior: meten, weergeven en rekenen ondersteund met uitleg en opdrachten
- Onderzoeksplan (Vismeer): simulatie van een onderzoek naar vissterfte
- Internet (bronnen): surfen met als vertrekpunt de Onderzoeksvraag van de Maand op <http://www.phys.uva.nl/fnsis/didaktiek/vraaghom/html>

Deze ICT-gereedschappen worden ook besproken in de gezamenlijke nascholing van het AMSTEL Instituut-UvA en de Fontys HS Tilburg: Computertoepassingen en multimedia-gebruik in het zelfstandig onderzoek.

# Onderwijzen van onderzoeksvaardigheden, dat moet je eerst leren

Werkgroep 37

*J. Buning & P. Dekkers*



Deze werkgroep ging in op de vraag: *Hoe ontwerp je een practicum waarin leerlingen onderzoeksvaardigheden leren te gebruiken?* Uit allerhande literatuur blijkt dat het leren en onderwijzen van het doen van onderzoek een eigen didactiek vraagt (Van den Berg en Buning, 1994; Smits, 1997). Bij onderzoeken staat niet zozeer het verwerven van kennis centraal, maar de vaardigheid om een onderzoeksvraag te stellen en te beantwoorden. Het onderwijzen van deze vaardigheden vraagt een rol van de docent die bij dat doel past. Hoe kom je er als docent achter welke vaardigheden essentieel zijn in het doen van open onderzoek, en hoe begeleid je de leerlingen bij het verwerven van die vaardigheden?

Om hierop antwoorden te vinden is aan 15 docenten in de werkgroep een intrigerende gebeurtenis voorgeschoteld, met de opdracht: doe hier eens onderzoek aan. Zo werden ze gedwongen net als de leerlingen het proces te doorlopen van het doen-van-onderzoek.

## **De gebeurtenis: Rollende voorwerpen**

Er liggen allerlei voorwerpen op de tafel, die bij het scheef houden van de tafel beginnen te rollen. Een chaotische gebeurtenis treedt op: de voorwerpen rollen met verschillende snelheid naar beneden. Wat is hier aan de hand? Hier valt wat te onderzoeken.

## **De opdracht**

Ontwerp en voer een onderzoek uit naar aanleiding van de observaties van dit verschijnsel. Volg daarbij de volgende stappen:

- Breng in kaart welke problemen je daarbij *zelf* ontdekt, en hoe je die oplost.
- Het oplossen van die problemen doe je met je vaardigheden. Bepaal welke vaardigheden nodig zijn bij het uitvoeren van deze opdracht.

- Welke van die problemen kunnen leerlingen (bijv. in 4 HAVO) leren zelf op te lossen? De bijpassende vaardigheden zijn voor die leerlingen mogelijke leerdoelen: bepaal die.
- Kies enkele van die leerdoelen en bedenk welke instructies, vragen en opdrachten je zou geven bij de gebeurtenis om er een practicum van te maken waarin die doelen worden bereikt.

## **Ervaringen**

Dit practicum is niet alleen in de werkgroep uitgevoerd, maar ook in het netwerk waarin een aantal scholen participeren met Vakdidactiek Natuurkunde aan de VU. De ervaringen in beide settings bieden suggesties en voorwaarden voor het opzetten van een onderzoekspracticum, waarvan er hieronder een stel volgen.

## **Vorbereiding: richting vinden in je onderzoek**

Dat de gebeurtenis echt intrigerend was bleek wel toen, zowel in de werkgroep als in de klas, leraren en leerlingen direct met veel plezier aan de slag gingen. Daarbij was nog geen sprake van (gericht) onderzoek, maar wel van pogingen om de gebeurtenis te reproduceren en te beïnvloeden. De voor de hand liggende vraag die deze activiteiten beheerste was: waardoor wordt de rolsnelheid beïnvloed? Waar de leraren echter na verloop van tijd hun onderzoek inperkten tot een specifieke vraag, deden leerlingen in de klas dat niet op eigen kracht. In één van de netwerkscholen kwam dat duidelijk naar voren. Na een eerste uitvoering van het experiment bleek dat de leerlingen veel te rommelig hadden gewerkt om goed te kunnen rapporteren en hun bevindingen tegen de kritiek van medeleerlingen te kunnen verdedigen. Dat bood de docent een goede gelegenheid om de leerlingen meer specifieke vragen te laten formuleren en het belang van een precieze



planning te verduidelijken. De combinatie van laten aanrommelen maar dan wel laten rapporteren leidde tot een tweede uitvoering van het onderzoek, waarin leerlingen heel doelgericht aan hun eigen vragen werkten, en waarna ze een heel behoorlijk verslag bleken te kunnen schrijven over hun bevindingen. Eerst wat aanklooiën is dus zo gek nog niet. Of netter gezegd: de uitvoering van een vooronderzoek blijkt een natuurlijke weg te zijn naar een specifieke onderzoeksvraag. In dat vooronderzoek spelen de volgende vragen een rol:

- *Welke grootheden/variabelen kunnen een rol spelen?*  
Dat zijn er nogal wat. Het controleren van deze variabelen is niet gemakkelijk. Daarbij zijn ze ook nogal eens onderling afhankelijk (bijv. het gewicht en de straal van een rond voorwerp). Het kiezen van de variabelen brengt een keuze mee in het type voorwerpen dat wordt onderzocht. In onze opzet hebben we gekozen voor onderzoek naar bollen, ballen, buizen en staven. De reden daarvoor blijkt hieronder.

- *Voor welke van die variabelen wil je het verband met  $v$  onderzoeken?*  
Uit alle mogelijke variabelen kies je de meest veelbelovende, interessante of bruikbare voor verder onderzoek. (Bijvoorbeeld: als je grootte en massa al onderzoekt wordt dichtheid minder interessant, en onderzoek naar de invloed van de kleur van het voorwerp is weinig veelbelovend.) In de klas verdeelden leraren de variabelen over verschillende groepjes, en deed ieder groepje onderzoek naar een of twee specifieke vragen.

- *Welk verband verwacht je te zullen vinden tussen deze variabelen en  $v$ ?*  
Voorspellingen geven richting aan het onderzoek. Daarbij hoort een voorspelling van 'wat beïnvloedt  $v$ ?', maar ook van 'hoe wordt  $v$  beïnvloed?' Immers, als alleen de eerste voorspelling uit zou komen kun je nog niet zeggen dat je het verschijnsel begrijpt. Voorbeelden van specifieke veronderstellingen die onderzocht werden (in telegramstijl): voorwerpen met een grotere massa (straal, dichtheid) rollen sneller, een gevulde bol (staaf) rolt sneller dan een lege bal (buis), alle ballen en/of buizen en/of bollen en/of staven rollen even snel.

De deelnemers aan de werkgroep maakten onderscheid tussen een *onderzoeksvraag*, een *voorspelling* en een *hypothese*. Een *onderzoeksvraag* kan nog erg vaag en open zijn. Bijvoorbeeld: ik ga onderzoeken hoe de snelheid van de massa afhangt. Een *voorspelling* is preciezer, er is een verwachting aan de vraag gekoppeld, maar de voorspelling mag best kwalitatief zijn. Bijvoorbeeld: zware/massieve voorwerpen zijn eerder beneden dan lichte/holle voorwerpen. Een veronderstelling die theoretisch goed onderbouwd is, is een *hypothese*. Er zijn dus best gebeurtenissen waarvoor leerlingen hypothesen kunnen geven, ook al vinden ze het begrip 'hypothese' vaak moeilijk. Voor de rollende voorwerpen kan in principe met de theorie een kwantitatieve hypothese gegeven wor-

den, maar die theorie ligt wel op het niveau van het eerste jaar hoger onderwijs.

De ervaringen laten zien dat het practicum heel geschikt is om leerlingen te leren gericht te zoeken naar een specifieke onderzoeksvraag, omdat heel veel en heel verschillende specifieke onderzoeksvragen hier eenvoudig gevonden kunnen worden.

**Theoretisch intermezzo: hoe zit het precies met die rollende voorwerpen?**

Om uit te zoeken waarvan de rolsnelheid afhangt is een energiebeschouwing handig:

1. Potentiële energie wordt omgezet in kinetische energie en wrijvingsenergie.
2. De kinetische energie is te verdelen in translatie-energie en rotatie-energie.
3. Verwaarlozen we de wrijvingsenergie en nemen we beginsnelheid nul dan geldt dus:

$$E_{\text{pot,start}} - E_{\text{pot,eind}} = E_{\text{transl,eind}} + E_{\text{rotatie,eind}}, \text{ ofwel: } mg\Delta h = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{eind}}^2 + \frac{1}{2} I \cdot \omega_{\text{eind}}^2.$$

( $I$  is het traagheidsmoment,  $\omega$  de hoeksnelheid van het rollende voorwerp.)

4. De rotatie is gekoppeld aan de translatie. Als het voorwerp niet slijpt dan is de translatiesnelheid  $v$  gelijk aan  $\omega R$  (met  $R$  de straal van het voorwerp).

	$E_{\text{rot}}/E_{\text{tr}}$	$E_{\text{rot}}/mg\Delta h$
Bol:	2/5	5/7
Bal:	2/3	3/5
Staaf:	2	1/3
Buis:	1	2

5. Uit 3, 4 en de berekening van  $I$  is de verhouding tussen de rotatie- en de translatie-energie te bepalen. Die hangt af van  $I$ , dus van de massaverdeling van het voorwerp. Hoe groter deze verhouding, des te kleiner de gemiddelde translatiesnelheid, dus des te langer duurt het voor het voorwerp beneden is.

Voor de verschillende voorwerpen is de verhouding rotatie-energie/translatie-energie te berekenen. Zie de tabel. Conclusies:

- als de voorwerpen niet slippen is de bol het eerst beneden, dán de staaf, dán de bal en tenslotte de buis
- de grootte en de massa doen er niet toe, wel de *massaverdeling*. Hoe verder de massa van de rotatie-as af is, des te langzamer rolt het voorwerp naar beneden.

Het rollen van buizen, ballen, bollen en cilinders is vrij gemakkelijk te beschrijven. Bovendien zijn deze voorwerpen gemakkelijk te vinden of te maken m.b.v. conservenblikjes, potten, pingpongballetjes, ballen, wc- of keukenpapier-rollen. Al dit soort voorwerpen zijn er in diverse maten en kunnen gevuld worden met verschillende materialen. Het is daarom te overwegen om het onderzoek tot deze voorwerpen te beperken.

De theorie hoeft natuurlijk niet door de leerlingen afgeleid te worden, en hoeft zelfs niet te worden uitgelegd. Ook is het niet strikt noodzakelijk dat de docent de theorie beheerst. Toch is het wel verstandig als hij/zij voor zichzelf de afleiding maakt. Dat geeft wat meer zekerheid bij de begeleiding en de beoordeling van resultaten.

#### **Uitvoering: je moet natuurlijk wel eerlijk meten.**

*Wat kun je doen om een antwoord te vinden?*

Als je eenmaal een goede vraag hebt gesteld moet je nog een methode en opstelling bedenken om daarop het antwoord te vinden. Zo is het bij de rollende voorwerpen van belang, voorwerpen te kiezen of te maken die passen bij de onderzoeksvraag, en een helling en tijdmeting te kiezen die tot betrouwbare resultaten leiden.

#### *Zorgvuldig meten is van belang*

Bij het vertalen van de onderzoeksvraag in een experimentele opstelling is zorgvuldigheid van groot belang. In dit experiment is het met name belangrijk dat je de variabelen controleert: als je de invloed van X onderzoekt, mag je ook alleen X, en verder geen enkele variabele, veranderen. Alleen als je dit goed doet ben je 'eerlijk' bezig, en dat vergt een zorgvuldig kiezen van voorwerpen en vooraf plannen van metingen. Naast het leren zoeken naar een specifieke onderzoeksvraag is dit het tweede leerdoel waarvoor de rollende voorwerpen volgens ons heel geschikt zijn.

Verder betekent zorgvuldig meten ook rekening houden met onzekerheden, met meetfouten zoals de reactietijd.

#### *Zorgvuldig verslag geven hoort ook bij onderzoek doen.*

Het maken van een verslag hoort ook bij de uitvoering van het onderzoek. Het gaat er immers om dat je voor jezelf en anderen vastlegt wat je gevonden hebt. Nu is onderzoek doen complex en dus lastig, er kan van alles fout kan gaan in de diverse stadia van het onderzoek. Leerlingen (en zij niet alleen) verliezen zich vaak in details en raken dan het overzicht kwijt. Het maken van een verslag wordt dan wel een erg vervelende klus, waar ze zich al gauw met een jantje van leiden vanaf maken. Het schrijven van een verslag is belangrijk, ook omdat juist dan blijkt of er maar wat is aangeklooid, of er wat is vergeten, of er niet veel te veel tijd is gestopt in de verkeerde activiteiten enz. Onderzoeken moet je leren en het verslag helpt daarbij. Zorgvuldig een verslag schrijven dwingt de leerling een overzicht te krijgen van het experiment, na te denken over de opstelling, en na te gaan of de resultaten kloppen met de verwachtingen.

#### **Begeleiding en organisatie**

Het zal nu wel duidelijk zijn dat onderzoeken niet alleen voor de leerling, maar ook voor de docent een leuke en lastige klus is. Onderwijzen van onderzoeksvaardigheden vraagt ook van de docent zorgvuldigheid.

*Sturing is wél belangrijk!* - Dat het experiment in bepaalde opzichten open is en zelfstandig door leerlingen wordt uitgevoerd betekent *absoluut niet* dat je de leerlingen wel

aan hun lot over kunt laten. Integendeel, je zal als docent sterk moeten sturen. Open onderzoek doen is voor de leerlingen een nieuwe taak, waarin richting gegeven moet worden aan het onderzoek door het vinden van een goede vraag, een bruikbare methode, een goed plan voor data-verwerking, enz. De docent moet en kan daarbij helpen. De leerling moet weten waar hij aan toe is en wat er verwacht wordt; een regeltje in de studiewijzer is daarbij echt niet voldoende.

De noodzaak van sturing werd goed gezien door de docenten toen ze in de werkgroep het experiment zelf gingen uitvoeren. Ze realiseerden zich dat leerlingen zo'n open experiment pas aan kunnen als ze al vertrouwd gemaakt zijn met eerlijk meten, het schrijven van een verslag, het maken en interpreteren van een grafiek, en al die andere vaardigheden die bij het doen van onderzoek nodig zijn. Bedenk echter dat je niet alles tegelijk hoeft 'open' te maken. Ons advies: kies een beperkt doel, bijvoorbeeld het leren controleren van variabelen (waarbij hoort: begrijpen waarom je dat doen moet en zelf bedenken hoe). Accepteer dat ook dán nog leerlingen heel wat moeten aanklooien om te leren zorgvuldig en eerlijk te meten.

*Neem er de tijd voor* - Alle drie de groepen in de werkgroep kwamen met schema's van drie of meer lessen om zo'n experiment te doen:

- een gedeelte van een les om wat aan te kloien
- een gedeelte van een les om onder leiding tot een concrete onderzoeksvraag te komen
- een fase om voorwerpen te zoeken of te maken
- een les om het experiment uit te voeren
- een fase om een verslag te schrijven
- een deelles voor nabespreking.

Er zijn allerlei mogelijkheden om dit vorm te geven.

Wedstrijdelementen kunnen ingebracht worden. Het valt aan te bevelen om leerlingen in (niet te grote) groepen (bijv. drietallen) te laten werken. Leerlingen kunnen thuis heel wat doen.

#### **Tot slot**

Het leren van open onderzoek doen is zeker wel mogelijk. Echter, alleen met een zorgvuldige sturing door de docent, zeker in de beginfase, krijg je leerlingen die zorgvuldig zijn in het uitvoeren van hun onderzoek. Leuk is het dan wel!

#### **Literatuur**

Berg, E. van den, en Buning, J. (1994) Practicum, leren ze er wat van? *NVOX*, 19(6), pp 245-249.

Smits, Th. (1997) Kwaliteit van open onderzoek - criteria voor begeleiding en beoordeling. *NVOX*, 22(7), pp. 334-337.

# Natuurkunde Overal in de tweede fase

Werkgroep 38

*E. Wijnhoven & K. Walstra*



De werkgroep werd bijgewoond door circa vijftien deelnemers, merendeels gebruikers van *Natuurkunde Overal*. Tijdens deze werkgroep zijn de verschillende aspecten van een natuurkunde methode voor de tweede fase aan de orde gekomen.

Eugène Wijnhoven gaf een inleiding op *Natuurkunde Overal* in de tweede fase. De volgende aspecten kwamen hierbij aan de orde:

- studielastverdeling voor HAVO en VWO
- uitgangspunten van alle *Overal*-methoden in de tweede fase
- opbouw van *Natuurkunde Overal* in de tweede fase
- zelfstandig werken en vervolgens leren met behulp van de Gidsen (leerlingenhandleidingen) bij de leerboeken
- het gebruik van ICT (cd-rom *Overal Interactief*, IP-Coach, Interactive Physics, Internet) in *Natuurkunde Overal*
- integratie van de natuurwetenschappelijke vakken en, in dit verband, aspecten van gezondheid.

Tijdens de werkgroep zijn gedachten uitgewisseld over verschillende zaken waarmee zowel docent als leerling in de tweede fase te maken krijgt. Zelfstandig leren was daarbij een belangrijk punt van gesprek. Daarnaast sprak één van de aanwezigen, G. Verkerk van de TU Eindhoven, zijn bezorgdheid uit over het ontbreken van een stuk techniek wat leerlingen afdoende voorbereidt op een vervolgstudie in een technische richting in het wetenschappelijk onderwijs. Dit aspect zou onvoldoende in het examenprogramma (en dus uiteindelijk in de nieuwe schoolboeken) tot haar recht komen. Hierover zal in de toekomst nader worden gesproken.

Geïnteresseerden in informatie over *Natuurkunde Overal* kunnen contact opnemen met EPN. Tel.: 030-6359899.

# Coach Junior en het TI CBL systeem

Werkgroep 39

*V. Dorenbos*



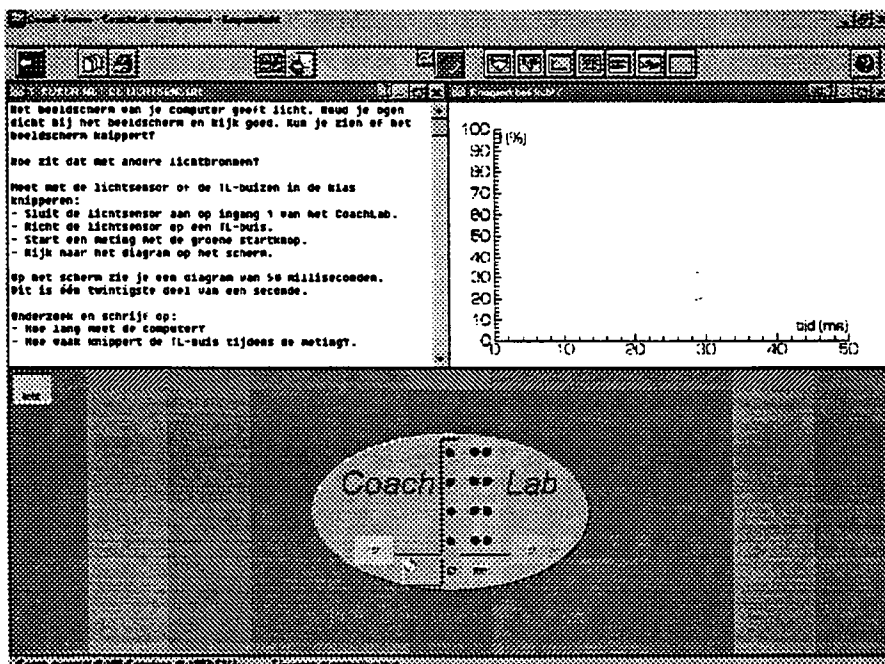
Deze werkgroep over Coach Junior en het CBL<sup>1</sup> systeem van Texas Instruments bestaat uit drie gedeelten:

- Coach Junior
- Het TI CBL systeem
- Coach Junior & CBL

## Coach Junior

Coach Junior is een veelzijdig Windows software pakket om te meten en te sturen. Naast geïntegreerde voorzieningen voor meten, sturen en simpele gegevensverwerking, biedt Coach Junior de docent of leerplanontwikkelaar uitgebreide mogelijkheden om op maat gesneden activiteiten te maken. Deze activiteiten kunnen variëren van zeer gesloten tot zeer open, en zijn binnen het pakket georganiseerd in projecten. Het pakket is met name bedoeld voor leerlingen in de basisvorming.

Coach Junior ondersteunt zo'n tien verschillende interfaces waaronder de UIA- en UIB kaart, CoachLab, de LEGO Dacta Interface en de TI CBL. Alle interfaces kunnen via een realistisch paneel op het scherm bediend worden. U maakt instellingen door sensor of actuator icoontjes van en naar het paneel te slepen. Het pakket bevat een uitgebreide bibliotheek met panelen, sensor- en actuatorgegevens en standaardijkingen. Via enkele muisklikken staat er een grafiek of tabel voor de resultaten op het scherm. Naast real-time meten, is het ook mogelijk om handmatig te meten. De computer wordt dan bijv. alleen gebruikt om de meetgegevens in een grafiek te tekenen, of als 'stopwatch' om metingen tegen de tijd te doen (waarbij de andere grootte handmatig wordt ingevoerd).



Op het scherm kunnen niet alleen meetgegevens weergegeven worden (in grafieken, tabellen, meters of waarden), maar er is ook ruimte voor tekst, plaatjes, videofilmpjes, stuurprogramma's en leerlingaantekeningen. Hierdoor is er veel minder noodzaak voor uitgebreide schriftelijke opdrachten.

### Het CBL systeem

Het CBL datalogger systeem van Texas Instruments wordt geleverd in een handig koffertje tezamen met drie sensoren: een temperatuur-, een licht- en een spanningssensor. Ook is er de CBR<sup>2</sup>: een ultrasone afstandsensor voor de CBL.

De CBL kan bestuurd worden door de TI grafische calculators (TI83 of TI85). Daar is wel wat programmeerkennis voor nodig, zeker om het onderste uit de kan te halen. Programma's kunnen echter ook via Internet *gedownload* worden. In het kader van deze workshop beschouwen we de datalogger echter meer vanuit de mogelijkheden in combinatie met de computer.

De CBL biedt de mogelijkheid zelfstandig (los van de computer) te meten. Dit is met name handig voor langdurige experimenten, experimenten op plekken waar geen computer voor handen is (het 'veld' of dichterbij: de gang op school of een fiets), of bijv. bij experimenten met gevaarlijke stoffen (de computer hoeft dan niet in de buurt te zijn).

Via een verloopstuk zijn ook de meeste CMA sensoren op de CBL aan te sluiten.

Bependingen van de CBL zijn dat er tijdens het meetproces minimale informatie wordt gegeven, dat - in combinatie met de computer - geen *real-time* metingen mogelijk zijn (maar daarvoor zijn andere interfaces beschikbaar) en dat er slechts één meetserie per keer in het geheugen past (in combinatie met de computer). Hierdoor zal de CBL voor echt veldwerk waarschijnlijk niet zo handig zijn, maar er blijven dichtbij de school genoeg leuke toepassingen over.

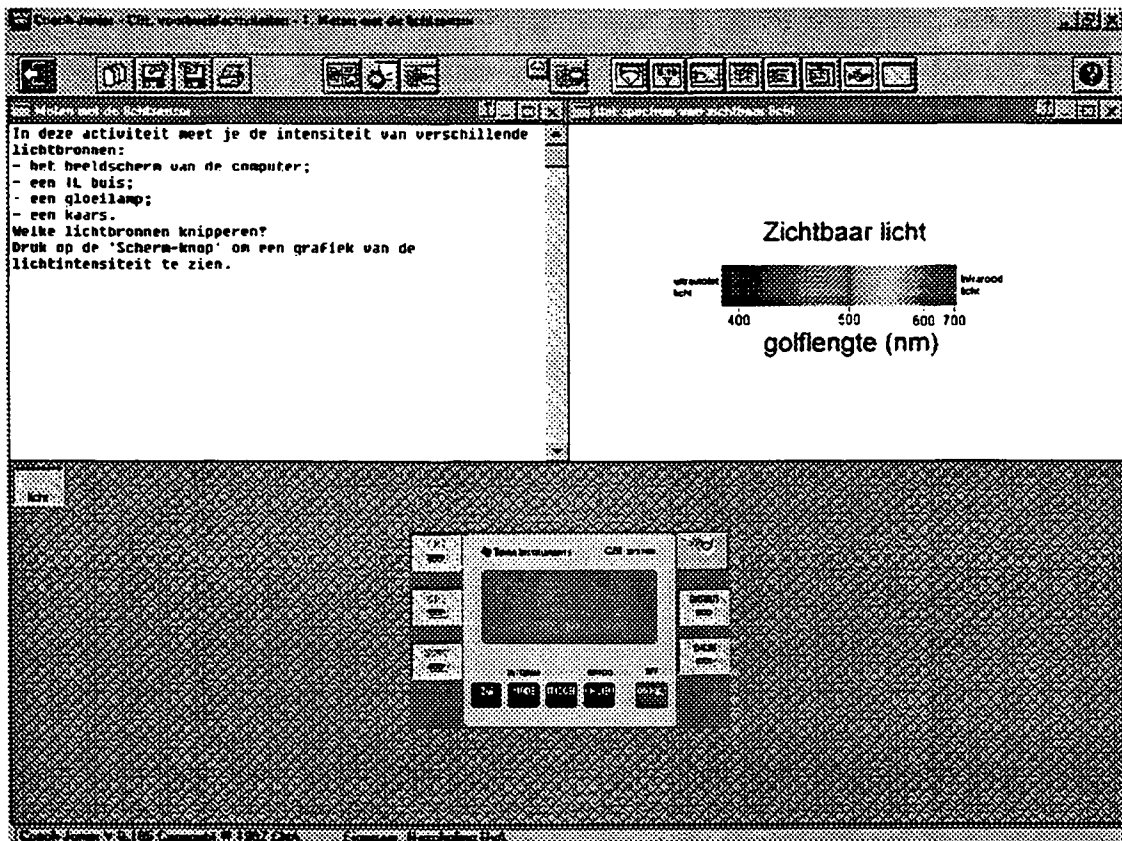
### Coach Junior & CBL

De ondersteuning van de CBL houdt in dat de voorbereide meetinstelling en de sensorijkingen vanuit Coach Junior naar de CBL gestuurd kunnen worden. En dat, na meting, de meetgegevens van de CBL naar de computer geladen kunnen worden om ze weer te geven en te onderzoeken.

Het gebruik van de CBL was tot nu toe nogal omslachtig. Door de koppeling met Coach Junior is dit geen enkel probleem meer.

### Noten

- 1) Calculator-Based Laboratory
- 2) Calculator-Based Ranger





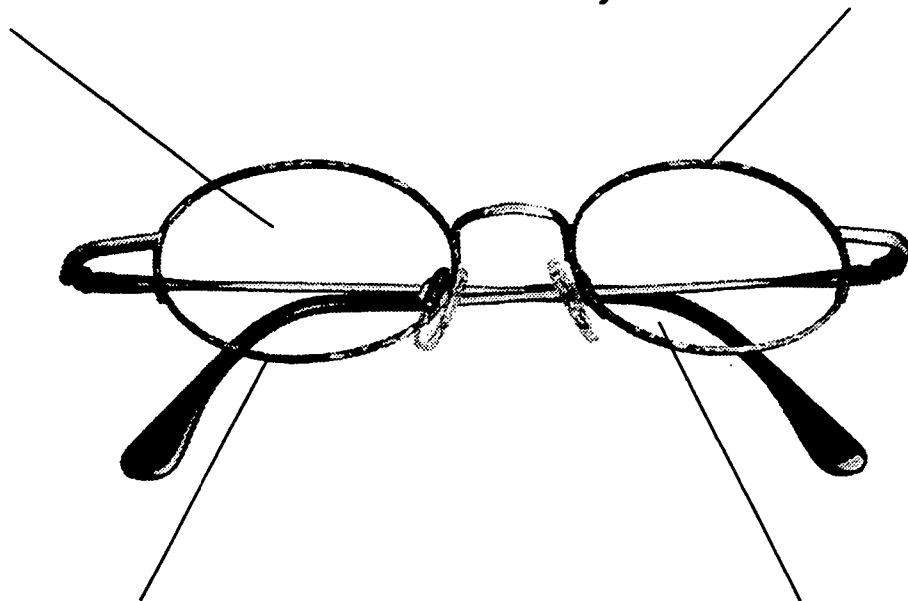
# VIER REDENEN OM EVEN BINNEN TE LOPEN.

## **GRATIS DESKUNDIGE OGENTEST**

Met geavanceerde meetapparatuur wordt in korte tijd vastgesteld hoe de 'conditie' van uw ogen is.

## **KEUS UIT 750 MONTUREN**

De Hans Anders collectie is ongekend breed en gevarieerd, zodat u altijd een montuur vindt dat bij u past.



## **ALLE MONTUREN 75 GULDEN**

Een aantrekkelijk montuur hoeft geen vermogen te kosten.

Dat bewijst Hans Anders al jaren met zijn vaste prijs van 75 gulden.

## **25% KORTING OP HET COMPLETE GLASPROGRAMMA**

Of u nu komt voor Varifocus, extra dunne of meekleurende glazen, bij Hans Anders betaalt u altijd 25% minder.

 **HANS ANDERS**  
OPTICIENS

**Niet alleen de prijs is anders**

**Voor verkoopadressen kunt u gratis bellen met onze  
Klantenservice 0800-0226776**

# A TRADITION OF

## Chronology of Toshiba Medical Equipment Achievements

Since 1914, Toshiba Medical Systems Group has been a leader in the medical equipment field, able to draw upon and integrate Toshiba's diverse technologies in the development of sophisticated products like the total imaging system. By supplementing this bold exploration of technical frontiers with practical insight gained through its interactive relationships with medical practitioners, the Company will continue to develop its ability to respond quickly to, and even anticipate, the ever-changing needs of world health care.

**1914**

- Development of Japan's first X-ray tube.

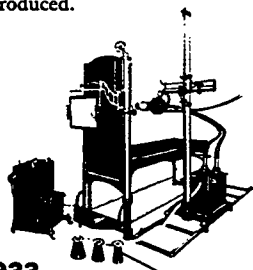


**1919**

- Coolidge tube produced domestically.

**1932**

- Diagnostic X-ray system (Giba-75), with 100mA output pulse, introduced.

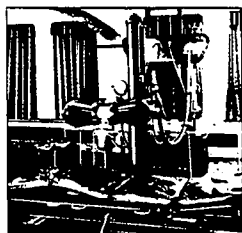


**1933**

- Ink-recording electrocardiograph introduced.

**1934**

- Development of Japan's first X-ray therapy system (KXC-15) completed.



**1939**

- First mobile X-ray equipment in Japan introduced.

- X-ray tomographic system developed.



**1953**

- Cobalt 60 tele-therapy (radio-therapy) equipment RIT-I developed.

**1954**

- Image intensifier completed.

**1955**

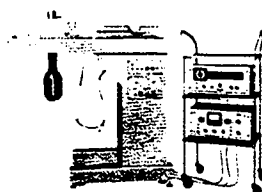
- Diagnostic X-ray fluoroscope with I.I. completed.

**1958**

- Scintillation scanner ML-401 using 2" scintillator developed.

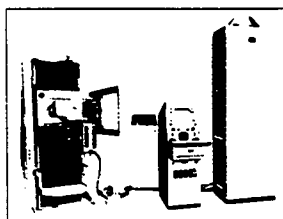
**1959**

- Transistorized electrocardiograph developed.  
- Scintillation scanner RDA-106 developed.



**1960**

- Diagnostic X-ray TV system developed.



**1964**

- First ultrasound diagnostic system STU-1010 for positioning brain surgery developed.

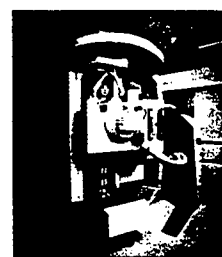
**1966**

- Transistorized sonoscope DOS-001B completed.  
- SSA-01A (A-mode ultrasound system) introduced.



**1969**

- Gyroscopic general purpose X-ray unit developed.



- Toshiba's first gammacamera, GCA-101 developed.

**1970**

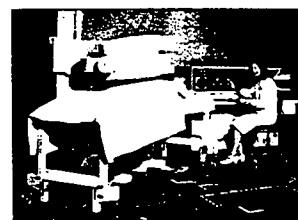
- Nuclear medicine data processing system developed.

**1971**

- Multiphasic health screening system developed.  
- Contact compound ultrasound system, SSL-21A series, introduced.

**1972**

- Mobile mass screening unit completed.  
- Large field gammacamera (JUMBO, GCA-202) completed.



**1973**

- Japan's first real-time mechanical sector system SSL-51H for cardiac study developed.

**1974**

- GCA-40A Jumbo gammacamera with high resolution released.  
- Toshiba Medical Do Brasil Ltda. established.



# PRODUCT EXCELLENCE

## 1976

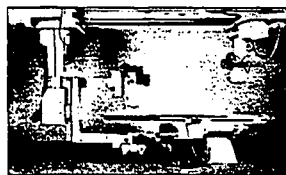
- Electronic linear system SAL-10A developed.



- Toshiba Medical Systems, Division of Toshiba America, Inc. (TAMS) established.

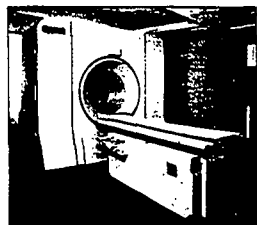
## 1977

- CAS-UA system (Ceiling suspended U-Arm for 35mm Cine angio system) introduced.



## 1978

- Whole body CT scanner TCT-60A released.



- Electronic linear system SAL-20A for abdominal study introduced.  
- Electronic sector system, SSH-10A for cardiac study developed.

## 1979

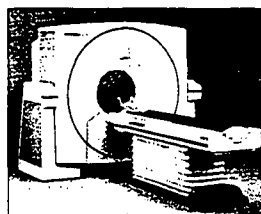
- Toshiba Medical Engineering Center completed.

## 1980

- 9/7 I.I. developed.  
- Medical Division of Toshiba (Australia) Pty. Ltd. established.  
- Prototype MRI scanning succeeded at Tokyo Univ.

## 1981

- Whole body CT scanner TCT-80A developed.



- Toshiba Medical Systems Europe B.V. established.  
- Angiorex U/ $\Omega$  system developed.

## 1983

- Rectangular detector digital gammacamera GCA-90A with SPECT capability released.  
- Digital fluorography system Digiformer-X (DFP-02A) introduced.



- Angiorex CP/ $\Omega$  system introduced.  
- X-ray generator KXO-2050A for angiography released.  
- MRT-15A (resistive system) introduced.



## 1984

- SSA-90A combination system capable of linear, sector, convex and trapezoid scanning developed.  
- Compact electronic sector system SSH-60A for cardiac study launched.  
- TDIS File developed.

## 1985

- Computed radiography (CR) imaging system developed.  
- Medical Engineering Training Center opened.  
- Superconducting MRI system MRT-50A developed.  
- Sipling CT, TCT-900S introduced.  
- Color Doppler system SSH-65A developed.



- Universal type electronic linear/mechanical sector system SAL-38AS developed.

## 1986

- Medical Systems Division of Toshiba of Canada, Ltd established.  
- TCT-300S introduced.  
- Electronic endoscope system EES-50A with CCD camera developed.



## 1987

- SSH-160A Color Doppler system for cardiac study introduced.  
- Digital gammacamera GCA-901A/602A introduced.

## 1989

- Toshiba America MRI Inc. established.

## 1990

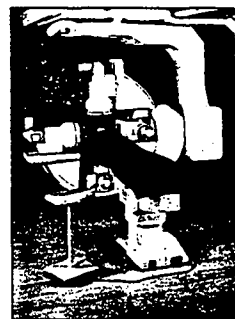
- The three detector-type SPECT system GCA-9300A developed.



- World's first Helical Scanner, TCT-900S/X introduced.

## 1991

- Biplane G-arm system CAS-500A introduced.



## 1992

- Toshiba Medical Systems Academy opened.

## 1993

- CT fluoroscopy on Xpress/SX developed.  
- Digital fluorography system, SDF series with one million pixel CCD digital camera developed.

## 1994

- Flexart jointly developed with TAMI.  
- POWERVISION, fully digital ultrasound system introduced.

# TOSHIBA

Toshiba Medical Systems Europe BV Zilverstraat 1 2718 RP Zoetermeer The Netherlands  
Tel. +31 (0)79 368 92 22 Fax. +31 (0)79 368 94 44 <http://www.toshiba-tice.com>

# Marktinformatie practicummateriaal



**Eurofysica**  
DEN BOSCH

## **Eurofysica en:**

### **Documentatie**

- wij beschikken over een uitgebreid documentatiepakket. Op verzoek sturen wij u graag gerichte informatie toe.

### **Praktikrant**

- wij houden u met onze Praktikrant op de hoogte van nieuwe ontwikkelingen en speciale aanbiedingen. Toezending op uw verzoek.

### **Materiaallijsten**

- wij beschikken over materiaallijsten behorend bij uw methode voor natuur- en scheikunde of biologie.

### **Advies**

- onze medewerkers adviseren u deskundig en uitgebreid, op onze toonzaal of bij u op school, omtrent (her)inrichting van uw lokaal.

### **Offertes en prijzen**

- wij maken voor u een op maat gesneden offerte eventueel in overleg met onze adviseurs.  
- wij hanteren prijzen inclusief BTW

### **NIC Best Deal**

- wij leveren automatisch volgens de Best-Deal-Mantelovereenkomsten van het Nederlands Inkoopcentrum. Deze gunstige condities vindt u terug in de Best Deal map van uw school.

### **Conditie**

- voor scholen die centraal inkopen hanteren wij gunstige condities. Op verzoek willen wij u daar graag over informeren.

## **Natuurkunde**

algemene hulpmiddelen  
demonstratie-apparatuur  
fysische informatica  
meetapparatuur  
practicum-instrumenten  
voedingen

## **Scheikunde**

atoommodellen  
balansen  
chemicaliën en indicatoren  
glaswerk  
hulpmiddelen  
laboratoriumapparatuur  
statiefmateriaal  
veiligheidsprodukten

## **Biologie**

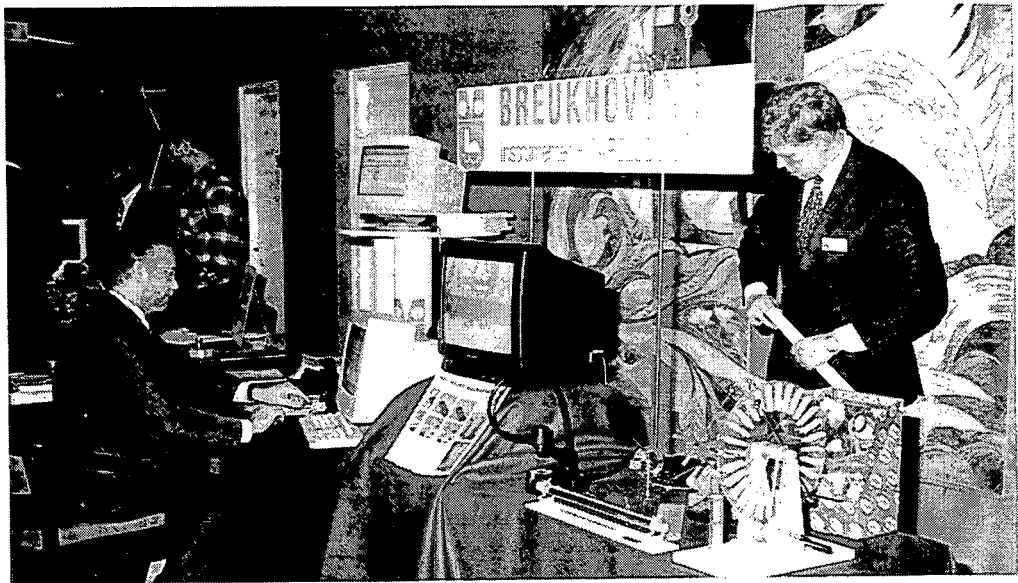
dierkunde modellen  
menskunde modellen  
microscopen  
milieuonderzoek  
oefenpoppen  
plantkunde modellen  
practicum-instrumenten  
transparanten  
videobanden  
wandplaten

## **Wiskunde**

constructie-systemen  
meetinstrumenten  
modellen  
practicum-materiaal  
wiskunde-box

## **Techniek**

besturings-techniek  
elektronica  
gereedschap  
demonstratie-modellen  
pneumatiek



De meest  
trouwe  
deelnemer!

