

WOUDSCHOTEN

'95

Natuurkunde & **Sport**

**VERSLAG
WOUDSCHOTEN CONFERENTIE
1995**

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: H.M.C.Eijkelhof, J.Hellemans, P.J.Wippoo
Typewerk/layout: J.J.Wijnmalen/J.Andriese

Voorwoord

De dertigste Woudschotenconferentie was gewijd aan het thema Natuurkunde en Sport. Gesport werd er weinig door de ruim 500 deelnemers (afgezien van de workshops in het zwembad en met de hometrainers), maar er was wel veel gelegenheid informatie op te doen over mogelijkheden de natuurkundelessen met sportieve contexten te verrijken.

Al tijdens de conferentie werden we benaderd door deelnemers om toch vooral een uitgebreid verslag van de conferentie te publiceren, omdat ze zoveel voor de les bruikbare zaken hadden gehoord dat ze het niet allemaal hadden kunnen opschrijven.

Hier is dan dat verslag met een weergave van de meeste lezingen en werkgroepen. Jenny Andriese heeft hier weer veel werk aan gehad, waarvoor hartelijk dank. Jenny is trouwens tijdens de afsluiting van de conferentie in het zonnetje gezet ter gelegenheid van de twintigste keer dat zij de conferentie heeft georganiseerd. In NVOX 5 van 1996 is aan dit bijzondere feit ook aandacht besteed in een interview met haar. De redactie van dit verslag vond het de moeite waard dit artikel over te nemen.

Helaas liet de turngroep die de afsluiting zou verzorgen het op het laatste moment afweten, zodat we het met video-opnamen moesten doen. Wel echt life aanwezig waren enkele rock & roll acrobaten (bij de afsluiting) en Hester Macrander met een toepasselijke cabaretvoorstelling op vrijdagmiddag (aangeboden door de Werkgroep Vrouwen en Exacte Vakken).

Een grote inbreng in de conferentie werd geleverd door zeven medewerkers van de faculteit Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit te Amsterdam. Wij zijn hen veel dank verschuldigd voor hun bijdrage aan de conferentie.

De Stichting Physica maakte het dit jaar weer mogelijk dat veel studenten de conferentie konden bijwonen. Alle anderen die hebben bijgedragen aan het welslagen van de conferentie: veel dank.

Harrie Eijkelhof
voorzitter WND

Inhoud

Voorwoord
Inhoud
Programma

Lezingen

De conferentievoorzitter gaf een historisch overzicht <i>L.G.R.Mathot</i>	1	15. Open onderzoek, sport en natuurkunde <i>J.Buning & E.van den Berg</i>	69
Mechanica van duursport <i>G.J. van Ingen Schenau</i>	3	16. De koppeling van waarnemen en bewegen: visuele controle van balvangen <i>J.v.d.Kamp & G.Savelsbergh</i>	73
Schaatstocht met de computer <i>J.J. de Koning</i>	7	17. Sport en energie; de ideale combinatie <i>J.Frankemölle & P. van Meeuwen</i>	75
Op eigen kracht de lucht in <i>H.Tennekes</i>	13	18. Vaardigheden ontwikkelen, een goed trainingspro- gramma is nodig! <i>L.Heimel & W.Bustraan</i>	77
Natuurkunde in rolstoelsport? <i>L.H.V. van der Woude & H.E.J. Veeger</i>	15	19. Zelfstandig werken/leren in de bovenbouw-havo/vwo <i>M.Cornelisse & H.Bruijnesteijn</i>	78
Cabaret Hester Macrander <i>C.M.Drukker</i>	29	20. Open onderzoek: tussen pingpongbal en klapschaats <i>Th.Smits</i>	81
Inleiding lezing van Dr.Parker door ... <i>L.G.R.Mathot</i>	31	21. Kernpunt; schooltelevisie voor de basisvorming <i>K.de Waard & M.van Os</i>	84
100 meter sprint: een snelheidsverloop met meerdere dimensies <i>Chr.Delecluse</i>	33	23. Het nieuwe examenprogramma natuurkunde <i>J.Cremers & C.M.Drukker</i>	86
The physics of skiing <i>S.Sjöberg</i>	41	24. Loop naar de maan <i>M.Pieters & A.Teekens-Veldkamp</i>	87
Super fietsen <i>L.J.F.Hermans</i>	45	26. Golven in beweging <i>J.E.M.Heuvel</i>	89
Sportschoenen en biomechanica: enkele principes <i>B. van Gheluwe</i>	49	27. Werken met fysische modellen op de computer <i>C.Mulder</i>	90
 		Uit: NVOX 5, mei 1996	93
 		Marktinformatie	95
 		Lijst van deelnemers	99
Werkgroepen			
2. De wetten van de vliegekunst <i>H.Tennekes</i>	55		
6. Ontdekhoek <i>B.Nagel</i>	57		
7. Modelvliegen op school <i>E.Schouwstra</i>	59		
8. De vermogenfiets <i>S.Verbaenen & J.Moerkerke</i>	61		
9. Eenvoudige elektronica en natuurkunde <i>J.Leisink & J.Michels</i>	64		
12. Biofysica en Sportfysiologie - een spannende work- shop! <i>K.Dolsma & V.Dorenbos</i>	66		
13. De standaard in natuurkunde simulatie software <i>J.Rasenbergh</i>	67		

PROGRAMMA

30e "WOUDSCHOTEN" CONFERENTIE



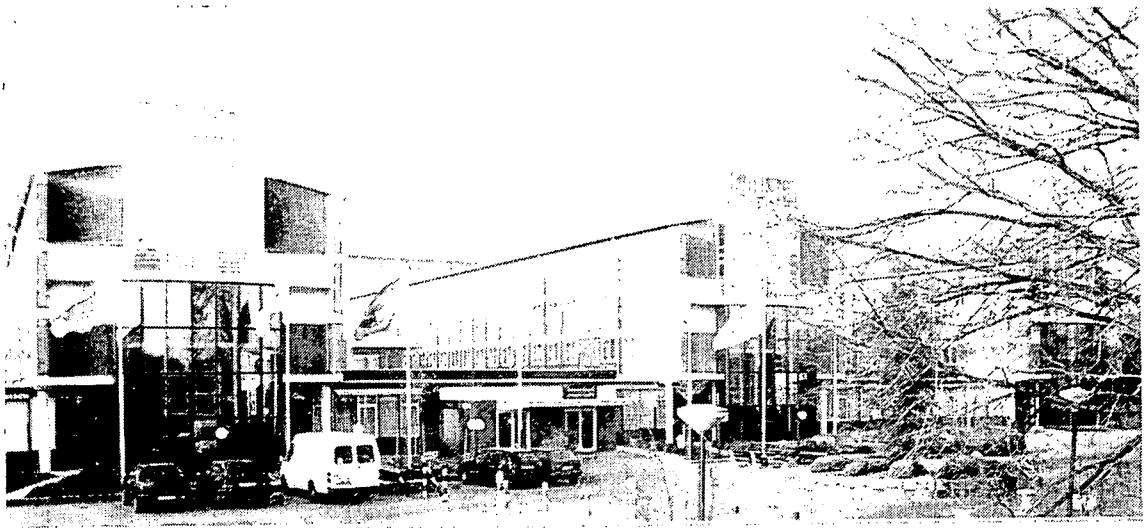
Vrijdag 15 december

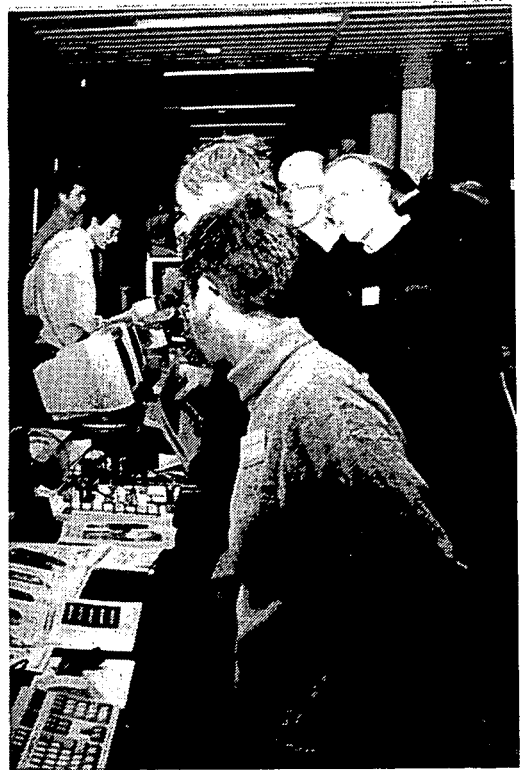
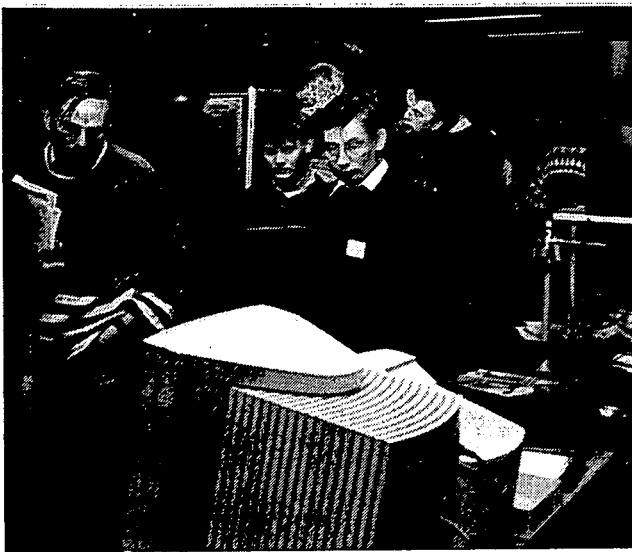
- 12.30 - 14.00 uur** Ontvangst
- 14.00 - 14.10 uur** Opening van de conferentie door de
voorzitter van de Werkgroep
Natuurkunde-Didactiek,
Dr.H.M.C.Eijkelfhof
- 14.10 - 14.20 uur** Informatie over de conferentie door
de conferentievoorzitter,
Drs.L.G.R.Mathot
- 14.20 - 15.20 uur** Lezing door **Prof.dr.G.J. van
Ingen Schenau**: Mechanica van
duursport
- 15.20 - 15.50 uur** Thee
- 15.50 - 16.50 uur** Keuze uit vier lezingen:
- **Dr.J.J.de Koning**:: Een schaats-
tocht met de computer
- **Prof.dr.ir.H.Tennekes**: Op eigen
kracht de lucht in
- **Dr.L.H.V. van der Woude &
Dr.H.E.J.Veeger**: Natuurkunde in
rolstoelsport?
- **Dr.G.Graham**: Studying sports
motion using multimedia methods
- 17.00 - 17.30 uur** Cabaret van Hester Macrander,
aangeboden door de werkgroep
Vrouwen & Exacte Vakken
- 17.30 - 19.15 uur** Diner
- 19.30 - 21.00 uur** Werkgroepen
- vanaf 19.30 uur** Markt

Zaterdag 16 december

- 7.45 - 8.45 uur Ontbijt
- 9.00 - 9.50 uur Lezing door **Dr.K.Parker**: Sport: supporting learning in physics
- 10.00 - 10.50 uur Keuze uit drie lezingen:
- **Dr.Chr.Delecluse**: 100 meter sprint: een snelheidsverloop met meerdere dimensies
- **Prof.dr.S.Sjöberg**: The physics of skiing
- **Dr.P.Hollander**: Zwemmen natuurkundig beschouwd
- 10.50 - 11.20 uur Koffie
- 11.20 - 12.45 uur Werkgroepen
- 12.45 - 13.45 uur Lunch
- 13.50 - 14.40 uur Keuze uit drie lezingen:
- **Prof.dr.L.J.F.Hermans**: Superfietsen
- **Dr.ir.J.A.Keuning**: Zeilen en natuurkunde
- **Prof.dr.B.van Gheluwe**: Sportschoenen en biomechanica: enkele belangrijke principes
- 14.40 - 15.00 uur Thee
- 15.00 - 15.30 uur Plenaire presentatie: Wat kan het menselijk lichaam: rock&roll en acrobatiek
- 15.30 Sluiting conferentie





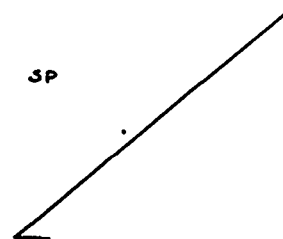


Lezingen

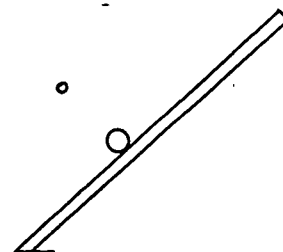
De conferentievoorzitter gaf een historisch overzicht

L. G. R. Mathot

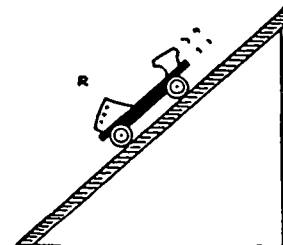
Prehistorie **Frontale lessen met Demonstraties**
'Kreide und Schwamm-periode'
Een S.P. beweegt langs een hellend vlak met $\tan \alpha = \frac{1}{2}\sqrt{3}$.
Opdracht: Bereken de versnelling en maak 5 van dit soort opgaven.



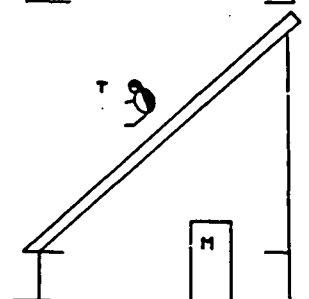
CMLN 1977 **Practicum en Keuzegroepen**
Een object O daalt in een 3,05 m lange goot die een hoek van $41,6^\circ$ maakt met het horizontale vlak.
Opdracht: Doe de proef 5 keer en bepaal de gemiddelde tijd voor de afdaling (in drie cijfers nauwkeurig).



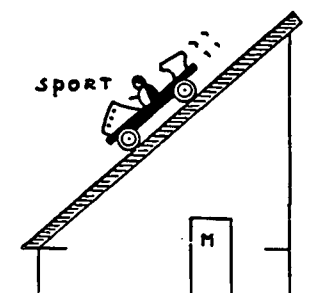
WEN 1993 **Context en Zelfstandige Opdracht**
Een rolschaats R rijdt een plank af, die aan één kant h meter is opgetild.
Opdracht: Onderzoek het verband tussen de eindsnelheid en h en doe dit voor 5 merken rolschaats.



Profiel 1999 **Vaardigheden en Zelfstandig Leren**
In dit *Studiehuis* - een nieuw computerspel - is een mediatheek M verborgen. Klik tutor T aan. Deze leraar-nieuwe-stijl is door functiedifferentiatie te vitaliseren.
Opdracht: Onderstreep het woord 'mediatheek'.

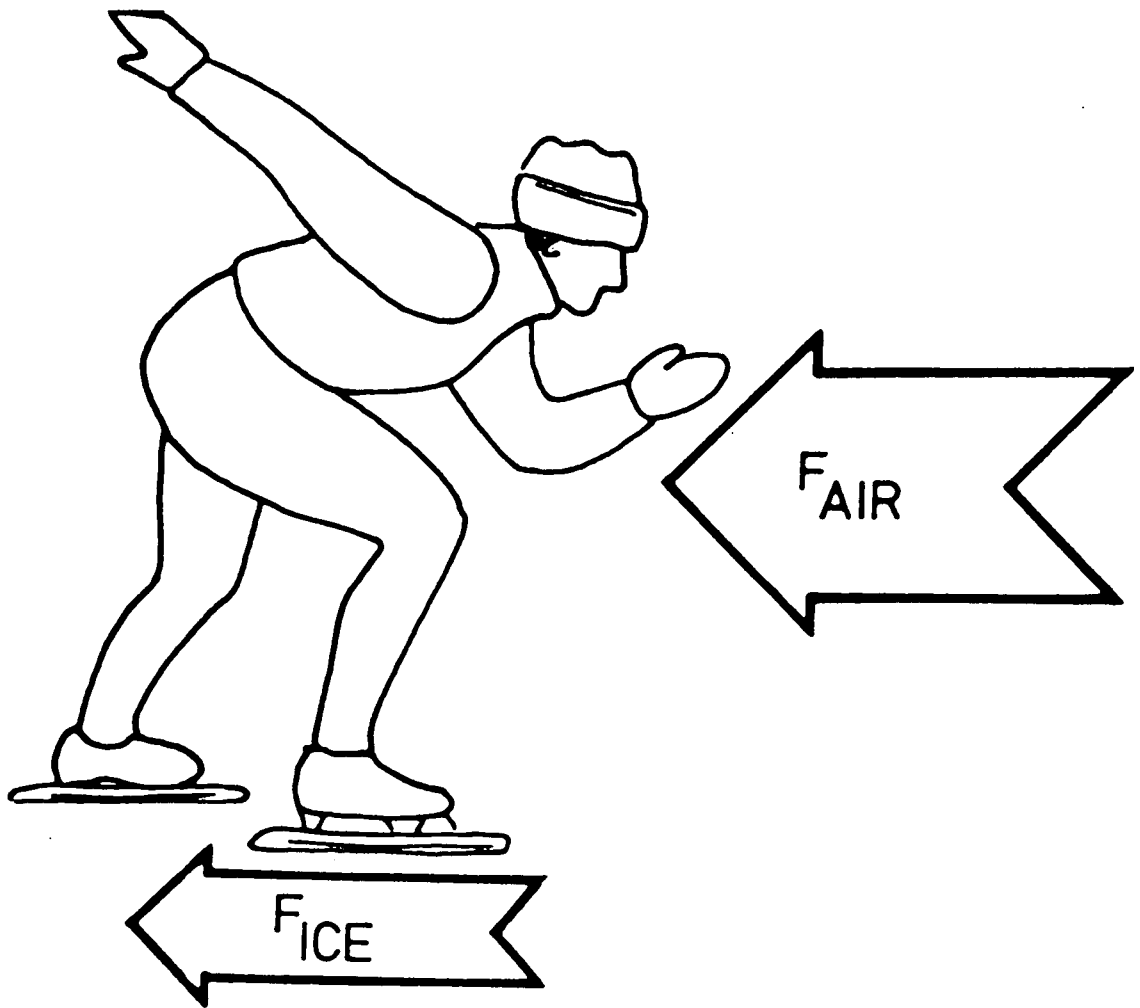


... en ging vervolgens naadloos over op het thema van de conferentie via een constructivistische synthese.



Mechanica van duursport

G.J. van Ingen Schenau



$$P_o - P_f = \frac{dE}{dt}$$

airfriction

icefriction

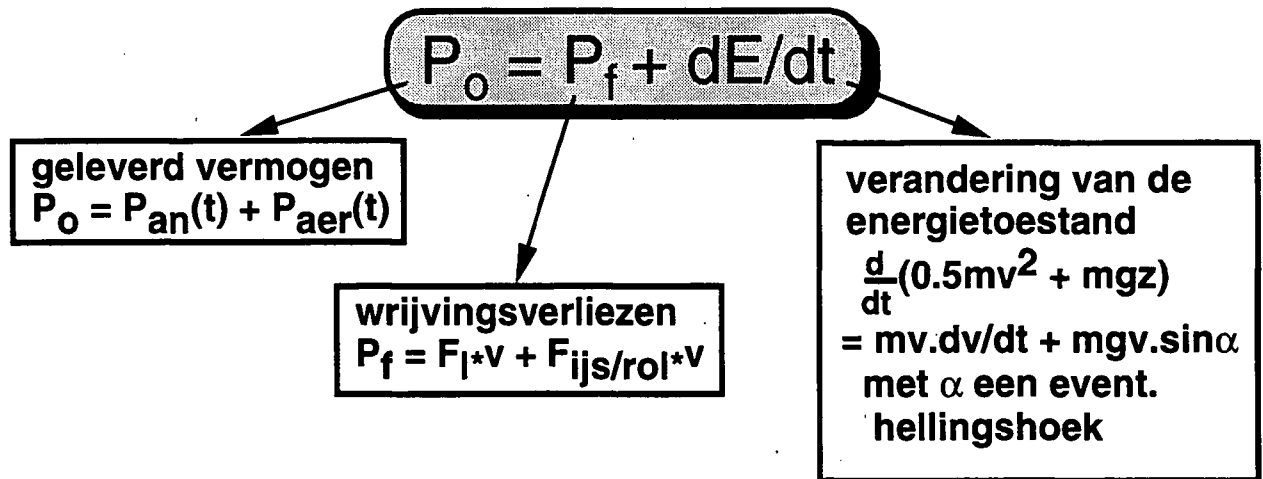
Windtunnel
(van Ingen Schenau, 1982)

measuring skate
(de Koning, 1991)

$$F_{air} = \frac{1}{2} C_d A_p \rho v^2$$

$$F_{ice} = \mu N$$

ALGEMENE VERMOGENSVERGELIJKING VOOR FIETSEN EN SCHAATSEN



Bij een eventuele windsnelheid van Δv geeft dit:

$$P_o = 0.5\rho(v+\Delta v)^2vC_D A_p + \mu Nv + mv \cdot dv/dt + mgv \cdot \sin\alpha$$

Invullen van literatuur)gegevens levert bij een konstant vermogen en een *éénparige snelheid* voor een persoon van 1.80m lengte en 75kg massa en een fiets van 9kg de volgende vergelijkingen:

SCHAATSER: $P_o = 0.15 (v+\Delta v)^2v + 3.75v$

FIETSER: $P_o = 0.19 (v+\Delta v)^2v + 4v + 750v \cdot \sin\alpha$

(van de konstante 0.19kg/m kan 0.15 voor de renner en 0.04 voor de fiets gerekend worden; g is op 10m/s² gesteld)

ENKELE GEGEVENS

$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ bij een luchtdruk van 9987 N/m^2
 Bij hoogte h boven zeeniveau wordt ρ :
 $\rho_h = \rho_0 e^{-0.000125h}$

$$F_l = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A_p$$

Voor fietsen (race houding) en schaatsen ligt A_p in de orde van $0.25 - 0.35 \text{ m}^2$
 Voor hardlopen iets hoger ($\pm 0.5 \text{ m}^2$)

LUCHTWRIJVING

Enkele C_D waarden:

vlakke plaat:	1.27
ronde buis:	1.20
toerfietser:	0.9-1.1
skiër:	0.9
wielrenner/schaatser:	0.7-0.9
vrachtwagen:	0.75-0.85
ligfietser:	0.7-0.8
bol:	0.43
personenauto:	0.3-0.45
racewagen:	0.2-0.25
ovaal(druppel)vorm:	0.15
HPV's:	< 0.15

$C_D A_p$ is afhankelijk van massa en lengte van de schaatser/renner volgens
 $C_D A_p \sim l^3 m$
 met $l=1.80\text{m}$ en $m=75\text{kg}$ als uitgangswaarde

ijswrijvingscoëfficiënt

Afhankelijk van ijskwaliteit, temperatuur, materiaal schenkel.
 Onder goede omstandigheden
 $\mu = 0.003-0.005$

$$F_{\text{rol/ijs}} = \mu N$$

ROL-EN IJSWRIJVING

rolwrijvingscoëfficiënt:

Afhankelijk van bandspanning, bandbreedte en wieldiameter.
 Onder goede omstandigheden:
 $\mu = 0.004$

normaalkracht

ger:iddeld ongeveer gelijk aan de zwaartekracht op het systeem

VOORSPELLINGEN

Procedure:

1. **Neem een gangbare snelheid gerealiseerd onder genoemde condities**
2. **Bereken het daarvoor benodigde vermogen P_0**
3. **Veronderstel P_0 konstant bij gewijzigde condities**
4. **Bereken de nieuwe snelheid en tijd**

EEN VOORBEELD

Effekt van luchtdruk in "Heerenveen"

Stel bij 1000 milibar wordt op de 5000m 7.00 min gereden.
Dan $v = 11.905$ m/s en $P_0 = 297.7$ Watt

Gevraagd wordt de mogelijke tijd bij een depressie van
960 milibar

Hiertoe de luchtwrijvingsconstante aanpassen conform
 $0.15 \cdot 960/1000 = 0.144$

Nieuwe snelheid oplossen: $v = 12.058$ m/s => **5.3s** winst

Enkele andere uitkomsten

- aanschaf (dure) lichtere fiets van 6kg geeft op een horizontale weg slechts 0.15- 0.20% snelheidswinst
Vergelijk: uit een complexer model waarin ook de romphouding zit verdisconteerd blijkt dat 10^0 meer optimale (meer horizontale) romphouding reeds 2.5% winst geeft
- De verschillen in prestatie tussen mannen en vrouwen bij het schaatsen worden voor 70-80% verklaard door een verschil in vetpercentage (respectievelijk 10 en 20%)

Schaatstocht met de computer

J.J. de Koning

Als het een paar nachten gevroren heeft raakt Nederland in de ban van het schaatsen. Er worden schaatstochten uitgezet, wedstrijden georganiseerd en koek en zopies schieten als paddestoelen uit de grond. Na een paar weken flinke vorst, lopen ook de rayonhoofden zich warm. Als vervolgens de dooi invalt gaan de schaatsen weer in het vet en ebt de schaatskoorts weer weg in de vergetelheid. Behalve in een paar verdwaalde computers bij de Faculteit der Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit, want daar wordt het hele jaar door geschaatst!

Het principe

Het kost de schaatser inspanning om met een bepaalde snelheid te schaatsen. Die inspanning laat zich vertalen in de verhoogde activiteit van een aantal lichaamsfuncties. Zo zal het bekend zijn dat bij inspanning het aantal slagen dat het hart per minuut maakt toeneemt en dat er meer lucht wordt in- en uitgeademd. Deze verhoogde activiteit in lichaamsfuncties heeft als doel om de spieren van voedingsstoffen en zuurstof te voorzien. De spieren zijn immers de motoren van het lichaam die het vermogen moeten leveren om vooruit te komen. Waar is dat geleverde vermogen voor nodig? Bij het schaatsen heeft de schaatser vermogen nodig om zijn lichaam in gang te zetten en om (ook bij constante snelheid) de tegenwerkende lucht- en ijswrijvingskracht te overwinnen. Als we even uitgaan van een situatie waarbij de schaatser met een constante snelheid schaatst (dus veranderingen in kinetische energie zijn niet aanwezig), dan moeten de spieren van de schaatser een gezamenlijk vermogen leveren dat gelijk is aan de totale wrijvingskracht die de schaatser ondervindt vermenigvuldigd met de snelheid van de schaatser (vermogen is kracht maal snelheid, $P=Fv$). De spieren van de schaatser zijn gelimiteerd in de productie van vermogen. Het maximale vermogen dat de spieren kunnen leveren hangt af van aanleg en training. Als we weten hoe groot de wrijvingskrachten zijn die op de schaatser werken, kunnen we berekenen hoeveel vermogen de schaatser moet leveren tijdens het schaatsen op een bepaalde snelheid, en andersom, als we het maximale vermogen van de schaatser en de grootte van de wrij-

vingskrachten kennen, dan kunnen we uitrekenen wat de maximale snelheid van de schaatser zou kunnen zijn. Dit noemen wij het principe van de vermogensbalans. De componenten van de vermogensbalans zijn dus enerzijds het vermogen dat de schaatser met zijn spieren kan leveren ($P_{\text{productie}}$) en anderzijds het vermogen dat nodig is om wrijvingskrachten te overwinnen (P_{wrijving}). De vermogensbalans kan dan geschreven worden als:

$$dE_{\text{kinetisch}} / dt = P_{\text{productie}} - P_{\text{wrijving}}$$

In woorden staat hier: De verandering van kinetische energie van de schaatser over een klein tijdsinterval (dt) is gelijk aan het door de spieren geproduceerde vermogen minus het aan de lucht en ijswrijving verloren vermogen. Met andere woorden: bij constante snelheid ($dE_{\text{kinetisch}} / dt = 0$) is de vermogensproductie van de spieren even groot als het verlies aan vermogen door wrijving.

Wrijvingsverliezen

De schaatser verliest vermogen aan lucht- en ijswrijving. De grootte van de lucht- en ijswrijvingskracht zijn bepaald met metingen uitgevoerd door de Faculteit der Bewegingswetenschappen in een windtunnel en met speciaal geconstrueerde ijswrijvingsmeetschaatsen. De luchtwrijvingskracht kan beschreven worden met de vergelijking:

$$F_{\text{luchtwrijving}} = 0.5 \rho A_p C_d v^2$$

waarbij ρ de luchtdichtheid is, A_p het frontale oppervlak van de schaatser, C_d de weerstandscoëfficiënt en v de snelheid van de schaatser ten opzichte van de lucht. Vereenvoudigd kan de luchtwrijvingskracht beschreven worden met:

$$F_{\text{luchtwrijving}} = k v^2$$

waarbij k de luchtwrijvingscoëfficiënt is waarmee de luchtdichtheid, frontale oppervlak en vormweerstand

beschreven is en voor een topschaatser een waarde heeft van ongeveer 0,16 kg/m.

Het is makkelijk voorstelbaar dat de waarde van k beïnvloed kan worden door de schaatspositie. Een schaats-houding met een sterk gebogen rug en een kleine kniehoek geeft een kleinere waarde voor k dan een schaats-houding met een meer verticale romp en een grote kniehoek. Zowel het frontale oppervlak als de stroomlijn van de schaatser worden door knie- en romphoek beïnvloed. Daarnaast is er ook nog sprake van een relatie tussen de windsnelheid en de weerstandscoefficiënt C_d als gevolg van veranderingen in het Reynolds getal.

De wrijving met het ijs is een verhaal apart (zie appendix 'Waarom is ijs glad?'). Als twee voorwerpen over elkaar heen schuiven, zoals bijvoorbeeld de schaats over het ijs, ontstaat er een wrijvingskracht. Deze kracht is gerelateerd aan de kracht waarmee de twee voorwerpen tegen elkaar aangedrukt worden en aan de aard van de contactoppervlakken. Zo wordt de wrijvingskracht ($F_{\text{ijswrijving}}$) beschreven met het product van de wrijvingscoëfficiënt (μ) en de normaalkracht (N) uitgeoefend door de schaats op het ijs:

$$F_{\text{ijswrijving}} = \mu N$$

De aard van de twee contactoppervlakken (het ijs en het metaal van de schaats) bepaalt de grootte van de wrijvingscoëfficiënt (μ).

Om deze constante tijdens het schaatsen te bepalen moeten zowel de verticale afzetkracht, uitgeoefend door de schaatser als de horizontale ijswrijvingskracht gemeten worden. Bij de Vrije Universiteit in Amsterdam is een schaatser ontwikkeld, uitgerust met sensoren, die tijdens het schaatsen deze krachten kan registreren. Een ingebouwde microcomputer berekent de ijswrijvingscoëfficiënt. Uit metingen met deze schaatser blijkt dat de grootte van de ijswrijvingscoëfficiënt varieert tussen de 0,003 en 0,007. De ijswrijvingskracht zal gemiddeld tijdens de glijfase van de slag gelijk zijn aan de normaalkracht vermenigvuldigd met de ijswrijvingscoëfficiënt, waarbij de normaalkracht gemiddeld gelijk is aan de massa van de schaatser (m) maal de gravitatie (g) dus:

$$F_{\text{ijswrijving}} = \mu mg$$

Voor een schaatser van 75 kilogram zal de ijswrijvingskracht gemiddeld variëren tussen 2 en 5 N.

Vermogensproductie

De energie nodig om de wrijvingskrachten te overwinnen moet geleverd worden door de spieren van de schaatser. Spieren kunnen alleen energie leveren als zij via het centraal zenuwstelsel een elektrische prikkel krijgen en daardoor samentrekken. Deze spiercontracties vergen een hoeveelheid metabole energie; energie die vrijkomt door oxidatie van brandstoffen. De omzetting van de via ons voedsel aangevoerde brandstoffen tot de voor de beweging bruikbare energie kan via een aantal verschillende stappen verlopen. Een mens heeft globaal twee energie-

systemen tot zijn beschikking. Een systeem waarbij de omzetting van voedingsstoffen in bruikbare energie plaatsvindt zonder zuurstof, de anaerobe verbranding en een systeem waarbij de omzetting plaatsvindt met zuurstof, de aerobe verbranding. De hoeveelheid energie die beschikbaar komt bij verbranding zonder zuurstof is heel groot, maar kan maar korte tijd worden volgehouden. Deze energievorm is bij uitstek geschikt voor inspanningen van korte duur. De verbranding met zuurstof komt langzamer op gang, geeft minder energie, maar kan veel langer worden volgehouden.

Er zijn verschillende inspanningfysiologische testen waarmee de energie omzetting van deze systemen kan worden gemeten. De meest bekende is de 'maximaal-test' waarbij tijdens een maximale duur-inspanning de uitgeademde lucht wordt geanalyseerd op de hoeveelheid zuurstof en koolzuurgas. De door het lichaam opgenomen hoeveelheid zuurstof en afgegeven hoeveelheid koolzuurgas is een maat voor de omzetting van brandstoffen in energie, door middel van het aerobe systeem. Deze test meet het 'uithoudingsvermogen' van de atleet. De resultaten van zo'n test worden uitgedrukt in liters door het lichaam opgenomen zuurstof, de zogenaamde 'zuurstofopname', de VO_2 met als maximale waarde de VO_2 -max. Goed getrainde atleten hebben een maximale zuurstof opname van meer dan 5 liter per minuut.

Het aerobe systeem heeft tijd nodig om op gang te komen. Na 1 minuut intensieve arbeid, gestart vanuit rust, bedraagt de zuurstofopname ongeveer 90% van de maximale waarde. De kinetica van dit aerobe systeem is te beschrijven met:

$$VO_2 = VO_2\text{-max} (1 - e^{-\lambda t})$$

waarbij λ de tijdconstante is.

Het anaerobe vermogen is moeilijker direct te meten. Een indirecte manier om dit vermogen te meten is een sprinttest op een fietsergometer waarbij het uitwendig geleverde vermogen gedurende de sprint wordt geregistreerd. Dit geregistreerde vermogen vindt zijn oorsprong zowel in het aerobe als in het anaerobe systeem. Het anaerobe aandeel kan bepaald worden door van het totale geregistreerde vermogen het vermogen van aerobe oorsprong af te trekken. Doordat het anaerobe metabolisme zijn piekwaarde heeft in het begin van de sprint, en dan afneemt tot nul, blijkt ook het anaerobe vermogen beschreven te worden door een eerste orde systeem:

$$P_{\text{an}} = P_{\text{an-max}} e^{-\gamma t}$$

met $P_{\text{an-max}}$ de (maximale) waarde op tijdstip $t=0$ en γ een tijdconstante.

De totale vermogensproductie is de som van de aerobe vermogensproductie en de anaerobe vermogensproductie. Dit kan geschreven worden als:

$$P_{\text{productie}} = P_{\text{anaerob}} + P_{\text{aerob}} = P_{\text{anmax}} e^{-\gamma t} + P_{\text{aermax}}(1 - e^{-\lambda t})$$

Functies van deze vorm worden gebruikt om de kinetica van de energiesystemen te beschrijven voor het uitvoeren van de modelsimulaties.

Het model

Voor een beter begrip van de energiestromen bij het schaatsen is het beter om de termen lucht- en ijswrijvingskracht te verlaten en alleen te spreken over het vermogen (kracht maal schaatsersnelheid (v')) nodig om die krachten te overwinnen. Dus:

$$\begin{aligned} P_{\text{lucht wrijving}} &= F_{\text{lucht wrijving}} v' \\ P_{\text{ijs wrijving}} &= F_{\text{ijs wrijving}} v' \end{aligned}$$

Dit benodigde vermogen is sterk afhankelijk van de schaatsersnelheid v' (in het geval van windstilte is v gelijk aan v'). Aan de andere kant is het vermogen wat de schaatser maximaal kan leveren beperkt door de fysiologische systemen van het lichaam. De beperkingen van de vermogensproductie en de snelheidsafhankelijkheid van het vermogensverlies heeft tot gevolg dat er voor iedere schaatser een relatie bestaat tussen vermogensproductie en schaatsersnelheid.

Als de schaatser een bepaalde snelheid heeft, verliest hij dus vermogen aan lucht- en ijswrijving. Als hij de snelheid constant wil houden, moet hij dit bepaalde vermogen leveren. Levert de schaatser meer vermogen als er verloren gaat aan wrijving, dan zal zijn snelheid toenemen tot een niveau waarbij er weer een balans bestaat tussen vermogensproductie en vermogensverlies. En andersom, als de schaatser minder vermogen produceert dan hij verliest, zal zijn snelheid dalen tot een nieuw evenwicht tussen productie en verlies is bereikt. De vermogensbalans is te schrijven als:

$$P_{\text{productie}} - P_{\text{lucht wrijving}} - P_{\text{ijs wrijving}} = d(0,5mv^2)/dt$$

waarbij $P_{\text{productie}}$, $P_{\text{lucht wrijving}}$ en $P_{\text{ijs wrijving}}$ respectievelijk de vermogensproductie door de schaatser en vermogensverlies aan lucht- en ijswrijving zijn en $d(0,5mv^2)/dt$ de verandering in kinetische energie (en dus snelheid) van de schaatser.

Dit uitgangspunt is gebruikt bij het maken van een computersimulatiemodel dat de snelheid en dus de eindtijden van schaatsers op een bepaalde afstand berekent. Voor het berekenen van iemands snelheidsverloop tijdens de race heb je dus informatie nodig over de energieproductie en de wrijvingsverliezen van de schaatser. Deze informatie is verzameld door middel van uitgebreide tests in het laboratorium van de Faculteit der Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit en speciale filmanalyse tijdens het schaatsen.

Een aantal voorbeelden

Hieronder zullen een aantal voorbeelden gegeven worden van berekeningen die mogelijk zijn met de vermogensbalans. In alle gevallen zal uitgegaan worden van een vereenvoudigd model van een standaard topschaatser die een

massa heeft van 75 kg en een zodanige aerodynamische karakteristiek heeft dat zijn ondervonden luchtwrijvingskracht beschreven kan worden met: $F_{\text{lucht wrijving}} = 0,16 v'^2$.

Voorbeeld 1

Welk vermogen moet de schaatser leveren bij het schaatsen op verschillende constante snelheden?

De schaatser moet zowel de lucht wrijving als de ijs wrijving overwinnen. Bij een constante snelheid is het geproduceerde vermogen gelijk aan het aan de wrijving verloren vermogen en dan geldt:

$$\begin{aligned} P_{\text{productie}} &= P_{\text{lucht wrijving}} + P_{\text{ijs wrijving}} \\ P_{\text{productie}} &= kv^2v' + mg\mu v' \end{aligned}$$

waarbij k de lucht wrijvingscoëfficiënt, v de snelheid van de schaatser ten opzichte van de lucht, v' de snelheid van de schaatser ten opzichte van het ijs, m de massa, g de gravitatie en μ de ijs wrijvingscoëfficiënt zijn.

Als we uitgaan van de volgende waarden:

$$\begin{aligned} k &= 0,16 \text{ kg/m} \\ m &= 75 \text{ kg} \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ \mu &= 0,004 \end{aligned}$$

en van windstille omstandigheden ($v = v'$) dan kan geschreven worden:

$$P_{\text{productie}} = 16v'^3 + 3v'$$

Met deze vergelijking is voor iedere rondetijd (lengte = 400 meter) uit te rekenen wat het vermogen is dat de schaatser moet produceren. In de onderstaande tabel is te zien hoe voor aflopende rondetijden (oplopende snelheid) het benodigde vermogen toeneemt. In de laatste twee kolommen is opgenomen wat de percentuele stijging in snelheid en vermogen is ten opzichte van de voorgaande langzamere rondetijd.

rondetijd (s)	snelheid (m/s)	vermogen (W)	toename snelheid (%)	toename vermogen (%)
44	9,09	147,5	-	-
42	9,52	166,8	4,8	13,1
40	10,00	190,0	5	13,9
38	10,53	218,2	5,3	14,8
36	11,11	252,8	5,6	15,9
34	11,76	295,8	5,9	17,0
32	12,50	350,0	6,3	18,3
30	13,33	419,3	6,7	19,8
28	14,29	509,3	7,1	21,5
26	15,38	628,8	7,7	23,5

Uit deze berekeningen blijkt duidelijk dat het voor de schaatser steeds moeilijker wordt om snellere rondjes te rijden.

Voorbeeld 2

Het effect van romphouding op de schaatsprestatie

De aerodynamica van de schaatser wordt sterk beïnvloed door de positie van de romp. Bij een horizontale houding van de romp is het frontale oppervlak (A_f) kleiner en ook de C_d -waarde gunstiger dan bij een meer rechtopstaande schaatshouding. De waarde van k kan dus beïnvloed worden door de positie van de romp. De hoek die de romp maakt met de horizontaal wordt als maat genomen voor de romppositie en is gedefinieerd als de hoek tussen een lijn die loopt van de nek naar het heupgewricht en de horizontaal.

Bij vele high-speed filmanalyses bij topschaatsers is deze positie bepaald. Een romphoek van 15° komt overeen met het schaatsen met een vlakke, horizontale rug. Topschaatsers hebben vaak een romphoek van ongeveer 20° .

Met behulp van windtunnelmetingen is bepaald hoe de relatie tussen de waarde van k en de romphoek er uit ziet. Voor een schaatser van 1.80 meter, 75 kg en schaatsend met een kniehoek van 110° kan de relatie tussen k en romphoek (in graden) geschreven worden als:

$$k = 0.1241 + 0.0021 * \text{romphoek}$$

Als we uitgaan van een situatie waarbij de schaatser een bepaalde hoeveelheid vermogen kan leveren gedurende een bepaalde tijd, zeg 350 Watt, kunnen we de invloed van de romphoek op de snelheid die de schaatser kan ontwikkelen uitrekenen. We moeten dan de volgende vergelijking voor iedere romphoek oplossen:

$$350 = (0,1241 + 0,0021 * \text{romphoek}) v^3 + 3v$$

Derde-machts vergelijkingen zijn niet makkelijk op te lossen, maar met de zogenaamde 'grafische oplosmethode' is het een fluitje van een cent. De vergelijking wordt dan herschreven als:

$$(0,1241 + 0,0021 * \text{romphoek}) v^3 + 3v - 350 = 0$$

en met behulp van een getekende grafiek wordt gekeken waar (bij welke snelheid) deze functie de x-as snijdt. Een andere handig uit te voeren methode is itereren. De snelheid waarbij bovenstaande vergelijking geldt wordt dan verkregen met Newton's iteratieve procedure, welke te programmeren is op iedere computer of rekenmachine:

$$f(v) = (0,1241 + 0,0021 * \text{romphoek}) v^3 + 3v - 350$$

v(1) = startwaarde

for i = 1 to x

$$v(i+1) = v(i) - \frac{f(v(i))}{f'(v(i))}$$

next

Waarbij v(i) de snelheid is op t(i) en f'(v(i)) de afgeleide is van f(v(i)); voor dit voorbeeld:

romphoek = bv. 20;

vermogen = 350;

$$k = (0,1241 + 0,0021 * \text{romphoek});$$

v(1) = 10

for i = 1 to 10,

$$v(i+1) = v(i) - \frac{(kv(i)^3 + 3v(i) - \text{vermogen})}{(3kv(i)^2 + 3)};$$

next

De uitkomst is dan v(10) = 12,35 m/s.

Vervolgens kunnen met behulp van de verkregen snelheden de tijden berekend worden die op bijvoorbeeld de 1500 meter gereden zouden worden.

Resultaten van deze rekenpartij zijn weergegeven in onderstaande tabel, waarin het grote belang van een zo horizontaal mogelijke romphouding zeer duidelijk blijkt.

romphoek	1500 m tijd
0°	1:50.63
10°	1:56.30
20°	2:01.45
30°	2:06.18
40°	2:10.57

Voorbeeld 3

Wat is het effect van luchtdruk op de 1500 meter schaatsprestatie?

Stel dat we uitgaan van de zelfde schaatser als voorbeeld 3:

massa = 75 kg, lengte = 1.80 meter, kniehoek = 110°, romphoek = 15°, $\mu = 0,004$, vermogen = 350 Watt, dan kan de vermogensvergelijking weer geschreven worden als:

$$350 = 0,16v^3 + 3v$$

De waarde van k kwam tot stand vanuit de vergelijking:

$$F_{\text{luchtwrijving}} = 0.5 \rho A_p C_d v^2 = kv^2$$

waarin ρ de luchtdichtheid is. Deze luchtdichtheid is evenredig met de barometerdruk. Er kan dus geschreven worden dat de luchtdichtheid gelijk is aan:

$$\rho = \text{luchtdruk} / \text{standaarddruk} * \rho_0$$

waarbij ρ_0 de luchtdichtheid is bij standaarddruk (1013 hPa). De waarde van k zal dan ook direct afhangen van de luchtdruk, zodat geschreven kan worden:

$$P_{\text{luchtwrijving}} = \text{luchtdruk} / 1013 * kv^2$$

Dit geeft de mogelijkheid om het effect van de luchtdruk op de schaatsprestatie uit te rekenen. Twee voorbeelden: een stormdepressie 960 hPa en een hoge drukgebied 1040 hPa. We kunnen dan op de manier zoals beschreven is in voorbeeld 2 berekenen wat de snelheid is die de schaatser zal halen en zijn tijd op de 1500 meter:

$$960 \text{ hPa: } f(v) = (960/1013) 0.16v^3 + 3v - 350$$

$$1013 \text{ hPa: } f(v) = (1040/1013) 0.16v^3 + 3v - 350$$

dat geeft respectievelijk een tijd van 1:57.95 en 2:01.02, dus een verschil van iets meer dan 3 seconden als gevolg van luchtdrukverschillen.

voorbeeld 4

Met enige creativiteit kunnen er nog tal van voorbeelden verzonnen worden. Eén wil ik u niet onthouden. **Wat kan het effect zijn van de klapschaats?**

De klapschaats maakt het mogelijk om meer spieren te gebruiken tijdens het schaatsen, en de spieren die gebruikt worden op een natuurlijkere, efficiëntere manier te belasten. Dit zal tot uiting komen in de hoeveelheid vermogen die de schaatser kan leveren tijdens het schaatsen. Bij voorzichtige schattingen kan uitgegaan worden van een vermogenstoename van 5 tot 10%. Laten we een rekenvoorbeeld geven van 7,5%.

De hoeveelheid te leveren vermogen is dan niet 350 Watt, maar 376 Watt. De vergelijkingen worden dan (met weer de standaard schaatser):

$$\text{gewone schaats (350 Watt) } f(v) = 0,16v^3 + 3v - 350$$

$$\text{klapschaats (376 Watt) } f(v) = 0,16v^3 + 3v - 376$$

Als we de methoden uit voorbeeld twee het werk weer laten doen, krijgen we de volgende 1500 meter tijden:

$$\text{gewone schaats (350 Watt) } 12,50 \text{ m/s geeft } 2:00.00$$

$$\text{klapschaats (376 Watt) } 12,83 \text{ m/s geeft } 1:56.96$$

De lezer wordt uitgenodigd zelf aan de slag te gaan en zijn eigen wereldrecord te vestigen!!

Iets om over na te denken:

Appendix: Waarom is ijs glad?

Er zijn aanwijzingen dat de lage wrijvingsweerstand bij het schaatsen wordt veroorzaakt door een dunne waterfilm tussen ijs en schaats. De wrijving tussen twee over elkaar glijdende oppervlakken ontstaat immers door adhesie en deformatie van de twee oppervlakken. Een smeermiddel tussen over elkaar heen glijdende voorwerpen scheidt de oppervlakken waardoor zowel de adhesie als de deformatie kleiner worden. Dit heeft een lagere wrijving tot gevolg. Over de mechanismen die het dunne laagje water tussen schaats en ijs doen ontstaan, bestaat echter onzekerheid. De oudste theorie gaat uit van het ontstaan van het laagje water als gevolg van de druk tussen schaats en ijs. Druk verlaagt immers het smeltpunt van ijs met $7,3 \times 10^{-8}$ Kelvin per pascal ($0,0074^\circ\text{C}$ per atmosfeer). Bij voldoende druk kan de ijstemperatuur het smeltpunt benaderen en kan het ijs smelten. Het smeltwater werkt als smeermiddel. De druk onder de schaats is ongeveer $16,5\text{MPa}$, wat een smeltpunt verlaging van $1,1^\circ\text{C}$ tot gevolg heeft. Dit betekent dat bij ijs kouder dan $-1,1^\circ\text{C}$ deze 'druksmeltingstheorie' geen uitkomst biedt. Glijexperimenten met staal over vast koolstofdioxide, ondermijnen eveneens deze aloude theorie. In tegenstelling tot water, leidt verhoging van de druk op vast koolstofdioxide juist tot smeltpuntverhoging. Hoge druk zou dus moeten leiden tot verhoging van de wrijvingsweerstand in plaats van tot verlaging zoals bij het schaatsen over ijs. Proeven laten echter zien dat staal net zo gemakkelijk over vast koolstofdioxide glijdt als een schaats over ijs. In beide gevallen is de grootte van de gevonden wrijvingscoëfficiënt gelijk.

Een andere theorie suggereert dat het ijs smelt als gevolg van de warmte die vrijkomt bij het wrijvingsproces. Het daarbij ontstane waterlaagje zou dan kunnen dienen als smeermiddel. De hoeveelheid energie die vrijkomt bij wrijving is gemakkelijk te berekenen: de wrijvingskracht maal de schaatsnelheid. Het is ingewikkelder te bepalen hoe deze warmte zich verdeelt over de schaats en het ijs. Het metaal van de schaats geleidt de warmte vele malen beter dan ijs. Het merendeel van de geproduceerde warmte zal daarom, via de schaats, worden overgedragen aan de omgeving. Weinig of geen warmte komt beschikbaar om het ijs te doen smelten. Uit berekeningen aan de energiestromen blijkt dat het ijsoppervlak onder de schaats maar enkele tienden van graden in temperatuur kan stijgen. Ook deze theorie geeft dus geen sluitende verklaring voor het ontstaan van water tussen schaats en ijs.

Michael Faraday ontdekte in de vorige eeuw dat ijs een waterig laagje aan de oppervlakte had, zelfs vele graden onder het vriespunt. Recenter onderzoek toont aan dat de asymmetrische omgeving van het ijsoppervlak ervoor zorgt dat de structuur van de oppervlaktelaag verschilt van de structuur van de massa van het ijs. De grenslaag vertoont vloeibare eigenschappen terwijl het toch de vaste aggregatie toestand bezit. Dit 'waterige' laagje zou kunnen dienen

als smeermiddel en de lage wrijving tussen ijs en andere materialen kunnen verklaren.

Over het ontstaan van de 'waterachtige' grenslaag bestaan enkele theorieën. Een simpele en aannemelijke verklaring gaat uit van het streven naar een zo laag mogelijk energieniveau van de oppervlakte grenslaag. Een grenslaag met een laag energieniveau is immers gemakkelijk te vormen en erg stabiel. Er bestaan twee mogelijke toestanden waarbij een grenslaag tussen de lucht met daarin waterdamp en het kristallijne ijs kan worden gevormd. In het éne geval grenst het kristallijne ijs direct aan de lucht en in het andere geval is tussen de gasfase en de vaste toestand de vloeibare fase aanwezig. Bij deze laatste ontstaat dus een waterige grenslaag. Dit blijkt inderdaad energetisch voordeliger, maar de mate van energiewinst is afhankelijk van de temperatuur van het ijs. Volgens metingen is het waterige laagje op het ijsoppervlak vlak bij het vriespunt ongeveer 50 moleculen dik. Bij dalende temperatuur neemt de dikte van het laagje snel af. Het ijs zou dus het beste moeten glijden dicht bij het vriespunt. Het is echter ook bekend dat ijs zachter wordt naarmate de temperatuur dicht bij nul komt. Dit betekent dat de schaats dieper in het ijs zakt en dus een grotere deformatiewrijving zal ondervinden. Dus enerzijds moet het ijs warm zijn om een dikker 'water laagje' te hebben en anderzijds moet het ijs zo koud mogelijk zijn, want dan is het harder.

Uit experimenten met de meetschaats blijkt dat deze twee mechanismen een U vormig verband veroorzaken tussen ijstemperatuur en ijswrijving. De optimale ijstemperatuur voor schaatsen blijkt hierdoor -7°C te zijn. Zowel bij dooiend ijs als bij zeer lage temperaturen neemt de wrijving drastisch toe.

Op eigen kracht de lucht in

H. Tennekes

Zo lang er mensen bestaan, hebben ze gedroomd over de vleugels waarmee ze op eigen kracht zouden kunnen vliegen. In de oude mythen van alle culturen komen zulke verhalen voor. Zo bestaat er in de Griekse mythologie het verhaal van de uitvinder Daedalus, die samen met zijn zoon Icarus door koning Minos van Kreta was gevangen gezet, maar met vleugels van ganzeveren wist te ontsnappen, Icarus was een roekeloze hoogvlieger; hij verongelukte, maar Daedalus bereikte ongedeerd het vasteland, zo gaat althans het verhaal. Ook de dromen van Leonardo da Vinci en de Experimenten van Otto Lilienthal zijn welbekend.

Als er zoveel is gefantaseerd over vliegen op eigen kracht, waarom heeft het dan tot 1977 moeten duren voordat de eerste behoorlijke vlucht met een fietsvliegtuig plaatsvond, en tot 1988 voor de droom van Daedalus eindelijk in vervulling ging? Het probleem was dat niemand zich ten volle realiseerde wat de consequenties zijn van het beperkte menselijke spiervermogen. De toppers onder beroepswielrenners kunnen 400 Watt een uur volhouden, maar amateurs mogen blij zijn met 250 Watt, en dat niet langer dan een tiental minuten. Om daarmee in de lucht te blijven moet een fietsvliegtuig enorm licht, groot en langzaam zijn; voor de hand liggende extrapolaties van voorbeelden uit natuur en techniek lossen dit probleem niet op.

Een zwaan van 10 kilo heeft al 200 Watt nodig in kruisvlucht; als je die tien keer zo zwaar en grofweg twee keer zo snel zou maken, heb je 4000 Watt nodig, ver voorbij de mogelijke prestaties van mensenspieren. In de 17e en 18e eeuw is er met name in Frankrijk veel geëxperimenteerd met overmaatse vogels. Een overmaatse zilvermeeuw is een betere oplossing dan opgeschaalde zwaan, want meeuwen hebben naar verhouding grote vleugels, waarmee ze vrij langzaam kunnen vliegen. Een zilvermeeuw heeft een gewicht W van 10 Newton, een vleugelspanwijdte van 1,40 meter en een vleugeloppervlak S van

0,2 m²; zijn kruissnelheid is 12 m/s. Hoeveel vermogen zou een meeuw van 1000 Newton (100 kilogram) nodig hebben om in de lucht te blijven?

Een mens van 70 kilo met 30 kilo aan vleugels om zich heen (een "realistische" engel, dus) kan zich misschien redden. Ten opzichte van de zilvermeeuw gaat het gewicht W dan een factor 100 omhoog. Het bijbehorende vleugeloppervlak S wordt ongeveer 4,3 m², want oppervlakken gaan als het kwadraat van de afmetingen, maar volumes en gewichten als de derde macht. De spanwijdte wordt op dezelfde manier de derdemachtswortel uit 100 keer zo groot als 1,4 meter, dus 6,5 meter. Geen wonder dat Maria schrok toen de engel plotseling voor haar neus stond; terecht zei de engel "vrees niet" (deze vondst is niet van mij, maar van een workshopdeelnemer). In elk geval, de "vleugelbelasting" W/S wordt ruim 4,6 keer zo hoog als die van de meeuw, en tengevolge daarvan wordt de kruissnelheid geen 12 maar 25 m/s (want door tussenkomst van de wet van Bernoulli gaat de vleugelbelasting als het kwadraat van de vliegsnelheid). Hoeveel luchtweerstand moet tijdens het vliegen overwonnen worden? Een albatros krijgt 20 Newton draagkracht voor elke Newton weerstand; dat is het beste wat de natuur te bieden heeft. Een vliegende mens van 1000 Newton zou op dezelfde basis 50 Newton weerstand hebben. Meeuwen zijn minder verfijnd; die halen maar 12 Newton draagkracht voor elke Newton weerstand.

Hoe dan ook, met een weerstand van 50 Newton en een snelheid van 25 m/s is het benodigde vermogen gelijk aan 1250 Watt, aanzienlijk minder dan voor een opgeschaalde zwaan, maar nog steeds ver voorbij menskracht. Dan moet er maar vanuit een andere invalshoek gedacht worden. Tussen de twee Wereldoorlogen mochten de Duitse vliegtuigbouwers geen oorlogstuig ontwerpen; samen met hun afstudeerders hebben de heren professoren zich toen op zweef- en fietsvliegtuigen geworpen. Zou een ultralicht zweefvliegtuig met een door pedalen aangedreven propellor aan de eisen kunnen voldoen? Zweefvliegtuigen wegen

compleet met piloot al gauw 350 kilo; ze hebben een spanwijdte van 15 meter en een vleugeloppervlak van 11m². Hun snelheid is ongeveer 25 m/s, en ze bereiken 35 Newton draagkracht voor elke Newton weerstand. De Duitsers van 1930 dachten dat ze met behulp van ultralichte constructiemethoden het gewicht wel konden halveren, tot 1800 Newton, en dat ze het vleugeloppervlak wel drie keer zo groot konden maken, dus geen 11 maar 33m². Dan komt de kruissnelheid flink omlaag: de vleugelbelasting wordt 6 keer zo klein en de vliegsnelheid daalt dus met een factor gelijk aan de wortel uit zes, dat is 2,45, van 25 naar ruim 10 m/s. Als je ondanks dat de aerodynamische vormgeving even goed kunt houden vergt het ruim 50 Newton aan weerstand om 1800 Newton aan draagkracht op te wekken. Het benodigde vermogen is dan 10 m/s maal 50 Newton, dat is 500 Watt, twee keer zo veel als beschikbaar. Het is dan ook geen wonder dat de Duitsers het nooit verder gebracht hebben dan een paar teleurstellend korte sprongetjes.

De grote doorbraak kwam in 1975, toen de Californische vliegtuigbouwer Paul McCready zich realiseerde dat je helemaal opnieuw moet beginnen. Als je 250 Watt te verstoken hebt en een luchtweerstand van 50 Newton moet overwinnen, hoe snel mag je dan ten hoogste vliegen?

Dat is mechanica op z'n best: vermogen is kracht maal snelheid; bij een vermogen van 250 Watt en een weerstand van 50 Newton hoort dus een maximum snelheid van 5 m/s (18 km/u; het woord "fietsvliegtuig" is goed gekozen). Het is een kleinigheid om uit te rekenen hoe groot de vleugels moeten zijn die dit voor elkaar kunnen krijgen.

McCready becijferde het op een spanwijdte van 30 meter en een vleugeloppervlak van 70 vierkante meter, toevaltig dezelfde maten als die van onze Fokker Friendship. En dat allemaal voor een leeggewicht van 35 kilogram! Er was een prijs uitgelooft, die op 23 augustus 1977 door het team van McCready werd gewonnen. Twee jaar later, op 12 juni 1979, stak een verbeterd fietsvliegtuig het Kanaal over, van Dover naar Cap Gris-Nez, en op 23 april 1988 ging de droom van Daedalus eindelijk in vervulling: een Griekse wielrenner die vijf jaar lang voor de klus had getraind, vloog toen van Kreta naar Santorini, een eilandje ruim 100 kilometer ten Noorden van Kreta.

Tijdens mijn voordracht op 15 december 1995 heb ik nog diverse andere illustraties gebruikt, waaronder een soort Herzprung-Russell diagram voor alles wat vliegt, van het kleinste insectje tot het grootste vliegtuig. Dat is allemaal terug te vinden in mijn boek "De Wetten van de Vliegkunst", dat is uitgegeven door Aramith in Bloemendaal, ISBN 90 6834 095 6, in elke boekhandel verkrijgbaar.

Natuurkunde in rolstoel-sport?

L.H.V. van der Woude & H.E.J. Veeger

Inleiding

Sport voor minder validen mag zich verheugen in een toenemende belangstelling. Men hoeft slechts terug te denken aan de Paralympics in Seoel (1988) en Barcelona (1992). De verwachtingen voor de Paralympics zijn ook voor 1996 in Atlanta hoog gespannen. Er zijn daarnaast Wereldspelen (zoals in 1990 in Assen) en verder vele toernooien verspreid over de gehele wereld waarin verschillende algemeen bekende sporten op hoog niveau beoefend worden, zoals de Stoke Mandeville Games of de Wheelchair Tennis Tournaments. Met name in de Verenigde Staten is ook de belangstelling vanuit de televisie hoog. Het ooit door Ludwig Guttman in Stoke Mandeville begonnen fenomeen 'sport voor gehandicapten', als een uitvloeisel van het revalidatiehandelen, is inmiddels uitgegroeid tot een niet meer weg te denken elementair onderdeel in het welbevinden van het dagelijks leven en tot een algemeen geaccepteerd veld van onderzoek.

De Nederlandse Bond voor Aangepast Sporten (NEB-AS) vervult als koepelorganisatie zowel naar de sporters toe als in het licht van sportwetenschappelijke flankering een centrale rol (NEBAS 1994). Rolstoel-sporten vormen een voorbeeld van het spectaculaire aanbod van het aangepast sporten: wheelen (snelheidsonderdelen in de atletiek, waaronder sprint en marathon), rolstoelbasketbal, rolstoeltennis en quadrugby. Een optimale prestatie van de rolstoel-atleet combinatie komt tot stand door de atleet fysiologisch maximaal voor te bereiden - het prestatievermogen te maximaliseren - en door het voertuig taakspecifiek in te richten en op de atleet af te stemmen. Hierin spelen principes uit de natuurkunde op zeer diverse plaatsen en wijzen een essentiële rol. Men kan denken aan verschillende elementen uit het biologische systeem, zoals gasuitwisseling en ventilatie, hemodynamica en mechanica van het hart- vaatstelsel, temperatuurregulatie en principes van spieractivatie. In het onderstaande willen wij ons concentreren op elementen die van algemeen belang zijn voor prestatieveranting van de rolstoel-atleet combinatie: vermogensleverantie, aandrijf

techniek, voertuigmechanica en belasting en belastbaarheid.

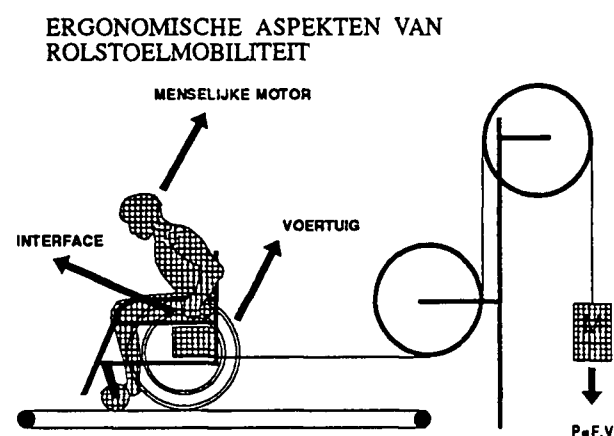


Fig. 1: Rolstoelatleet combinatie op de lopende band

Rolstoelmechanica

Rolstoelrijden is een betrekkelijk zware en inefficiënte vorm van voortbewegen door de complexe bouw van de armen en de nogal geringe spiermassa die er bij is betrokken. De prestatie van de rolstoelsporter is primair afhankelijk van de mechanische verliezen die de rolstoel-atleet combinatie ondervindt tijdens het rijden én van het prestatievermogen van de rolstoelatleet zelf. Aan de hand van een vermogensvergelijking worden die aspecten uit de mechanica toegelicht die voor de rolstoel en de omgeving, waarin men rijdt, een rol spelen. Aan de orde komen rolwrijving, luchtwrijving en interne wrijvingsverliezen.

De belasting voor de rolstoelatleet wordt bepaald door de voertuigtechnische eigenschappen van de rolstoel en de omgevingsomstandigheden en de aard en afstemming van de interface (Figuur 1). In de praktijk zijn, vooral door het gezonde verstand en door ondervinding, de eenvoudige voertuigtechnische wetmatigheden in de rolstoelvormgeving doorgevoerd. Dit heeft geleid tot aanmerkelijke mechanische en ergonomische verbeterin-

gen en tot sport-specifieke rolstoelmodellen: zoals basketbal-, tennis-, quadrugby-, race- en dansrolstoelen (Breukelen 1993). Taakeisen - snelheid, wendbaarheid, reikmogelijkheid, stabiliteit en onderlinge combinaties hiervan - staan voorop in de verschillende designs (Axelson 1995).

De Omgeving

Omgevingsfactoren zijn zeer direct van invloed op de bewegingsvrijheid van de rolstoel-atleet combinatie door de wrijving van de vloer en door de luchtweerstand. Naast de wrijvingskenmerken van de rolstoel bepalen deze de totale uitwendige kracht die de rolstoel doorgaans afremt. De weerstandskrachten zijn bepalend voor de ervaren zwaarte van het rolstoelrijden: de functionele belasting (o.a. de hartfrequentie, energieverbruik) neemt voor de gebruiker toe als de uitwendige weerstandskrachten groter worden. Een manier om de prestatie van de rolstoelatleet te verbeteren ligt dus in een vermindering van die weerstandskrachten.

Uitwendige belasting

Rolstoelsport kan worden gezien als een enkele rolstoeltaak. Het ligt echter meer voor de hand hierin deeltaken te onderscheiden en afzonderlijk te bestuderen. Men kan hierbij denken aan recht-uit rijden, draaien/keren, heuvel-op en afrijden, het maken van een 'wheele', maar ook de transfer van en naar de rolstoel. Uitgangspunt is, dat deze bewegingshandelingen zo min mogelijk energie kosten. Het gemak waarmee de atleet de rolstoel aandrijft, hangt af van - de grootte van de weerstandskrachten die werken op de rolstoel - rolwrijving (F_{rol}), interne wrijving (F_{int}), luchtweerstand (F_{lucht}) en tegen de zwaartekracht bij helling-op rijden ($F_{helling}$), te overwinnen door de atleet bij het verplaatsen (Figuur 2).

Benedik et al (1978) waren een van de eersten die de taaklast van rolstoelgebruik hebben gekwantificeerd door het bepalen van de weerstandskrachten via het uitvoeren van sleepproeven op een lopende band. Deze techniek wordt experimenteel veelvuldig toegepast in combinatie met rolstoel-inspanningsproeven op een lopende band (Woude et al 1986).

Het totaal van de energieverliezen of het uitwendig te leveren vermogen (P_o) bij rolstoel rijden is te vatten in de volgende vermogensbalans:

$$P_o = (F_{rol} + F_{int} + F_{lucht} + F_{helling} + ma).v \text{ (W)},$$

waarbij $F_{helling}$ gelijk is aan $mg \cdot \sin(\alpha)$, v de actuele snelheid van de rolstoel, terwijl ma het vermogen is dat extra wordt geleverd door de atleet om de rolstoel te versnellen. De som van de weerstandskrachten ($F_{rol} + F_{int} + F_{lucht} + F_{helling}$) wordt wel de rijweerstand genoemd (F_{drag}) en is bepalend voor de snelheid en wendbaarheid tijdens het rijden. Het vermogen (het produkt van geleverde uitwendige kracht en snelheid) voor de overwinning van de rijweerstand wordt uitgedrukt in Watt (W) en is dan:

$$P_o = F_{drag} \cdot v \text{ (W)}.$$

De waarde van de rijweerstand wordt empirisch bepaald door sleep- of duwproeven (Frank en Abel 1993). In Figuur 3 is een sleepproef weergegeven, waarbij de rolstoel-atleet combinatie passief is gekoppeld aan een krachttransducer. De band van de lopende band draait onder de wielen door. Het zal duidelijk zijn dat deze term bij rolstoelrijden zo laag mogelijk behoort te zijn. Energie van de atleet wordt dan 'uitgespaard' en kan worden aangewend voor een hogere snelheid of om een grotere afstand af te leggen. Deze sleep- of duwproeven kan men gebruiken om eigenschappen van rolstoelen onderling te vergelijken of om bijvoorbeeld vloercharacteristieken te bepalen. Materiaal met de laagste weerstand is in het algemeen het meest geschikt voor hoge snelheden. Deze metingen vereisen echter nauwkeurige apparatuur en een

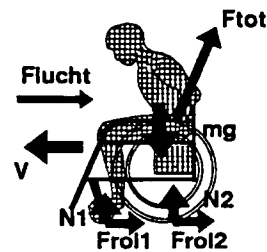


Fig.2: Krachten die op rolstoel-atleet combinatie aangrijpen

en een hoge graad van standaardisatie van de meetcondities, waaronder die van de rolstoel en de vloercondities. Ook kan men gebruik maken van een hellingbaan waarop de rolstoel vrij kan uitlopen. Met de bepaling van de snelheidsverandering op het horizontale deel na de helling kan de rijweerstand bepaald worden. Dit vereist echter weer nauwkeurige bepaling van de snelheid. Voor een bespreking van methoden van meten van de rijweerstand van rolstoelen verwijs ik naar o.a. Benedik et al 1978, McLaurin et al 1981, Woude et al (1986) en Frank en Abel (1993).

Wheelchair dragtest on a treadmill

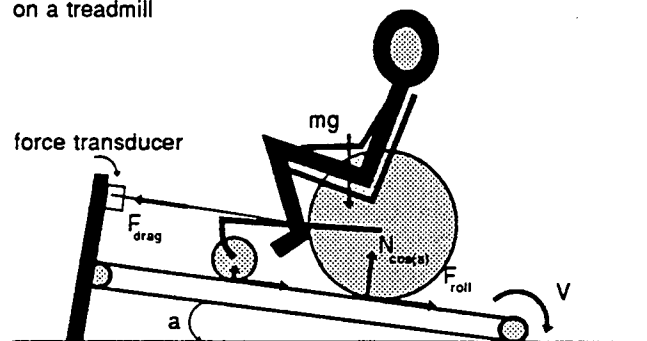


Fig.3: Sleepproef op een lopende band voor de bepaling van de weerstandskracht F_{drag} en het uitwendig vermogen ($F_{drag} \cdot v$)

Het vermogen dat de gebruiker overdraagt op het aandrijfsysteem dient in de tijd gelijk te zijn aan de som van de weerstandskrachten P_o anders vertraagt de rolstoel. Dit vermogen wordt natuurlijk in het lichaam vrijgemaakt uit de energiedepots in het lichaam die zorgdragen voor spiercontracties. De spier verkrijgt de 'brandstof' (zuurstof) door aanvoer via de bloedbaan, die het uit de longen 'afhaalt'. De gezamenlijk samen trekkende - maar onderling nauwkeurig afgestemde - spieren van de arm en romp zorgen vervolgens voor versnelling van de hand en krachtleverantie op het aandrijfsysteem. Het proces dat plaats vindt is uitermate complex en verloopt onder aansturing van het brein.

Het resultaat is een uitwendige kracht F_{α} - bijvoorbeeld op een hoepel (Fig.2) - die slechts één effectieve component heeft F_m , welke loodrecht staat op de straal r vanuit de as van het wiel naar de hoepel.

Hieruit is het moment M af te leiden, $F_m \cdot r$, het aandrijfmoment. Uit het momentane product van M , en de hoeksnelheid ϕ , is het momentane geleverde vermogen P_t af te leiden:

$$P_t = M_r \cdot \phi \quad (W)$$

Hieruit kan het gemiddelde vermogen worden afgeleid. Het gemiddelde vermogen P_m kan ook worden afgeleid uit het product van de arbeid per duwfase A en de duwfrequentie f

$$P_m = A \cdot f \quad (W).$$

Rolwrijving

Van de op de rolstoel aangrijpende krachten (Fig.2) is de rolwrijvingskracht onder dagelijkse gebruiksomstandigheden (dus bij lage snelheid) de meest belastende factor. Deze wordt vooral bepaald door de zwaartekracht die middels het gewicht van de gebruiker plus rolstoel op een vlakke weg via de normaalkracht N op de rolstoel inwerkt. Rolwrijving (F_{rol}) wordt dus beïnvloed door het gewicht van de rolstoel en van de atleet, maar ook door de wieldiameter r , en de vloer- en bandkarakteristieken (loopvlak, bandspanning) en de afstelling van de loop van de wielen middels μ (zie tabel 1).

$$F_{rol} = \mu \cdot N \quad (N).$$

Rolwrijving is voor 90% het gevolg van hysteresis: energieverlies als gevolg van vervorming van band- en vloermateriaal tijdens het rollen over de (oneffenheden van de) vloer. Slechts 10% wordt geacht het gevolg te zijn van microslip (Kauzlarich en Thacker 1985). Een gedetailleerde bespiegeling omtrent rolwrijving wordt verder gegeven door Higgs (1994). De conclusies die ondermeer op grond van zijn betoog te trekken zijn:

- hoe groter de wielen hoe lager de rolwrijving
- hoe lager het gewicht hoe lager de rolwrijving
- rolwrijving op een harde ondergrond neemt af naarmate de bandspanning toeneemt;

• op een 'zachte' vloer ligt het ingewikkelder: er lijkt een optimum bandspanning te zijn (5-6 bar). Hoe harder een band, des te meer deze in de vloer 'snijdt'.

Een zachte band heeft per definitie een groot contactvlak met de vloer dus een hoge weerstand.

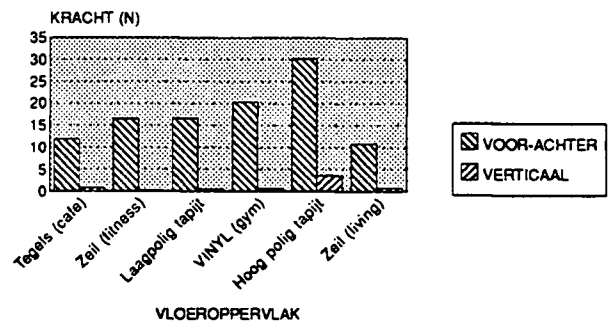
De rol van camberhoek van de achterwielen op de rolwrijving is ondoorzichtig. Experimenteel zijn geen schokkende negatieve resultaten beschreven, maar theoretisch zou het wel een grotere weerstand moeten geven (Higgs 1994). Bij het in- of uitsporen van wielen zijn wel grote verschuivingen in weerstand gemeten (O'Reagan et al 1981). Een lichte afwijking van het loopvlak van 1° heeft al gauw een verhoging van de rolweerstand met een factor 2-3 tot gevolg.

Tabel 1: Factoren die rolwrijving beïnvloeden

	ROLWRIJVING EFFEKT
GEWICHT ATLEET ↑	↑
GEWICHT ROLSTOEL ↑	↑
BANDSPANNING ↑	↓
WIELGROOTTE ↓	↑
HARDHEID VLOER ↑	↓
CAMBER ↑	?
TOE-IN/OUT ↑	↑↑
CASTOR SHIMMY ↑	↑
HARDHEID VLOER ↑	↓
MMP → GROTE A- CHTERWIELEN	↓
VOUWFRAME (VS BOX FRAME)	↑
ONDERHOUD ↓	↑

MMP: massmiddelpunt van rolstoel plus gebruiker.

ROLWEERSTAND EXPERIMENTELE DUWROLSTOEL VERSCHILLENDE VLOEROPPERVLAKKEN RCA



DUWSTANG TECHNIEK (F_y & F_z component)

Fig.4: Rolwrijving (F_r) tijdens metingen met een experimentele duwrolstoel in het revalidatiecentrum

Gegevens van Frank en Abel (1993) geven rolwrijvingscoëfficiënten in orde van 0.012-0.017 voor metingen op de lopende band. Op een harde ondergrond zakt die waarde tot 0.009. Voor racerolstoelen kunnen waarden gevonden worden tot 0.003. De rolwrijving voor de (kleine) voorwielen ligt voor ADL rolstoelen bijna een factor 3 hoger dan voor de achterwielen (Frank en Abel 1993). Men dient zich te realiseren dat het vloeroppervlak hier medebepalend is voor o.a. het verschil in rolwrijving tussen voor- en achterwiel.

In de bovenstaande tabel 1 wordt aangegeven hoe de belangrijkste factoren de rolweerstand beïnvloeden. Het zal duidelijk zijn dat bij een gangbare sportrolstoel de materiaaleigenschappen van de wielen bepalend zijn voor de rolweerstand. De doorgaans kleinere zwenkwielen hebben een hogere rijweerstand en de verdeling van het gewicht over de voor- en achterwielen zal bepalend zijn voor de rijweerstand. In het algemeen is het gunstig zo veel mogelijk gewicht boven de grote achterwielen te plaatsen (het massa-middelpunt [MMP] zo ver mogelijk naar achteren), immers grotere wielen hebben veelal een lagere rolweerstand.

Een voorbeeld van rolwrijvingsresultaten voor verschillende vloeroppervlakken is weergegeven in figuur 4, waar de resultaten van een duwexperiment met een experimentele rolstoel zijn weergegeven. Hierbij werd van verschillende vloeroppervlakken in een revalidatiecentrum proefondervindelijk de rolwrijving (N) bepaald. De consequenties van een hoge rolwrijving kan men beschouwen door bijvoorbeeld uit te gaan van een maximale belastbaarheid van een goed getrainde rolstoelatleet A van 100W (1 sterke gloeilamp) en van 10W (!) bij een revaliderende patiënt B met een hoge complete dwarslaesie. Het vermogen is het produkt van de weerstandskracht (bijvoorbeeld 10N; zie figuur 4.) en de gemiddelde snelheid in meters per seconde (een redelijke ADL-snelheid is 3 km.uur⁻¹ of 0.83m.s⁻¹). Proefpersoon B is dan toe aan een bijna maximale inspanning (83%), terwijl proefpersoon A - de atleet - op 8.3% van zijn maximale capaciteit zit! Zie overigens ook Wolfe et al (1977), O'Reagan et al (1981), Frank en Abel (1993) en Higgs (1994).

Interne wrijving

Interne wrijvingsverliezen als gevolg van lagerwrijving en vervorming van o.a. het frame zijn doorgaans zeer klein (Frank en Abel [1993]: bijdrage <0.001 aan de rolwrijvingscoëfficiënt). Dit geldt voor optimale condities, dus kwalitatief goede en goed onderhouden lagers. Hoewel lagerwrijving apart gemeten kan worden met speciale apparatuur (Frank en Abel 1993), wordt zij doorgaans gezamenlijk met de rolwrijving empirisch bepaald (O'Reagan et al 1981, Frank en Abel 1993).

De grootte van vervorming in niet starre verbindingen van de frameconstructie rugleuning en zitting van vouwrolstoelen is moeilijk te kwantificeren, maar is onder invloed van de aandrijfkrachten mogelijk aanmerkelijk, vooral bij onvoldoende onderhoud. Het gebruik van een vouwrol-

stoel is dan ook zondermeer af te raden voor sportief gebruik.

Van een andere orde is het interne verlies van populaire buitenrolstoelen met hefboom of crank-aandrijving. Daar spelen de ketting, de tandwielbladen en het versnellingsmechaniek een belangrijke rol. De grootte van de wrijvingsverliezen hiervan voor rolstoelen is niet bekend. Voor fietsmateriaal hebben Whitt en Wilson (1979) het verlies begroot op $\pm 5\%$ van het totaal.

Luchtweerstand

In verschillende rolstoeldisciplines is luchtweerstand juist de belangrijkste en ook grotere factor in de rijweerstand. Luchtweerstand (Flucht) is snelheidsafhankelijk en neemt dus toe naarmate de snelheid van de lucht (v') ten opzichte van rijrichting van de rolstoel hoger wordt (door de snelheid van de rolstoel of door tegenwind!). Daarnaast wordt luchtweerstand bepaald door de vorm en frontale doorsnede A van de rolstoelatleet combinatie (Coe 1979, Frank en Abel 1993, Higgs 1994). In formulevorm is de luchtweerstand als volgt:

$$Flucht = 0.5 C_d \delta A v'^2 \quad (N),$$

waarbij C_d de weerstandscoefficient is, δ de lucht-

dichtheid. De oppervlakteweerstand is ondermeer afhankelijk van de ruwheid van het oppervlak. Een ruw oppervlak heeft een lagere oppervlakteweerstand maar dat gaat ten koste van de vormweerstand, zoals in Figuur 5. van de windtunnelgegevens van Coe (1979) voor verschillende snelheidsniveau's is weergegeven. Luchtwrijving speelt vooral een rol bij hogere snelheden en dus bij track racen en de andere snelheidsonderdelen, basketbal, quadrugby en mogelijk tennis. Dit leidt in de rolstoelsport tot sterk aangepaste modellen en zithouding, hetgeen vooral met de vormweerstand te maken heeft. Ook natuurlijk speelt tegenwind bij rijden buiten een belangrijke rol in de bestuurbaarheid van de rolstoel en bij het zich kunnen verplaatsen.

Onderhoud

Het belang van systematisch onderhoud is al eerder genoemd, maar kan niet voldoende worden benadrukt. Dat een gebrek aan onderhoud het comfort en de bewegingsvrijheid van rolstoelgebruikers in het dagelijks leven beïnvloeden kan is genoegzaam bekend (Roebroeck et al 1989), maar ook bij sportrolstoelen is het een factor van cruciaal belang, waarvan men zich mogelijk onvoldoende bewust is. In meer praktische zin is er over de keuze van het voertuig door o.a. Van Breukelen (1993) veelvuldig geschreven. Van Breukelen (1993) geeft in Tabel 2. aan wat de praktische stand van de techniek ten aanzien van de keuze van de rolstoel is binnen de rolstoelsport aan de hand van met een aantal algemene voertuigtechnische eigenschappen.

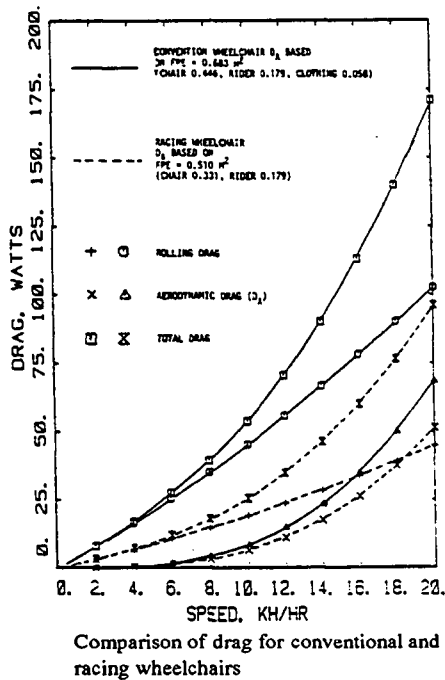


Fig.5: Effect van lucht- en rolweerstand (O'Reagan et al, 1981)

Zonder in te gaan op de argumentatie van de keuzes die er door Van Breukelen gemaakt worden, is aan de hand van het afgedrukte schema wel een goed beeld te vormen van de algemene specificaties van de verschillende sportrolstoelen. Concluderend kan men zeggen dat de rolstoelatelet zich bewust dient te zijn van de grote invloed van kleine details in de voertuigtechniek op de prestatie. Kleine verschuivingen in het gewenste krachtspel hebben grote gevolgen voor het te leveren vermogen, de maximaal haalbare snelheid, of duurzaamheid dan wel wendbaarheid.

Belastbaarheid

De sterk gevarieerde populatie rolstoelateleten wordt gekenmerkt door een te verwachten variatie in belastbaarheid of prestatievermogen. De mens is de 'motor' van de rolstoel-atleet combinatie en het prestatievermogen van de mens bepaalt derhalve mede de bewegingsvrijheid van de rolstoel-atleet combinatie (Woude, 1989).

Het prestatievermogen van de atleet koppelt men meestal aan de belastbaarheid van het ademhalings- en hart-vaatstelsel en het spier-skeletstelsel. De belastbaarheid van het hart-vaatstelsel en de ademhaling kan men uitdrukken in de maximale zuurstofopnamecapaciteit (VO_{2max}) of het uitwendige aerobovermogen (PO_{max}).

Dit is indicatief voor het zuurstof-gebonden energiesysteem van de mens en wordt ook wel het uithoudings- of duurvermogen genoemd. Het prestatievermogen wordt gemeten in een gestandaardiseerde maximale rolstoelinspanningsproef of bijvoorbeeld met armcranken.

Er is echter ook een energiesysteem dat niet-zuurstof-gebonden energie produceert en het anaeroob systeem wordt genoemd. Dit systeem is indicatief voor het op korte ter-

mijn beschikbare vermogen (seconden tot 1-2 minuten) en wordt gemeten in een rolstoelsprinttest.

Tabel 2: Verschillende rolstoelkenmerken

kenmerk	moderne adi-rolstoel	sport rolstoel	topsport rolstoel
FRAME	.vouwbaar .parallel voorfront (meestal) .frame-hoek 60/70° .asplaat .neerklapbare rug .ADL-opties: armsteunen, remmen, handvatten, etc	.vast/star .vaste voet- beugel 'tapered' voorfront (meestal) .framehoek 80° .asplaat .neerklapbare rug .geen ADL- opties	.vast/star .vaste voet- beugel 'custom' tapered voor- front 'custom made' framehoek, vaak > 80° .camber-huis .vaste rug .geen ADL- opties .wel vaste kle- ding bescher- mers
GEWICHT	.9-13kg	8-9kg	6.5-8kg
ACHTER- AS- POSITIE	.instelbaar (hor/vert)	.instelbaar (hor/vert)	.verminderde instelbaarheid 'custom made' zithoek + zit- hoogte
CAMBER	.1-6°	-6-9-12°	'custom made'
UITSPOR- REGELING	.vulstukjes tussen asplaat en frame	.vulstukjes tussen frame en asplaat	.1 niet nodig .2 draaien camberhuis
VOOR- VORKHUIS	.instelbaar	.instelbaar	.niet instelbaar bij afwezigheid verticale achter- asverstelling
WIELEN	.uitneembaar (qr) .luchtbanden .5" voorwielen	.uitneembaar (qr) .vaak tubes .3" of 5" voorwielen	.uitneembaar (qr) .tubes .3" skeeler wielen

Naar: Van Breukelen (1993)

Deze wordt uitgedrukt in het gemiddelde vermogen over een 30 seconden sprinttest (P30 of de hoogste waarde over 5 seconden [P5]). Daarnaast kan men ook kracht als prestatieparameter onderscheiden die dan vaak isometrisch gemeten wordt.

Er is natuurlijk bij rolstoelsport per definitie sprake van armarbeid. Dat heeft verstrekkende gevolgen voor het prestatievermogen.

De armen zijn immers niet echt 'gebouwd' om duurzaam te leveren: een geringe spiermassa, een zeer flexibele maar ingewikkelde ophanging van de arm aan de romp, een veelzijdige maar complexe hand en pols. De belang-

Tabel 3: Verschillen van arm- met beenarbeid

FYSIEKE BELASTING & BELASTBAARHEID	Arm vs Been-Arbeid
ZUURSTOFOPNAMEKAPACITEIT	60-80%
PIEK HARTFRQUENTIE	-10
SUBMAXIMALE HARTFREQUENTIE	↑
SLAGVOLUME HART	↓
MECHANISCHE EFFICIENTIE HOEPEL	<10%
RESPIRATOIR QUOTIENT	↑
VERMOGEN HOEPEL	20-150W
VERMOEDHEID	↑
VOLHOUDTIJD	↓
BLOEDDRUK SUBMAXIMAAL	↑

rijkste gevolgen voor het leveren van armarbeid in vergelijking met beenarbeid zijn weergegeven in Tabel 3. (Zie verder Sawka 1986, 1993, Sawka et al 1983a,b, Franklin 1989, Glaser 1989, Davis 1993, Fioni 1993).

Het door de atleet maximaal te leveren uitwendige vermogen bij rolstoel-arbeid varieert sterk en is afhankelijk van o.a. de stoornis, getraindheid, leeftijd en sexe, zoals voor verschillende objectieve prestatieparameters is af te leiden uit figuur 6-8. Zo werden voor het uitwendig geleverde vermogen binnen een groep rolstoel-atleten tijdens de Wereldspelen in Assen (1990) waarden gevonden tussen bijna 0 en even meer dan 140 Watt.

PHYSICAL CAPACITY OF SUBJECTS WITH A SPINAL CORD INJURY (Jarsson et al 1994)

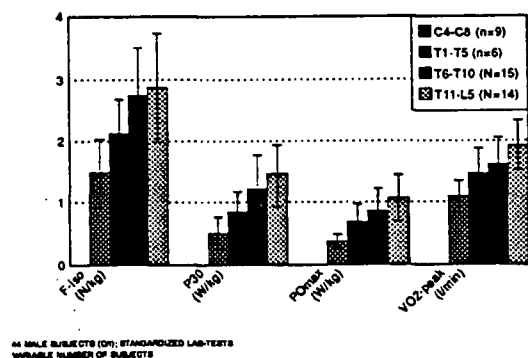


Fig.6: Parameters voor belastbaarheid: maximale isometrische duwkracht (F-iso), anaeroob vermogen (P30), aeroob vermogen (POmax) en de zuurstofopnamecapaciteit (VO2max)

PHYSICAL CAPACITY OF SUBJECTS WITH A CERVICAL SPINAL CORD LESION QUADRUPED EVALUATION: DALLMEYER ET AL 1988

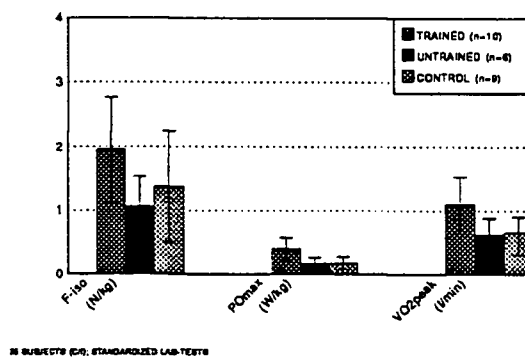


Fig.7: Parameters voor belastbaarheid (zie fig.6)

WORK CAPACITY MAX TEST (last step)

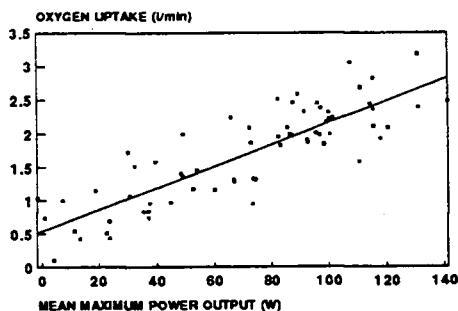


FIGURE 4A. N=68 WHEELCHAIR ATHLETES

Fig.8: Belastbaarheid (zuurstofopname versus maximale aeroob vermogen) voor 68 rolstoelatleten

Met andere woorden een groot verschil in prestatievermogen dat het leveren van (arm-)arbeid ten behoeve van het zich verplaatsen in de sportsituatie zal bepalen. Actieradius, snelheid, volhoudtijd en wendbaarheid zullen evenredig variëren met dit prestatievermogen, dus ook de sportprestatie. Voor een belangrijk deel worden die verschillen bepaald door de stoornis. Klassificatie van atleten in vergelijkbare functionele prestatieniveaus is derhalve noodzakelijk om een aanvaardbare en eerlijke competitie tot stand te brengen. De perfecte klassificatie is nog niet gevonden, getuige de felle discussies die steeds opnieuw in de literatuur opduiken (Steadward et al 1994). Dit probleem is gezien de complexiteit misschien ook wel onoplosbaar.

Interfacing

Bij rolstoelsport wordt de geringe spiermassa van de armen en - indien beschikbaar - romp aangewend voor het verplaatsen. Dit heeft in het algemeen zowel mechanische als fysiologische korte en lange-termijn consequenties. Ook is (hoepel-)rolstoelrijden een inefficiënte vorm van voortbewegen: veel energie gaat verloren en wordt niet omgezet in verplaatsing.

Optimalisatie van de bewegingsvrijheid van de rolstoel-leet impliceert reductie van taakbelasting, verbetering van de belastbaarheid van de atleet en verhoging van de effectiviteit van de taakuitvoer. Richtlijnen binnen dit kader dienen te worden ontwikkeld op basis van experimenteel onderzoek. Dit onderzoek is echter beperkt in omvang en doorgaans uitgevoerd aan de hand van dagelijks gebruik (ADL) actief rolstoelen. Met andere woorden niet specifiek gericht op het rolstoelmateriaal uit de diverse takken van rolstoelsport.

Mechanische Efficiëntie

De vermogensproductie door de atleet kan gemeten worden aan de hand van het energieverbruik en de hartfrequentie. Dit energetisch vermogen is evenwel niet gelijk aan de geleverde prestatie of het uitwendig te leveren

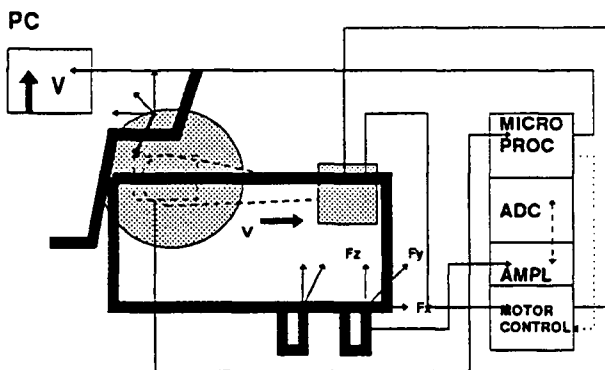


Fig.9: Computer-gestuurde rolstoelergometer

vermogen P_o , dat nodig is om de wrijvingsverliezen te overwinnen. In het lichaam zelf en als gevolg van de aard van het bewegingspatroon gaat energie verloren. Bij armarbeid is dit relatief veel in vergelijking met beenarbeid. De efficiëntie van menselijke arbeid kan worden herleid uit het uitwendig vermogen en het energieverbruik E_n :

$$ME = P_o \cdot E_n^{-1} \cdot 100 (\%)$$

De mechanische efficiëntie ME van hoepel-aandrijving ligt zelden boven 10% (Woude 1989, VanLandewijck et al 1994). In de praktijk betekent dit dat 90% van de geproduceerde interne energie verloren gaat in warmte. De overige 10% wordt besteed aan de overwinning van de rolwrijving, de interne wrijvingsverliezen en eventueel de luchtwrijving bij hogere snelheden of wind-tegen.

De taakbelasting wordt mede bepaald door de aard van de taak en de taakuitvoer. Als specifieke vorm van armarbeid blijkt rolstoelaandrijving inherent minder effectief dan beenarbeid of andere vormen van armarbeid. Het waarom hiervan ligt waarschijnlijk ten dele besloten in de bewegingsuitvoer en -coördinatie en de bouw van het arm-/schouder complex. Daarom speelt - de afstemming van de rolstoel op de functionele kenmerken van de atleet een essentiële rol.

Deze interface bestaat enerzijds uit de geometrische en technische eigenschappen van de rolstoel en anderzijds uit de fysieke en antropometrische kenmerken van de mens in de rolstoel. Gecombineerd inspanningsfysiologisch en biomechanisch experimenteel onderzoek is noodzakelijk om wetmatigheden tussen bijvoorbeeld enerzijds de lichaamsbouw of antropometrie van de atleet(-sgroep) en de geometrie van de rolstoel te achterhalen. Uitgangsgedachte is dat een in energetisch opzicht optimale configuratie

PROTOTYPE EVALUATIE N=10 NIET-ROLSTOELGEBRUIKERS

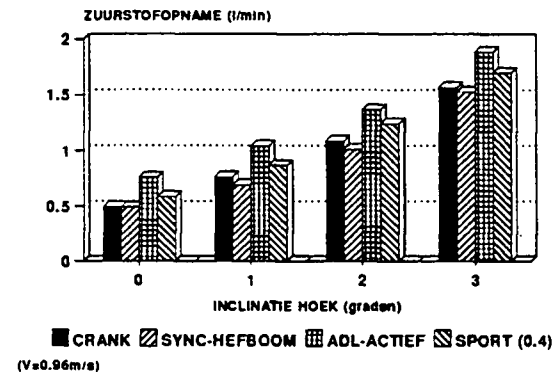


Fig.10: Evaluatie van fysieke belasting (zuurstofopname) bij gebruik van verschillende rolstoelaandrijfsystemen (Woude et al, 1986)

van de interface ook biomechanisch optimaal zal blijken te zijn (Lesser 1986, Traut 1989). Analyse van de rolstoel-atleet interface vindt doorgaans plaats in rolstoelinspanningsproeven, waarin op systematische wijze de rolstoelconfiguratie geëvalueerd wordt aan de hand van inspanningsfysiologische en biomechanische parameters. In het algemeen gebruikt men daarvoor submaximale inspanningstests die onder gestandaardiseerde omstandigheden (methoden, protocol) worden uitgevoerd op een lopende band (Figuur 1) of rollenbank, waarbij daadwerkelijk rolstoelen en prototypen worden gebruikt. Ook simuleert men rolstoelaandrijving met complexe opstellingen zoals die in Figuur 9), waarin geen echte rolstoel is terug te vinden, maar wel heel precies aandrijfkrachten en vermogen kunnen worden bepaald.

In de vorm van (maximale) rolstoelinspanningsproeven wordt het geleverde uitwendige vermogen, het energieverbruik en de hartfrequentie geregistreerd, terwijl ook (3D) kinematische en spieractivatiegegevens gelijktijdig kunnen worden vastgelegd. Op deze wijze kan men bewegingstechniek en fysiologische belasting aan elkaar relateren. Men kan met deze opstellingen echter geen gedetailleerde krachtanalyses uitvoeren.

Ook is simulatie op een rolstoelsimulator goed denkbaar. De rolstoelsimulator die in het onderhavige onderzoek wordt gebruikt laat uitgebreide dynamische analyses van de aandrijftechniek toe naast een accurate simulatie van weerstand, massatraagheid en vermogen. Verschillende rolstoelconfiguraties kunnen worden nagebouwd en geëvalueerd (Niesing et al 1990, Veeger et al 1992c).

Aandrijfsystemen

Experimenten hebben tot nu toe uitgewezen dat verschillende vormen van armarbeid tot verschillende belastingniveaus kunnen leiden. Verschillende rolstoelaandrijfsyste-

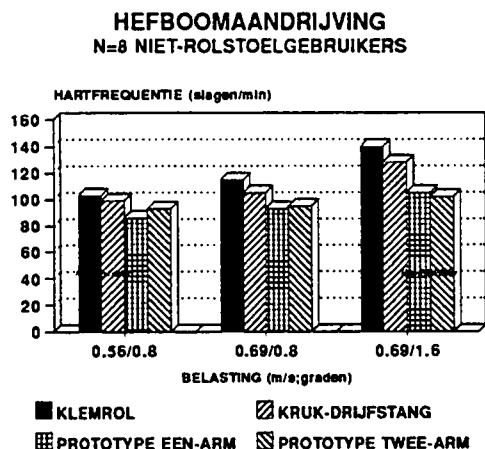


Fig. 11: Hefboomaandrijving met 1 arm en bij gebruik van verschillende hefboomsystemen

men (hoepel, hefboom, crank) laten een verschil in fysieke belasting en maximaal prestatievermogen zien, waarbij andere dan hoepelaangedreven rolstoelen, zoals de hefboom en crank-aangedreven rolstoel, over het algemeen gunstiger zijn voor het energieverbruik en de belasting op het hart-vaatstelsel (Woude et al 1986). In Figuur 10. is hiervan een resultaat weergegeven. Bewegingsfrequentie, -snelheid, -uitslag en krachtniveau, statische krachtsleverantie en het temporele spieractivatiepatroon lijken primair verantwoordelijk voor deze verschillen in zuurstofopname, een maat voor de door de atleet geleverde inwendige energie. Met andere woorden door de armen - en dus de geringe spiermassa - op een andere wijze te gebruiken kan het energieverbruik verlaagd en het uithoudingsvermogen vergroot worden, naast mogelijk ook de pieksnelheid.

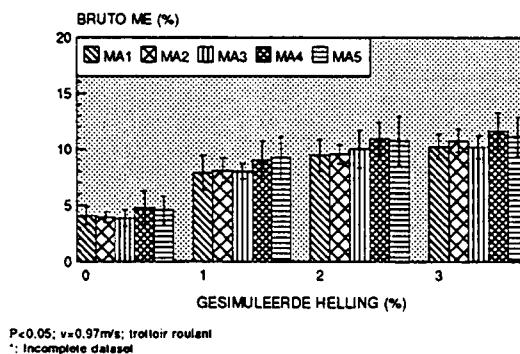
Hefboomaandrijving

Het belang van een nauwkeurige afstemming van de rolstoelconfiguratie op de functionele mogelijkheden van de atleet wordt verder onderstreept door resultaten omtrent één-armige hefboomaandrijving (Figuur 11.). Het hefboomontwerp van de gangbare kruk-drijfstangsystemen - zoals ruimtelijke positionering, handoriëntatie en de overbrenging - is vanuit een ergonomisch perspectief nog voor verbetering vatbaar. Het belang hiervan wordt onderstreept door de hoge belasting op het hart-vaatstelsel van één-armige arbeid in het algemeen, m.n. voor de veronderstelde gebruikersgroep, zoals personen met een hemiplegie (Woude et al 1993). Het prototype betreft een nieuw overbrengmechanisme waarin geen 'dode-punten' in de krachtoverbrenging voorkomen, zodat een effectievere krachtsleverantie is gewaarborgd.

Recent werd een studie naar het gebruik van een prototype hefboom-racerrolstoel afgerond (Tilley-Prototype; TU Eindhoven). Dit is een 3-wielig model met asynchroon geschakelde hefboomen, die via een ketting en tandwielbla-

HEFBOOMAANDRIJVING EN VERSCHILLENDE OVERBRENGVERHOUDINGEN

TILLEY ROLSTOEL: N=8 NIET-ROLSTOELGEBRUIKERS



$P < 0.05$; $v = 0.97$ m/s; trolleur rolant
.: Incomplete dataset

Fig. 12: Mechanische efficiëntie bij asynchrone hefboomaandrijving en verschillende overbrengverhoudingen (MA1: licht verzet; MA5: zwaar verzet)

den kracht op de achterwielen overdragen. De hefboomen zijn onderling gekoppeld en bewegen alternerend, er is een vrijloop en men kan 5 verschillende versnellingen via een derailleur instellen. Het effect van de verschillende versnellingen op het energie verbruik werd getoetst door 9 proefpersonen op een lopende band een inspanningsproef te laten uitvoeren, steeds met een andere versnelling. In het algemeen waren de zwaardere versnellingen gunstiger in termen van energieverbruik en efficiëntie (Figuur 12.).

Hubcrank

De hubcrank is een voor sportieve en recreatieve doeleinden ontwikkeld aandrijfsysteem waarbij een crank op de naaf van de wielen van een sportrolstoel wordt gemon-teerd (Figuur 13.). In korte experimenten is de functionele belasting (energieverbruik, hartfrequentie, mechanische efficiëntie) bij rolstoelrijden met een hubcrank en een identiek grote hoepel (dus gelijke overbrengverhouding) bestudeerd. Submaximale inspanningsexperimenten werden uitgevoerd op zowel een lopende band als op een computer-gestuurde rollenbank (SOPUR 9000) met registratie van het effectieve moment van linker en rechter arm-hand-hoepel op de rol samen, waarbij de rolstoel stationair in de ruimte met de achterwielen op een rol rust en de voorzijde gefixeerd is aan het frame van de rollenbank. Simulatie van rolstoelrijden vindt plaats via de rol op de achterwielen. Het vermogen werd opgelegd door verhoging van de weerstand op de rol door simulatie van een helling van -0.5 tot 3% via een computer-gestuurde servomotor, terwijl de snelheid min of meer constant werd gehouden op 1.39 m.s⁻¹.

Op grond van biomechanische overwegingen werd een verschil verwacht tussen de hoepel en hubcrank conditie, immers de hubcrank laat een eenvoudiger en continue arbeidsproductie toe (Woude et al 1995a,b):

... geen remnende krachten bij het aan- en loskoppelen op het aandrijfsysteem, zoals bij de hoepel wordt gezien (Veeger et al 1991a)

- geen negatief handmoment (Veeger et al 1991b)
- verbeterd richten van kracht mogelijk
- eenvoudige koppeling van hand op hoepel: geringere knijpkrachten in meer neutrale positie van hand en pols, ook leidend tot minder kracht in y en z-richting
- zowel duw als trekkrachten, dus flexoren en extensoren
- activiteit rond elleboog en schouder, spreiding van spierbelasting, grotere spiermassa, geringere vermoeidheid.

Deze gunstige eigenschappen van de hubcrank werden inderdaad bevestigd voor alle fysiologie data: een significant lagere hartfrequentie, zuurstofopname en een hogere bruto-mechanische efficiëntie voor de hubcrank conditie.

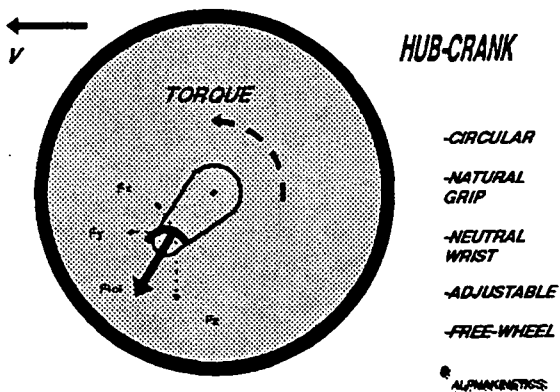


Fig.13: Het hubcrank aandrijfsysteem

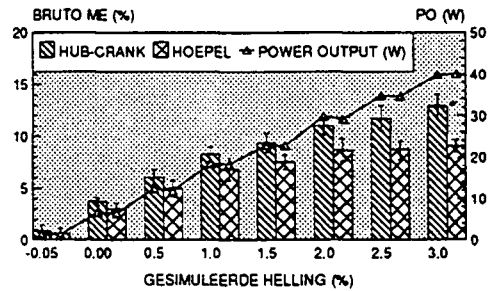
Dit is weergegeven voor mechanische efficiëntie in Figuur 14. Een verschil tot 3% in rendement wordt gevonden voor de 2.5% helling conditie. Hartfrequentie was gemiddeld 4 tot bijna 15 slagen per minuut lager voor de hubcrank conditie bij een helling van 2.5%. Daarenboven geven gegevens over het geleverde koppel op de rol van beide armen en wielen gelijktijdig aan dat inderdaad vrijwel geen remmend moment wordt geleverd en gemiddeld lagere piekwaarden bij gebruik van de hubcrank.

Dit aandrijfsysteem heeft derhalve belangrijke - vooral biomechanische voordelen - die zich uiten in de fysiologie. Mogelijk ligt hierin tevens een rol ter preventie van aandoeningen aan het spier-skeletstelsel (carpaal-tunnel syndroom, schouderklachten), zoals die zich frequent uiten bij langdurig gebruik van de hoepelrolstoel (Burnham en Steadward, 1994; Burnham et al, 1994). Er zijn evenwel ook nadelen aan de hubcrank verbonden: de breedte van de wielen met cranks en de relatief lastige bestuurbaarheid in samenhang met de moeilijkheid van het remmen, zijn belangrijke nadelen waardoor dit aandrijfsysteem vooralsnog alleen geschikt lijkt voor sportief gebruik. De fabrikant is inmiddels met nieuw model bezig dat genoemde nadelen ondervangt.

De belangstelling voor alternatieve aandrijfsystemen neemt steeds meer toe. Vooral op de Noord Amerikaanse rolstoelmarkt wordt relatief veel materiaal aangeboden en worden ook wedstrijden tussen 'human arm powered vehicles' georganiseerd. Ook in Nederland zet die ontwikke-

ling steeds sterker in (Breukelen, 1995). Een grove samenvatting van de voor- en nadelen van hefboom en crank aangedreven systemen ten opzichte van de hoepelrolstoel wordt aangegeven in tabel 4.

HUB-CRANK versus HOEPELAANDRIJVING RACE ROLSTOEL: N=10 NIET-ROLSTOELGEBRUIKERS



P<0.001; v=5km/hr; computer-gestuurde rollenbank
* Incomplete dataset

Fig.14: Effect van hubcrank gebruik op mechanische efficiëntie. Daarnaast is het gemiddeld geleverde submaximale vermogen aangegeven

Tabel 4. Kenmerken van verschillende rolstoeltypen.

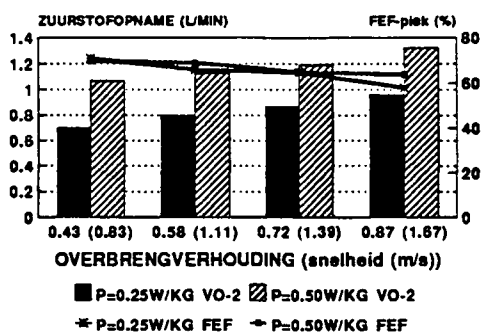
AAN DRIJF SYSTEEM	Hoepel Basket	Hoepel Race	Crank	Hef-boom	Hub-crank
Max ME (%)	±10	±8	±13	±13	±12
Topsnelheid (km/u)	15	30	> 30	> 30	30
Gewicht (kg)*	< 10	< 8	>>> 15	>>> 15	< 8
Koppeling hand	-	--	++	++	+
Kracht-richting	-	-	+	++	+
Bi-modaal	-	+	+	+	+
Kontinu	-	+	+	+	+
Wendbaarheid	++	+	-	-	-
Besturing	++	+	±	±	-
Rem	±	-	+	+	-

*gegevens afgeleid uit ondermeer Axelson (1995), Crase et al 1987, Segner en Bergstrand 1987, Maki et al (1995), Woude et al 1995.

Overbrengverhouding

Hoepelpropulsie is inefficiënt. Door aanpassing van hoepelgrootte en vorm kan men het rendement verbeteren (Woude 1989, Traut 1989). Ook variatie in overbrengverhouding of versnelling heeft een te onderscheiden effect op de belasting van het spierskeletstelsel en het hart-vaatstelsel tot gevolg. Bij hoepelaandrijving zijn in dit opzicht het effect van hoepeldiameter (Woude et al 1988b) en het effect van 'mechanical advantage' of overbrengverhouding van belang: een kleinere hoepeldiameter blijkt te leiden tot een lager energieverbruik, een kleinere overbrengverhouding eveneens.

OVERBRENGVERHOUDING EFFECT OP ZUURSTOFOPNAME & FEF-plek



Na8 niet-rolstoelgebruikers; orgemeter

Fig. 15: Gemiddelde zuurstofopname (n=9) en effectiviteit van uitgevoerde kracht (FEF) in samenhang met handsnelheid

In het kort gezegd: men verliest aan wendbaarheid en besturing, maar men wint aan efficiëntie, snelheid en actieradius. Dat laatste wordt vooral bewerkstelligd door een betere verdeling van de taaklast over verschillende spiergroepen, eenvoudiger koppeling van de hand aan het aandrijfsysteem en een gunstiger krachtoverdracht. De tragere handbeweging in de duwfase is in beide situaties de gemeenschappelijke gunstiger component en leidt tot verschuivingen in mechanische efficiëntie, aandrijftechniek en effectiviteit FEF van het krachtenpatroon (Veeger et al 1992b), zoals is weergegeven in figuur 15. De 'Fraction effective force' FEF varieert tussen proefpersonen, maar wordt systematisch lager bij een hogere lineaire handsnelheid van de hand, zoals het geval is bij een toename van de hoepeldiameter of een grotere overbrengverhouding. Een afnemende bruto mechanische efficiëntie met toenemende lineaire handsnelheid verloopt zo parallel aan de lagere effectiviteit van de uitgevoerde handkracht:

$$FEF = \frac{F_m \cdot F_{tot}^{-1}}{100} (\%),$$

de ratio tussen de effectieve kracht F_m (loodrecht op de straal van de hoepel; figuur 16.) en de totale krachtvektor F_{tot} , uitgedrukt in procenten. Immers een tangentiële aan de hoepelomtrek gerichte kracht is mechanisch gezien optimaal. In de praktijk wijkt de totale krachtvektor hier

in sterke mate van af. De totale kracht die op de hoepel uitgeoefend wordt is veel meer verticaal gericht en bestaat verder uit een nadrukkelijke medio-laterale component. De totale krachtvektor bestaat immers enerzijds uit een krachtdeel ten behoeve van vermogensleverantie (de tangentele component) en anderzijds uit de voorwaardelijke krachten die de koppeling van hand en hoepel verzorgen - en daarvoor o.a. frictie tussen hand en hoepel opbouwen - waardoor het leveren van arbeid mogelijk wordt.

Daarnaast is de FEF afhankelijk van het uitgeoefende koppel M_h van het handoppervlak ten opzichte van de hoepel (figuur 16.), dat vooral remmend werkt op de voortstuwing, maar van belang lijkt te zijn om de koppeling tussen hand-hoepel via 'wringing' te verbeteren en/of te versnellen. Deze veranderde overigens niet significant. Functioneel-anatomisch is de mechanisch niet-optimale richting van F_{tot} mogelijk een 'mooie' oplossing voor een eventuele controverse tussen de spieractiviteit rond de elleboog ten behoeve van krachtleverantie en ten behoeve van verplaatsing van de hand. Indien de richting van F_{tot} tussen elleboog en schouder doorloopt - wat meer waarschijnlijk is bij een meer verticale richting van F_{tot} - wordt dit conflict voorkomen (figuur 16.)!

Andere techniekfacetten die hierbij naar voren kwamen zijn: een toename met handsnelheid van de negatieve deflecties in de moment- en vermogenscurve aan het begin (dip; figuur 16.) en het einde van de duwfase. Dit impliceert een remmend moment op de hoepel bij het eerste hand-hoepel contact en bij het loslaten van de hoepel aan het einde van de duwfase (Veeger et al 1992). Het koppel dat de hand ten opzichte van de hoepelbuis uitoefent en de nettomomenten rond de gewrichten van de arm lieten geen eenduidige verschuivingen met lineaire handsnelheid zien met uitzondering van de elleboogextensie (Veeger et al 1991b, 1992, 1994).

De overbrengverhouding of versnelling is dus een belangrijk facet in de aandrijving van handbewogen rolstoelen dat kan leiden tot een effectievere vorm van voortbewegen. Tot nu toe is het gebruik van versnellingen vooral terug te vinden in niet-hoepel aangedreven hand-bewogen rolstoelen zoals de hefboom en crank systemen. Juist een hoepelsysteem met hefboom zou een belangrijke verbetering kunnen betekenen voor enerzijds de marginale rolstoelateet en anderzijds bij sportief gebruik. In het algemeen lijkt een zo zwaar mogelijk verzet voor de individuele atleet het meest gunstig voor zijn of haar submaximale duurbelasting maar mogelijk ook voor de maximale duurbelasting.

Zithoogte

Zithoogte is een ander aspect van de rolstoelgeometrie waaraan biomechanische en inspannings-fysiologische aspecten kleven: een zithoogte-instelling aan de hand van de ellebooghoek geeft een significant effect te zien waarbij het optimum in termen van energieverbruik rond de 110° ellebooghoek ligt (volledige strekking

180°, in een standaard zithouding, hand op de top van de hoepel; Woude et al 1990). De veronderstelling is dat variatie in gewrichtshoeken invloed heeft op de kracht-lengte oriëntatie van diverse spieren en zo invloed uitoefenen op het energieverbruik.

Het duwpatroon wordt ondermeer beïnvloed door de schouder-hoepelafstand. Spierlengte en -kracht hangen onderling samen - en met het energieverbruik - maar worden uiteraard ook beïnvloed door een hogere of lagere zit. Bovendien wordt het bewegingspatroon en de -uitslag van de verschillende lichaamssegmenten beïnvloed om tenminste een minimale en minimaal effectieve krachtoverdracht van de hand op de hoepel mogelijk te maken. Daarnaast treedt er bij toename van de zithoogte een ongunstige verschuiving in het spieractivatiepatroon op.

De voor-/achterwaartse positie van de wielen ten opzichte van het zitgedeelte werd eerder bestudeerd door Lesser (1986) en Traut (1989). Uiteraard is er een effect van positie op rolweerstand. Hoe dicht bij de wielas des te lager de verliezen. Traut (1989) suggereert een positie van de schouder van 0.075m achter de wielas op grond van de gepresenteerde experimentele resultaten.

Camber

Resultaten met betrekking tot de effecten van scheefstand van de achterwielen (boven dicht bij elkaar dan onder: camber; Veeger et al 1989) op energieverbruik, aandrijftechniek en spieractiviteit laten een opmerkelijk resultaat zien. Gemiddelde zuurstofopname, hartfrequentie en mechanische efficiëntie veranderden niet onder invloed van een verschuiving van de camber-hoek van de achterwielen van 0 naar 3, 6 en 9°. Dit is juist zo opmerkelijk omdat vooraf op grond van praktijkervaringen en gezond verstand overwegingen werd verwacht dat een grotere camberhoek tot een verlaging in het energieverbruik zou leiden. Immers men veronderstelt dat spieractiviteit noodzakelijk is om de armen zijwaarts te heffen gedurende de duwfase om de hand en (onder-)arm te leiden over en langs de hoepel. Een toename in de camber-hoek zou deze activiteit kunnen reduceren en dit zou vervolgens tot een lagere energievraag aanleiding moeten zijn. Dit blijkt niet het geval, er is immers geen verandering in het energieverbruik. Een verklaring hiervoor ligt in het spieractivatiepatroon.

Daarin is namelijk geen (verschil in) spieractiviteit te zien gedurende de duwfase in de spier die primair verantwoordelijk is voor het zijwaarts heffen van de arm en hand. Daarentegen wordt wel een geringe significante afname gezien in de hoek van de zijwaarts geheven arm gedurende de duwfase. In samenhang met de sterke activiteit van de m. pectoralis major en de m. deltoideus pars anterior kan de volgende verklaring worden gegeven. De zijwaartse positie van de bovenarm is het gevolg van de sterke activiteit van de pectoralis: deze spier zorgt voor een duwende actie op de hoepel, maar verdraait daarbij de arm naar binnen toe. De hand en schouder maken het voor de

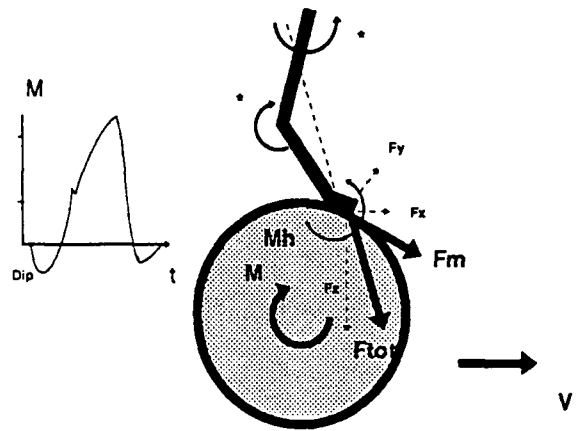


Fig. 16: Krachtcomponenten die op de hoepel worden uitgeoefend

onder en bovenarm onmogelijk te strekken: zij worden door de hoepelpositie gedwongen in hun lengte. De bovenarm zal daardoor zijwaarts worden gedwongen en de indruk geven dat deze actief zijwaarts moet worden geheven, hetgeen niet het geval blijkt te zijn.

Ook andere aspecten van hoepelvorm (buisdiameter, breedtepositie en hoepeldiameter) zijn experimenteel onderzocht en hebben een meer of minder groot effect op aandrijftechniek, spieractivatie en efficiëntie, hartfrequentie en energieverbruik.

Een dikkere buis lijkt een gunstig effect te hebben op energiegebruik en ME en mogelijk zelfs op techniek, hoewel de resultaten in dat opzicht niet overtuigend zijn (Linden et al 1996). Buisvorm en -dikte bij hoepelaandrijving is uiteraard wel sterk afhankelijk van de aandrijftechniek die wordt gebruikt. In relatie tot de techniek van het wielen zullen de eisen van vorm en omvang van de buis en de grootte van de hoepel zelf anders liggen dan bij bijvoorbeeld basketbal of quadrugby rolstoelen. Taakeisen zijn immers anders en daarmee de techniekeisen en de afstemming van deze op de interface.

Conclusies

Mobiliteit van rolstoelatleten is van vele verschillende factoren afhankelijk. Natuurwetenschappelijk onderzoek moet de basis leveren voor inzicht in de relatie tussen de prestatiebepalende factoren voor de menselijke motor en het voertuig, taakeisen en omgevingsfactoren. Belasting en belastbaarheid kunnen zo op adequate wijze in balans worden gebracht, gericht op een optimale of maximale prestatie. Kennis over trainingsmethoden en -technieken in het licht van algemene biofysische populatiekenmerken moet verzameld worden, maar ook inzicht in wetmatigheden rond richtlijnen voor ergonomische produktontwikkeling, maatvoering en passing ten behoeve van rolstoelsport (en rolstoelgebruikers in het algemeen).

Literatuurverwijzingen

Axelsson P (1995) Chair & chair alike? 13th annual survey of lightweights Sports 'n Spokes 21, 2, 26-62

- Benedik K, Engel P, Hildebrandt G (1978), Der Rollstuhl. Int Schriftreihe fuer Reha Forschung 15, Rheinstetten, Schindele Verlag.
- Breukelen K van (1993) Rolstoelsport/sportrolstoel, Ned Tijd V Kinderrevalidatie 1, 16-124
- Breukelen K van (1995) Wat beweegt handbikers!: handbikers doen het in een handomdraai. HPV Nieuws, 2, 6-8.
- Burnham RS, Ming C, Hazlett C, Laskin J, Steadward R (1994b) Acute median nerve dysfunction from wheelchair propulsion: the development of a model and study of the effect of hand protection Arch Phys Med Rehabil 75, 513-518.
- Burnham RS, Steadward RD (1994c) Upper extremity peripheral nerve entrapments among wheelchair athletes: prevalence, location and risk factors. Arch Phys Med Rehabil 75, 519-524.
- Coe PL (1979) Aerodynamic characteristics of wheelchairs. NASA Technical Memorandum 80191, Langley Research Center Virginia.
- Crase N, Schmid R, Robbins S (1987) Pedal power hand-cycle survey Sports 'n Spokes 12, 27-30
- Dallmeijer AJ, Hopman MTE, Woude LHV van der (1995b) Effects of quadrugby training on physical performance in persons with quadriplegia In: First European Conference on Adapted Physical Activity and sports: a white paper on research and practice (Coppenolle H van, VanLandewijck Y, Vliet P van, Neerinx E, eds), Acco Leuven
- Davis GM (1993) Exercise capacity of individuals with paraplegia. Med Sci Sports Exerc 25: 423-432.
- Figoni SF (1993) Exercise responses and quadriplegia, Med Sci Sports Exerc 25, 4, 433-441.
- Frank T, Abel F (1993) Drag forces in wheelchairs In: Ergonomics of manual wheelchair propulsion: state of the art (Woude LHV van der, Meijjs PJM, Grinten BA van der Boer Y de, eds.). COMAC BME, IOS Press, Amsterdam, 255-267.
- Franklin, B A (1989). Aerobic exercise training programs for the upper body. Med Sci Sports & Exerc.21, S141-S148.
- Glaser RM (1989), An exercise training for wheelchair users, Med Sci Sports Exerc 21, 5, S149-S157
- Higgs C (1994) Sports performance: technical developments. In: The Outlook; Vista '93 (Steadward, Nelson and Wheeler, eds), Rick Hanssen Centre, Edmonton 169--186.
- Janssen TWJ, Oers CAJM van, Woude LHV van der, Hollander AP (1994), Relationship between physical strain and physical capacity during standardized ADL in men with spinal cord injuries, Paraplegia , 32, 844-859.
- Kauzlarich JJ, Thacker JG (1985) Tire rolling resistance and fatigue. J Reh Res Dev, 22, 25-41.
- Lesser W (1986) Ergonomische Untersuchung der Gestaltung antriebsrelevanter Einflussgrößen beim Rollstuhl mit Handantrieb. Biotechniknr.28, Duesseldorf: VDI-Verlag.
- Linden MA van der, Valent L, Veeger HEJ, Woude LHV van der (1996), The effect of handrim tube diameter on propulsion efficiency and force application. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, submitted.
- Maki KC, Langbein WE, Reid-Lokos C (1995) Energy cost and locomotive economy of handbike and row-cycle propulsion by persons with spinal cord injury J Reh Res & Dev 32, 2, 170-178.
- McLaurin CA (1981) Wheelchair mobility 1976-1981, Reh Eng Centre, University of Virginia, Charlottesville.
- NEBAS (1994) Topsport is maatwerk: het integraal topsportbeleidsplan van de Nebas, 1995-2000 Nederlandse Bond Aangepast Sporten, Bunnik.
- Niesing R, Eijskoot F, Kranse R, Ouden AH den, Storm J, Veeger HEJ, Woude LHV van der, Snijders CJ (1990) Computer-controlled wheelchair ergometer Med & Biol Eng & Comp, 28, 329-338
- O'Reagan JR, Thacker JG, Kauzlarich JJ, Mochel E, Carmine D and Bryant M (1981) Wheelchair dynamics In: Wheelchair Mobility 1976-1981, REC, University of Virginia (33-41)
- Roebroeck ME, Woude LHV van der, Rozendal RH (1989) Methodology of a consumer evaluation of hand propelled wheelchairs. COMAC BME, Edizione Pro Juventuti, Milaan.
- Sawka MN (1986), Physiology of upper-body exercise. Exerc and Sport Sci Rev 14; 175-211.
- Sawka MN (1993), Upper body exercise: application for wheelchair propulsion and spinal cord injured populations. In: Ergonomics of manual wheelchair propulsion: state of the art.(Woude et al eds) IOS Press, Amsterdam; 151-163.

- Segner SE, Bergstrand JL (1987) A comparison of three wheeled human powered bicycles for persons with physical disabilities RESNA 10th Annual Conference, San Jose, 550-552
- Steadward RD, Nelson ER and Wheeler GD (1995), *The Outlook; Vista '93*, Rick Hanssen Centre, Edmonton.
- Traut L (1989) *Ergonomische Gestaltung der Benutzerschnittstelle am Antriebssystem des Greifreifenrollstuhls*. Berlin, Springer Verlag.
- VanLandewijck YC, Spaepen AJ, Lysens RJ, Wheelchair propulsion efficiency: movement pattern adaptations to speed changes. *Med & Sci in Sports Exerc* 26: 1373-1381, 1994.
- Veeger HEJ, Woude LHV van der, Rozendal RH (1989) The effect of rear wheel camber in manual wheelchair propulsion *J Rehab Res & Dev*, 26, 37-46
- Veeger HEJ, Woude LHV van der, & Rozendal RH (1991a) Within-cycle characteristics of the wheelchair push in sprinting on a wheelchair ergometer. *Med Sci Sports & Exerc* 23 (2), 264-271.
- Veeger HEJ, Woude LHV van der, Rozendal RH (1991b), Load on the upper extremity in manual wheelchair propulsion *J Electrom & Kinesiol*, 1, 4, 270-280.
- Veeger HEJ, Woude LHV van der & Rozendal RH (1992). A computerized wheelchair ergometer: results of a comparison study *Scan J Reh Med* 24, 17-23.
- Veeger HEJ, Woude LHV van der (1994) Force generation in manual wheelchair propulsion In: XIII Southern Biomedical Engineering Conference (Vossoughi J, ed), 779-782.
- Whitt FR, Wilson GR (1979) *Bicycle science, ergonomics and mechanics*, MIT press, London.
- Wolfe GA, Waters R, Hislop HJ (1977), Influence of floor surface on the energy cost of ambulation in spinal cord injury. *Physical Therapy* 57, 1022-1027.
- Woude LHV van der, Groot G de, Hollander AP, Ingen Schenau GJ van, Rozendal RH (1986), Wheelchair ergonomics and physiological testing of prototypes *Ergonomics* 29, 1561-1573.
- Woude LHV van der, Veeger HEJ, Rozendal RH, Ingen Schenau GJ van, Rooth F & Nierop P van (1988a), Wheelchair racing: effects of rim diameter and speed on physiology and technique. *Med Sci in Sports & Exerc* 20 (5), 492-500.
- Woude LHV van der, Veeger HEJ, Rozendal RH, Ingen Schenau GJ van, Rooth F & Nierop P van (1988b), Wheelchair racing: effects of rim diameter and speed on physiology and technique *Med Sci Sports & Exerc* 20, 492-500.
- Woude LHV van der (1989), *Manual wheelchair propulsion: an ergonomic approach* Academic Thesis, Free University Press; Amsterdam.
- Woude LHV van der, Veeger HEJ, Rozendal RH, Seat height in hand rim wheelchair propulsion: a follow-up study *J Rehab Sci* 3, 79-83, 1990.
- Woude LHV van der, Boer YA de, Veeger HEJ, Rozendal RH (1993), Ergonomics of manual wheelchair propulsion: physiology of a newly designed lever mechanism. *J Med Eng Tech.*, 17,6,232-240.
- Woude LHV van der, Maas K, Veeger HEJ, Rozendal RH (1995a) Physiological responses during hubcrank and handrim wheelchair propulsion: a pilot study *J Reh Sci*, 8, 1, 13-19
- Woude LHV van der, Kranen E van, Ariens G, Rozendal RH, Veeger HEJ (1995b), Physical strain and mechanical efficiency in hubcrank and handrim wheelchair propulsion, *J Med Eng & Tech*, 123-19, 4, 131

Cabaret Woudschoten '95

C.M.Drukker

Dames en heren,

De Woudschotenconferentie viert vandaag zijn 6de lustrum en die periode van 30 jaar kan je ruwweg verdelen in een helft ongemengd en een helft gemengd. U weet misschien dat ongemengde klassen bij Natuurkunde, voor meisjes goed zijn, maar voor jongens erg slecht!

In 1975 vroeg een collega aan mij om mee te gaan naar de Woudschotenconferentie, die was altijd leuk en leerzaam zei hij. Het was de laatste in Woudschoten zelf. Bij de grote zaal waren klapdeuren en daarna de overweldigende aanblik van alleen maar mannen. Mijn eerste impuls was om meteen weer om te keren en ik was toch al wat gewend door mijn studie.

In 1980 kwam er voor het eerst een groep natuurkundigen bijeen om eens over het grote verschil tussen jongens en meisjes te praten. Ik kreeg het twijfelachtige voorrecht om op de 15de conferentie namens deze groep een lezing te geven over de factoren die een rol spelen in dat proces en de wijze waarop dat kon worden verbeterd.

Het publiek was bepaald niet welwillend.

Ik heb de lezing voor dit congres weer eens doorgelezen we hadden het zeer voorzichtig geformuleerd, maar voor de meeste toehoorders stond als een paal boven water dat meisjes geen aanleg hebben voor ons vak, dus wij maakten een probleem van een vaststaand feit. Toen ik klaar was knikte de toenmalige voorzitter, mij bemoedigend toe en zei "keurig hoor meisje".

Na die conferentie is de werkgroep "Meisjes en Natuurkunde" opgericht. Inmiddels is deze groep uitgegroeid tot de stichting "Vrouwen en Exact" met een eigen bureau. Veel van de hindernissen zijn opgeruimd, u kunt dat al een beetje zien als u hier om u heen kijkt, we worden aardig gemengd.

Misschien denkt u dat we naar 50% streven op deze conferentie. Dat is niet waar! We willen het wel een beetje exclusief houden. Als Natuurkunde-docent kunt u dagelijks profiteren van de hoge status van het vak, dan kunt u nagaan hoe dat voor ons, met onze kleinere her-

senhelft, is. Volgens de psychologie die steeds bereid is om van vrouwenzaken een probleem te maken lijden wij aan het Queen Bee-syndroom .

Het meest opmerkelijke is nog steeds de voorzichtigheid waarmee het onderwerp jongens en meisjes te berde wordt gebracht. Had iedere rechtgeaarde Natuurkunde-docent vroeger veel slimme jongens en een enkel dom meisje in de klas, nu mag je dat absoluut niet meer zeggen. Ik kom beide sexen in alle gradaties dagelijks tegen. Het woord vrouwvriendelijk is een beetje uit, nu moet Natuurkunde leuk zijn voor meisjes, zie de instructies van de Stuurgroep.

Ik weet nog steeds niet wat er mee wordt bedoeld, natuurkunde is lang niet altijd leuk en meisjes zijn geen gehandicapten die vooral moeten worden ontzien. Zeker nu na het maken van het nieuwe eindexamenprogramma, vraag ik mij af wie er in de naaste toekomst hulp nodig hebben, jongens of meisjes om aan alle eisen te voldoen

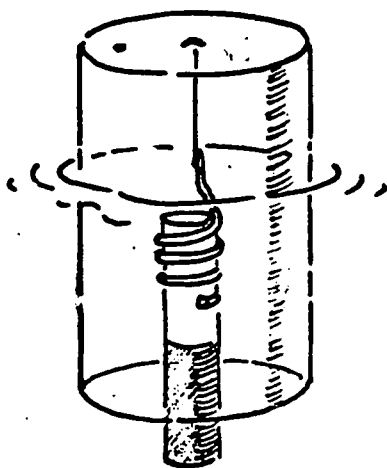
We willen het lustrum van Woudschoten en dat van de Stichting niet ongemerkt voorbij laten gaan. We bieden u een cadeautje aan omdat u zich zo wonderwel hebt aangepast aan de nieuwe situatie en u mag best af en toe iets minder politiek correct zijn, als u er maar voor zorgt dat uw klassen gemengd zijn

We hebben aan de cabaretiere Hester Macrander gevraagd om ons tussen alle serieuze lezingen en werkgroepen een half uur te vermaken.

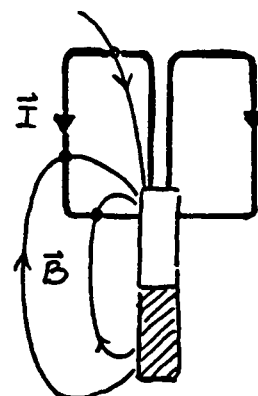
Inleiding lezing van Dr.Parker door

L. G. R. Mathot

Om Dr. Parker in te leiden op deze conferentie over 'locomotie' toonde ik een elektromotor à la Faraday. De zinken bus (uit een cel) doet dienst als elektrode maar ook als rotor: een batterij die zichzelf ronddraait! De andere elektrode van koperdraad is om de magneet gewikkeld.



De lorentzkracht op de bus - en op de vloeistof: verdund zwavelzuur - is in de drie aangegeven punten naar voren gericht. Een transparant met daarop 'Michael Faraday' boven op de bus geplakt, maakte de draaiing zichtbaar op de overhead.



100 meter sprint: een snelheidsverloop met meerdere dimensies

Ch. Delecluse

1. Algemene Probleemstelling

Uit analyses van sprintwedstrijden blijkt dat een atleet die goed presteert in de eerste fase van een 100 meter sprint, niet steeds even goed presteert in de daaropvolgende fasen van het wedstrijdverloop. Bij atleten met uitzonderlijke kwaliteiten is het soms mogelijk om met het blote oog deze verschillen in prestatieniveau tussen de afzonderlijke fasen op te merken. Ben Johnson en Nelli Cooman zijn twee voorbeelden van topsprinters die in de eerste fase van het snelheidsverloop duidelijk beter presteren dan concurrenten met eenzelfde 100 meter eindtijd. Carl Lewis en Merlene Ottey behoren dan weer tot de categorie van de relatief trage starters. Hun sterkste kwaliteiten situeren zich in de twee laatste fasen van het snelheidsverloop.

Deze vaststellingen impliceren dat per fase andere specifieke prestatiebepalende eigenschappen van belang worden. Op het eerste zicht lijkt het evident om de topsprinters op basis van hun dominante fase binnen het snelheidsverloop, te gaan onderverdelen in verschillende types. Voor de analyse van de sprintprestatie, en in het kader van een wetenschappelijk gefundeerde trainingsbegeleiding, is het dan ook belangrijk om de prestatie binnen elke fase van het snelheidsverloop afzonderlijk, te kunnen kwantificeren. De analyse van de sprintprestatie wordt hierbij opgesplitst in een analyse van de loopsnelheidsgegevens, en een analyse van de startactie.

2. Registratie van de loopsnelheid

2.1. Probleemstelling

Een grondige analyse van de loopsnelheid is enkel mogelijk wanneer de variaties binnen het snelheidsverloop nauwkeurig geregistreerd kunnen worden. In de meeste studies gericht op het analyseren van sprintprestaties, wordt gebruik gemaakt van de straaldoorbrekingstechniek, waarbij het bijvoorbeeld mogelijk is per 10 meter interval een gemiddelde snelheid te berekenen. De nauwkeurigheid van deze registratie is beperkt aangezien het doorbreken

van de infra-rood straal niet steeds in dezelfde houding, en vaak niet door hetzelfde lichaamssegment gebeurt. Daarom wordt in deze studie gebruik gemaakt van de velocimeter die een bijna continue snelheidsregistratie mogelijk maakt. De velocimeter werd ontwikkeld aan het Instituut voor Natuurkunde van de K.U. Leuven, in samenwerking met de Faculteit voor Lichamelijke Opvoeding en Kinésitherapie (Witters e.a. 1985).

2.2. De Velocimeter

Bij het gebruik van de velocimeter wordt een lichte nylondraad vastgemaakt ter hoogte van het bekken van de sprinter. Bij het voorwaarts bewegen wordt de draad, in de velocimeter, over een spoel afgerold. Door middel van een elektromotor, gekoppeld aan de as van de afrolspoel wordt de draad gespannen gehouden, zonder dat de loper hiervan enig nadeel ondervindt. Na elke halve omwenteling van de spoel, dit is na een voorwaartse verplaatsing van 0.1 meter, wordt de intervaltijd geregistreerd door middel van een infra-rood sensor. Aldus kan per 0.1 meter-interval de gemiddelde snelheid berekend worden. Bij de verwerking wordt de snelheidscurve gesmooth en is er een reductie van de data tot snelheids- en tijdsgegevens per twee meter-interval. De validering van het gebruik van de velocimeter voor de registratie van loopsnelheid gebeurde door middel van filmanalyse (Bohets 1987). Bij elke sprinttest wordt aldus de loopsnelheid en de looptijd bepaald per twee meter interval : na 2, 4, 6, 8, ..., 100 meter.

Bij de interpretatie van deze gegevens dient er rekening mee gehouden dat de registratie van de velocimeter begint op het ogenblik dat de atleet zijn voorwaartse verplaatsing aanvangt. Dit betekent dat binnen de aldus berekende looptijden geen rekening wordt gehouden met de latente fase (reactietijd) na het startsignaal.

2.3. Analyse van de snelheidsgegevens

Op basis van literatuurgegevens worden drie fasen onderscheiden binnen het snelheidsverloop en wordt de prestatie binnen de respectievelijke fasen als volgt gekwantificeerd:

De gemiddelde versnelling tijdens het eerste tien meter interval: In de eerste fase streeft de atleet ernaar om binnen een zo kort mogelijk tijdsinterval, een zo hoog mogelijke snelheidsopbouw te verwezenlijken. Aangezien deze grote snelheidstoename zich beperkt tot de eerste passen, wordt aangenomen dat de prestatie binnen deze fase bepaald kan worden op basis van de gemiddelde versnelling binnen het eerste tien meter interval (A10). Met andere woorden de bereikte snelheid na tien meter afgelegde weg wordt gedeeld door de tijd, geregistreerd na tien meter.

De maximale loopsnelheid: In de tweede fase komt het erop aan om de snelheid verder op te bouwen tot een zo hoog mogelijke maximale loopsnelheid. Het prestatieniveau binnen deze fase kan dus best bepaald worden op basis van de bereikte maximale loopsnelheid (Vmax).

De procentuele snelheidsdaling tijdens de laatste 40 meter: De doelstelling van de derde fase is uiteraard het zo lang mogelijk aanhouden van de maximale loopsnelheid, gevolgd door een minimaal snelheidsverlies. Hier dient dus een relatieve waarde berekend te worden namelijk het snelheidsverlies ten opzichte van de maximale snelheid. Er wordt geopteerd voor de laatste 40 meter aangezien uit eigen onderzoeksgegevens en uit literatuurgegevens blijkt dat bijna alle competitiesprinters hun maximale loopsnelheid bereiken binnen de eerste 60 meter van de 100 meter sprint. Deze parameter, die verder afgekort wordt als '%uith' is dan de gemiddelde snelheid tijdens de laatste 40 meter uitgedrukt in percent van de maximale loopsnelheid.

2.4. Vergelijkende gegevens

De hierboven uitgewerkte methode voor het analyseren van loopsnelheidsgegevens bij een sprintprestatie kan nu aangewend worden om de prestatie van atleten van verschillend prestatieniveau binnen de verschillende fasen van het snelheidsverloop te vergelijken. In tabel 1 worden deze gegevens voor vier proefgroepen weergegeven: studenten lichamelijke opvoeding, competitiesprinters, mannelijke topsprinters en vrouwelijke topsprinters. Bij de mannelijke en vrouwelijke topsprinters betreft het geen snelheidsgegevens over een 100 meter test maar wel over respectievelijk 60 en 40 meter.

Tabel 1: Vergelijking van de parameters per fase: A10, Vmax, %uith, 40 meter tijd (T40), 60 meter tijd (T60) en 100 meter tijd (T100) bij studenten, competitiesprinters en bij mannelijke en vrouwelijke topsprinters.

	STUDENTEN (N=78)		COMPETITIE- SPRINTERS (N=18)		TOPSPRIN- TERS (N=3)		TOPSPRINT- STERS (N=5)	
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
A10 (m/s ²)	3.73	0.25	4.37	0.21	4.48	0.16	3.98	0.24
Vmax (m/s)	9.07	0.45	10.49	0.25	11.20	0.06	10.06	0.37
%uith (%)	94.35	1.69	95.68	1.43	-	-	-	-
T100 (s)	12.46	0.55	10.94	0.22	-	-	-	-
T40 (s)	5.52	0.21	5.01	0.11	4.85	0.06	5.23	0.09
T60 (s)	7.77	0.31	6.95	0.14	6.65	0.05	-	-
V40 (m/s) ¹	8.98	0.45	10.32	0.26	11.07	0.01	9.98	0.39

¹⁾ omdat op de kortere afstanden niet met zekerheid kan gesteld worden dat de absolute Vmax bereikt wordt, wordt voor het vergelijken van de verschillende niveau groepen ook de snelheid op het 40 meter punt weergegeven

In tabel 1 worden de snelheidsgegevens van sprinters van verschillend prestatieniveau weergegeven. Uit verdere analyse blijkt dat de vorm van de snelheidscurve bij de verschillende prestatieniveaus zeer analoog is: de hoogste prestatieniveaus onderscheiden zich vanaf het begin tot het einde door een hogere loopsnelheid en de verschillen worden groter naargelang de afgelegde weg toeneemt. Alle verschillen tussen competitieprinters en studenten zijn significant op het 1%-niveau, dus vanaf 2 meter tot 100 meter blijken de competitieprinters significant sneller te lopen, en ook voor wat betreft %uith scoren ze beter dan de studenten. De mannelijke topsprinters onderscheiden zich in hoofdzaak door een zeer hoge maximale loopsnelheid namelijk gemiddeld 11.20 m/s.

Tabel 2: De A10, Vmax, en eindtijd (T40) bij een 40 meter sprinttest bij Nelli Cooman en Merlene Ottey.

VARIABELE	40 meter sprint uit startblok	
	COOMAN	OTTEY
A10 (m/s ²)	4.35	3.96
Vmax (m/s)	9.47	10.48
T40 (s)	5.19	5.15

De vooropgestelde parameters kunnen ook gebruikt worden om individuele atleten onderling te vergelijken zoals dit in tabel 2 het geval is. Daarbij worden de snelheidsparameters van de vroegere en de huidige wereldrecordhoudster over 60 meter sprint: Nelli Cooman en Merlene Ottey naast elkaar geplaatst. Bij coaches bestaat de neiging om sprint(st)ers te catalogeren in types, afhankelijk van de dominante fase(n) binnen hun snelheidsverloop. In extreme gevallen zijn deze verschillen visueel waarneembaar. Dit is zeker het geval wanneer de sprintprestatie van Cooman en Ottey vergeleken wordt. De uitzonderlijk hoge A10 en de relatief lage Vmax bij Cooman verklaart waarom deze atlete is uitgegroeid tot een typische 60 meter-loopster. De hoge maximale snelheid van Ottey verklaart waarom ze zowel op 60, 100 en 200 meter tot de absolute wereldtop behoort. Het verschil in eindtijd bij deze tests bedroeg slechts 4 honderdsten, in het voordeel van Ottey.

3. Registratie van de startactie

3.1. Probleemstelling

Het is uiteraard de bedoeling dat de atleet door het aanwenden van de startblokken een hogere snelheid ontwikkelt, en aldus in het eerste wedstrijdgedeelte een tijdswinst boekt. Deze startactie is een complexe skill waarbij beide benen een duidelijk verschillende afstootactie uitvoeren. De afstoot van het been tegen het achterste blok is relatief

kort en wordt gevolgd door een snel naar voor brengen van het been om de eerste steun uit te voeren. Tegen het voorste blok daarentegen duurt de afstoot veel langer en deze strekactie wordt gevolgd door een snelle buigactie aangezien dit been bij de eerste steun als zwaaibeen wordt ingezet. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat elke sprinter poot om de blokken te verlaten met een zo groot mogelijke horizontale snelheid en dit binnen een zo klein mogelijk tijdsinterval. De efficiëntie van een startactie kan dus gedeeltelijk bepaald worden aan de hand van de duur van de afstoot en de hierbij ontwikkelde horizontale snelheid. Vanuit deze optiek wordt een startblok ontwikkeld die het mogelijk maakt om in een wedstrijdspecifieke situatie de uitgeoefende horizontale krachten als functie van de tijd, per blok afzonderlijk, te registreren. Op basis van deze gegevens kan de starttijd en de startsnelheid berekend worden.

3.2 Registratie van de horizontale krachten uitgeoefend tegen de startblokken

Voor de registratie van de horizontale krachten tijdens de startactie wordt gebruik gemaakt van een competitiestartblok. Achter elke afstootblok wordt een druksensor geplaatst. Door middel van een veer en een verticaal steunblokje wordt het contact tussen afstootblok en druksensor verzekerd. Om bovendien de wrijvingskracht bij het overbrengen van de horizontale krachten op de druksensor te verminderen, is dit geheel op rollagers geplaatst.

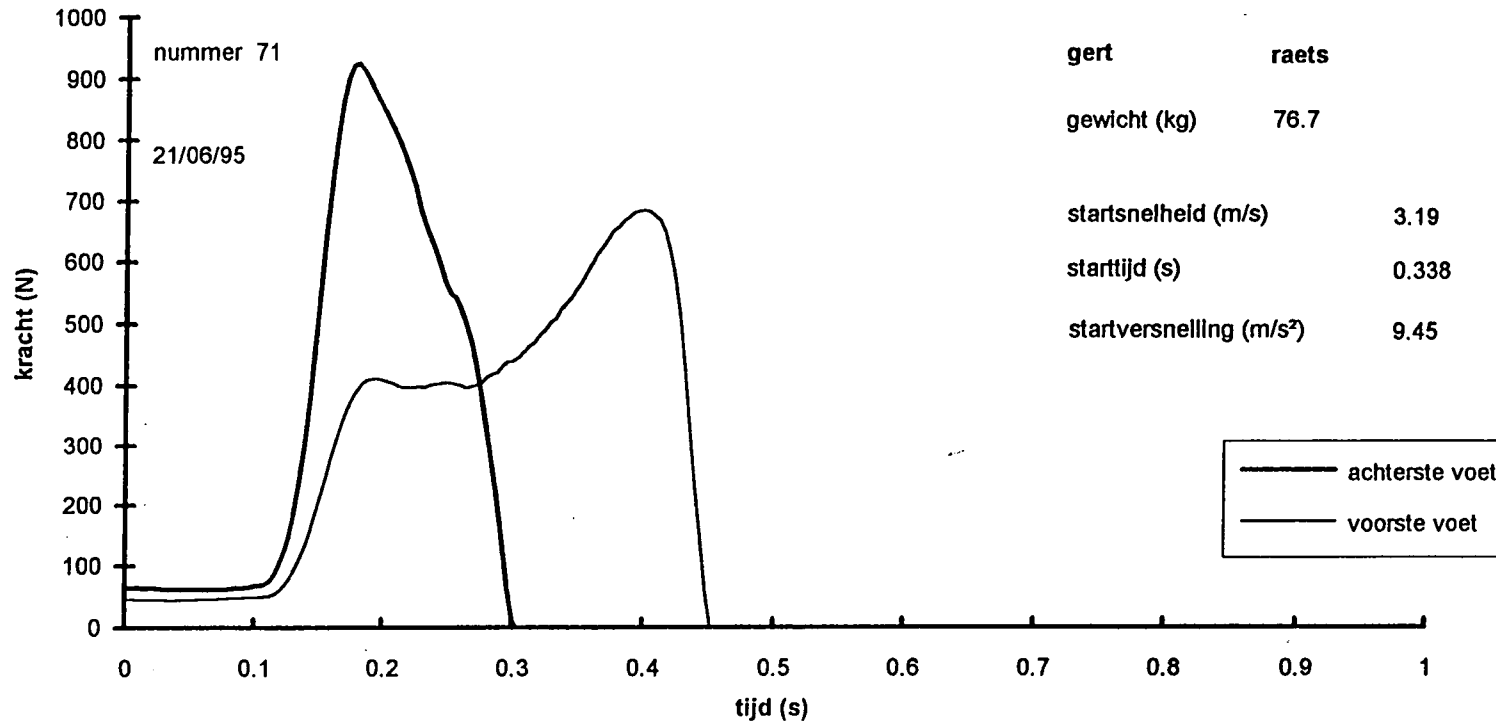
De werking van de druksensoren is gebaseerd op het principe van de 'Wheatstone-bridge'. Bij een krachtverandering ontstaat er volgens het principe van een rekstrookje een weerstandsverandering. Deze verandering zorgt voor een spanningsverschil over de uitgang. Dit analoog signaal wordt via een versterker doorgestuurd naar een PC die het analoog signaal door middel van een A/D-converter omzet tot een digitaal signaal wat toelaat de uitgeoefende kracht te bepalen.

Het meetsysteem wordt in werking gezet wanneer de proefleider door middel van een klapper het startsignaal geeft. De eerste seconde volgend op dit startsignaal worden voor elke blok afzonderlijk 1000 registraties uitgevoerd. Aldus wordt per blok een curve van de horizontale kracht als functie van de tijd bekomen (figuur 1).

3.3. Analyse en interpretatie van de de horizontale kracht-tijd curve

Zoals in de probleemstelling geformuleerd wordt, is het de bedoeling door middel van deze startregistratie te bepalen hoeveel tijd de atleten nodig hebben om de blokken te verlaten, alsook welke horizontale snelheid ze daarbij ontwikkelen. Om de afstootduur te kunnen bepalen dient een onderscheid gemaakt tussen de werkelijke afstootactie en de latente fase. Uit figuur 1 blijkt dat de krachtcurve na 0.115 seconde, na een periode van relatief constante kracht, plots sterk stijgt. Deze eerste periode met een relatief constant krachtniveau, volgend op het startsignaal, is de zogenaamd latente fase waarbij de

Startanalyse



proefpersoon nog niet reageert op het startsignaal, en waarbij dus enkel die krachten geregistreerd worden die het gevolg zijn van de starthouding. Deze kracht wordt 'voorspanning' genoemd. De plotse stijging van de curve is dan het begin van de afstootactie. De duur van de latente fase wordt 'reactietijd' genoemd. De berekening van de andere gebeurt als volgt:

Afstootduur (s): de afstootduur is de tijdsperiode tussen het begin van de stijging van de krachtencurve en het punt waarop de kracht gelijk wordt aan nul.

Impuls (Ns): door integratie van de krachtencurve over de volledige afstootduur wordt de impuls berekend

Maximale Kracht (N): dit is de hoogste geregistreerde kracht tijdens de afstootduur

De bovenstaande gegevens (+ reactietijd en voorspanning) worden per afstootblok afzonderlijk berekend. De drie onderstaande meetgegevens hebben betrekking op de totale startactie.

Starttijd (s): dit is de afstootduur tegen het voorste blok verminderd met de kortste reactietijd

Startsnelheid (m/s): dit is de som van de impuls tegen beide blokken, gedeeld door de lichaamsmassa. Het betreft hier uiteraard de horizontale startsnelheid

Gemiddelde startversnelling (m/s²): aangezien elke atleet streeft naar de optimale combinatie van een korte starttijd en een hoge startsnelheid, kan de startactie globaal het best geëvalueerd worden op basis van de gemiddelde horizontale startversnelling: startsnelheid gedeeld door starttijd. Voor de startcurve in figuur 1 worden dan volgende parameters berekend (zie tabel 3).

Tabel 3: De berekende parameters voor de startcurve weergegeven in figuur 1

berekende startparameters (lichaamsgewicht=76.7 kg)		
startsnelheid (m/s)	3.53	
starttijd (s)	.359	
startversnelling (m/s ²)	9.83	
	voorste blok	achterste blok
reactietijd (s)	0.115	0.110
afstootduur (s)	0.333	0.188
voorspanning (N)	46	62
maximale kracht (N)	684	925
impuls (N s)	142	103

In tabel 4 worden de gemiddelde waarden voor de startvariabelen bij drie mannelijke en vijf vrouwelijke topsprinters, en bij 18 starts van Nelli Cooman weergegeven.

Voor wat betreft de afstootduur wordt vastgesteld dat er weinig verschil is tussen mannelijke (331 ms), en vrouwelijke topsprinters (322 ms). Wel blijkt de afstootduur tegen het achterste blok opvallend kort bij de mannelijke topsprinters. Verder scoren de topsprinters duidelijk het hoogst op alle kracht-, impuls-, snelheids- en versnellingsvariabelen.

De belangrijkste verschillen tussen mannelijke en vrouwelijke topsprinters situeren zich op het vlak van de verhoudingen berekend tussen voorste en achterste blok voor de kracht- en impulswaarden. Waarbij de vrouwelijke topsprinters verhoudingsgewijs beter scoren op de variabelen van het achterste blok in vergelijking met deze van het voorste blok.

In tabel 4 worden ook de startvariabelen van N. Cooman weergegeven, zij heeft een internationale reputatie als zeer goede startster. Hieruit blijkt dat de startactie van Cooman vooral gekenmerkt wordt door een korte afstootduur tegen het voorste blok die resulteert in een zeer korte starttijd. Gezien haar prestatieniveau scoort Cooman laag op de kracht-, impuls-, snelheids- en versnellingsvariabelen. Voor wat betreft de verhouding van de impuls tegen het voorste en achterste blok scoort ze zelfs opvallend anders ten opzichte van het gemiddelde van de vijf topsprintsters. In verhouding tot de actie tegen het voorste blok maakt Cooman blijkbaar weinig gebruik van het achterste blok.

In tabel 5 worden de individuele startkarakteristieken van vijf topsprintsters weergegeven: Merlene Ottey, Nelli Cooman, Sheila Echols, Michele Finn en Esther Jones. Hierbij wordt vastgesteld dat één atlete namelijk Echols tot een extreem hoge startversnelling van 12.53 m/s² komt, en dat dit een gevolg is van een optimaal gebruik van de mogelijkheden van het achterste blok. Ze is de enige van deze atletes die een grotere horizontale impuls ontwikkelt tegen het achterste blok ten opzichte van het voorste blok. Dit is uitzonderlijk aangezien de afstootduur tegen het voorste blok merkelijk groter is. Echols beperkt haar afstootduur tegen het voorste blok tot een minimum wat als positief gevolg heeft dat de totale starttijd daalt, maar dit leidt ook tot een lagere impuls tegen het voorste blok. Dit laatste negatieve effect wordt bij Echols opgevangen door een zeer hoge impuls tegen het achterste blok te ontwikkelen. De startactie van Echols is weliswaar een extreem voorbeeld, maar dit toont toch aan op welke wijze verschillen in kracht en impuls tegen het achterste blok bepalend kunnen zijn voor verschillen in startversnelling.

Tabel 4: De gemiddelde startkarakteristieken bij 3 mannelijke en 5 vrouwelijke sprinters van internationaal niveau, en bij 18 starts van Nelli Cooman (VV=voorste voet / AV=achterste voet).

VV=voorste voet AV=achterste voet		topsprinters (N=3)		topsprintsters (N=5)		Nelli Cooman (N=18)	
variabele		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
Vblok (m/s)		3.61	0.23	3.33	0.32	2.41	0.27
Tblok (millisec)		331	19	322	43	309	12
Ablok (m/s ²)		10.95	1.05	10.34	1.22	7.78	0.67
afstootduur (millisec)	VV	326	27	320	45	300	14
	AV	140	20	159	18	161	12
voorspanning (N)	VV	27	14	39	45	17	24
	AV	83	30	71	39	28	28
max. kracht (N)	VV	885	164	546	109	499	59
	AV	1008	501	703	103	525	48
	VV/AV	1.18	0.91	0.80	0.25	0.96	0.14
gem. kracht (N)	VV	569	37	355	74	357	38
	AV	708	285	463	100	293	27
impuls (N s)	VV	186	26	115	35	108	15
	AV	102	50	74	21	47	7
	totaal	288	59	189	41	155	17
	VV/AV	2.39	1.77	1.72	0.90	2.32	0.49

Tabel 5 : De belangrijkste startkarakteristieken bij vijf topsprintsters : Nelli Cooman, Sheila Echols, Merlene Ottey, Michele Finn en Esther Jones.

	ECHOLS		OTTEY		JONES		COOMAN		FINN	
Ablok	12.53		9.83		9.84		9.74		9.77	
Vblok	3.31		3.53		3.75		2.99		3.06	
Tblok	264		359		369		307		313	
*	VV	AV	VV	AV	VV	AV	VV	AV	VV	AV
impuls/massa	1.53	1.78	1.78	1.75	2.82	0.93	2.06	0.93	1.8	1.23
afstootduur	257	155	359	188	369	164	307	144	309	143

* VV = voorste voet

AV = achterste voet

Referenties

- Witters J; Heremans G; Bohets W; Van Coppenolle H; Stijnen V, 1985, Construction and testing of a wire velocimeter, *Journal of Sport Sciences* 3, 197-206.
- Bohets W, 1987, *Bepalen van de loop-, afstoot-, sprongtechnische kwaliteiten in functie van het verspringen*, 222p (Leuven: KULeuven; doctoraatsproefschrift lichamelijke opleiding).

The physics of skiing

S. Sjöberg


Norwegian contributions to mankind

- The paper clip
- The cheese cutter
- (Harpoon gun for whaling - or is it Dutch?)
- SKI (Meaning: Split piece of wood)
- Historical antecedents: Rock carvings from 2000 BC
- Visit the Ski Museum under the Holmenkollen ski jump!

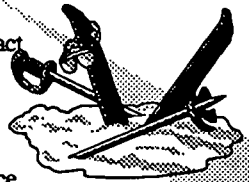
Skiing culture, 1

- Oslo: Skiing possible 6 months+: November to end of April
- Winter days are short, 5 hours in Oslo, (How high the sun?) Dark in the North
- Oslo: Some 300 km well prepared tracks with light in the evenings
- Summer skiing on glaciers
- Summer: Roller skis, and other simulations

Skiing culture, 2

- 'Norwegians are born with skis'
- School start at 7, motivated by 
- Mass sport, up to 10 000 in competitions
 - (Total Power output?)
 - (Energy dissipation in tracks: heating, melting?)
- Weekends in Oslo: 100 000 touring in the forests

Skiing - advantages

- Smooth, gliding, low impact movements
 - Few injuries
 - Exercises the whole body
 - Fresh air, nature experience
 - Enduring, long distance (90+ km) in some competitions
 - Competitors up to age 80+
- 

Understanding skiing: Interdisciplinary approach

- Requires Human biology, psychology, chemistry, physics etc. At the social level: sociology, economy, R&D etc.
- Whenever things happen (or don't), then there is PHYSICS in it!
- Our concern: Cross country or 'touring'
- BUT: Real life vs. idealized world of the lab

Basic skiing physics, 1

- Historical roots: To move by sliding and walking through deep and loose snow
- The (modern) ski as a **mechanical construction**
- Important: Pressure distribution
 - When gliding on two skis: Only front and back, middle part 'free'
 - When pushing: Pressure on middle (waxed) area
 - (Correct stiffness of prime importance - also for amateurs)
- The 'dialectics' of skiing: Minimize gliding friction *and* maximize static friction

Basic skiing physics, 2

- Choice of ski construction: depending on uses
 - Narrow and light for high speed and well-prepared tracks
 - Broader (Hence: heavier) for loose snow, forests, mountain terrain
- Ski profiles
 - Narrow on middle part gives good stability for manoeuvring in loose snow
 - Narrow at ends, 'boat' form: For good tracks, high speed, (experts only)
 - Paralell sides as a compromise

Changing skis

- Weight: From 5 kg to 1 kg
- Ski material:
 - From one-piece wood
 - To laminated wood and laminated air-filled wood
 - To glassfiber surface with various materials inside (Al-honeycomb, plastics etc.)
- Sole materials
 - Different qualities (and prices) High-molecular polythene, with graphite and carbon-black, structure-treated for different conditions

Changing skipoles

- From one to two,
- From one piece wood to bamboo
- From bamboo to aluminium, carbon-fibre, boron
- Research on pole material and construction, on hand-grip, on spear and disk

Cross-country differentiation

- Now: Two disciplines: 'Classical' and 'skating'
- Different skis (length, profile, stiffness distribution),
- Different poles (length, mechanical properties, grip etc.)
- Different bindings and boots
- (All regulated with international rules and conventions!)



Skiing: 'science friction'

- Tribology, the science of design, friction, wear and lubrication of interacting surfaces in relative motion
- Qualitative different explanations for *gliding* on snow and *static* friction for push
- Norwegian skiing research centre
- Drawing on industrial hi-tech research

Waxless skis (middle part treated)

- Traditional: removable sealskin with 'oriented fibres' to enhance pushing friction
- Newer synthetic versions of oriented fibers
- Wood has some positive surface properties (but absorbs water) - modern plastic soles *must* be treated
- Oriented engraved pattern to create mechanical backwards 'grip'
- Research on oriented mica embedded in sole material

Air resistance

- 50 km (marathon is 42 km) in 2 hours total time, with only seconds between the best!
- Speeds up to 70 km/h
- Wind-tunnel research on:
Body positions and movement,
clothing

Slide 22

The skiers' "beauty-box"

- Gas-burner (butane or propane?) and iron
- Surface treatment equipment
- Solvents (which ones)
- Sliding waxes (some 10 different)
- Friction waxes (some 30 different) on box
- Friction 'klistner'-tubes (some 20)

Slide 23

Recent development

- Expert skiing removed from 'ordinary' (equipment, prices, time for treatment etc.)
- Skiers as full time professionals
- R&D with industrial secrets, national pride and prestige
- New waxes: USD 10 000 per kg
- 'Success' may be bought (?)
- Result: The end to mass sport skiing?

Slide 24

Does physics help you?

- Technology driven - not science driven, Systematic trial and error
- Science as post-hoc knowledge - understanding why things work (or go wrong!)
- Skill-driven, not knowledge driven
- Does classical mechanics make you a better car driver? (Is there any evidence?)
- Mechanics of skiing, also at university level: 'Misconceptions' and pre-Newtonian mechanics!

Slide 25

Superfietsen

L.J.F. Hermans

Een fiets is een ongelooflijk efficiënt vervoermiddel. Niet alleen is een fietser ruwweg een faktor 5 efficiënter dan een voetganger; ook in vergelijking met andere transportmiddelen en voorbeelden uit het dierenrijk slaat een fietser alles en iedereen als het specifieke energiegebruik - d.w.z. per eenheid verplaatste massa - wordt vergeleken (zie fig. 1). Om enige grip te grijpen op het fenomeen fiets bekijken we eerst de gebruikte energiebron: de mens als motor.

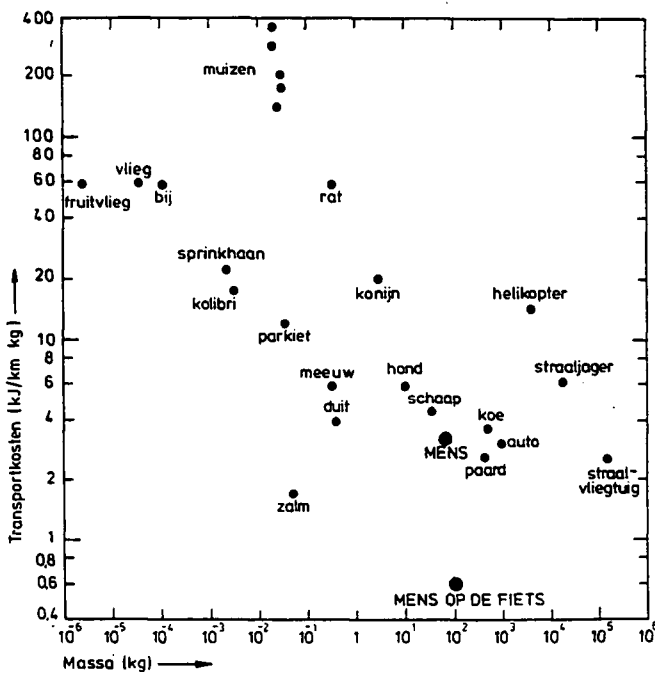


Fig.1: Het specifieke energiegebruik in kJ/(km.kg) voor verschillende vervoermiddelen en dieren, gerangschikt naar totale massa (uit: ENERGIE, een blik in de toekomst, L.J.F. Hermans en A.J. Hoff, red., Aula Paperback 73, Het Spectrum, Utrecht, 1982, p.63; Scientific American, March 1973, p.90).

Menselijke energie en warmtehuishouding

Zolang de uitwendige arbeid verwaarloosbaar is, is het energiegebruik in de vorm van voedsel ca. 10 MJ/dag (het "basaalmetabolisme"). Dit is gemiddeld ruim 100 W op continubasis. Een mens is dus - in rust - een kachel van ca. 100 watt. Als deze energie rechtstreeks uit olie zou worden betrokken zou dat per dag ongeveer 1/4 liter olie kosten: één glas olie per dag is - strikt genomen - voldoende om van te leven. We kunnen dit beschouwen als het energiegebruik bij "stationair draaien".

Wat presteert nu een mens als motor? Een makkelijke schatting is te geven aan de hand van traplopen. Via $E=mgh$ blijkt 1 tree van 15 cm met $m=70$ kg een energie van zo'n 100 J te kosten. Met 1 tree per seconde wordt dit een vermogen van 100 W. Deze inspanning is lang vol te houden. Veel meer wordt al moeilijk, zoals bergwandelaars weten (kortstondig komen we natuurlijk veel hoger: een trap oprennen met twee treden tegelijk en 4 stappen per seconde betekent al 800 W). Merk op dat een 10 uren werkdag op een hometrainer maar 1 kWh oplevert.

Hoe zit het nu met de warmtehuishouding bij het verrichten van arbeid? Het spierrendement voor fietsen blijkt (bv. via meting van de zuurstofopname) ca. 25% te kunnen bedragen. Dit betekent dus dat ca. 75% van de ontwikkelde energie als warmte vrijkomt. In de stationaire toestand moeten warmteproductie en warmte-afvoer gelijk zijn. Aangezien de warmte-afgifte door geleiding en straling wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen onze "buitenkant" en de omgevingstemperatuur kunnen deze twee bijdragen niet veel toenemen. De toegenomen warmteproductie moet dus bij gelijkblijvende omstandigheden bijna volledig door verdamping worden opgevangen (zie fig. 2).

Het energiegebruik van een fietser

Een ruwe - maar heel redelijke - schatting is als volgt te geven. Naar analogie van traplopen weten we dat 100 W mechanisch vermogen een goed richtgetal is voor duurzame inspanning met onze beenspieren. Op de fiets halen

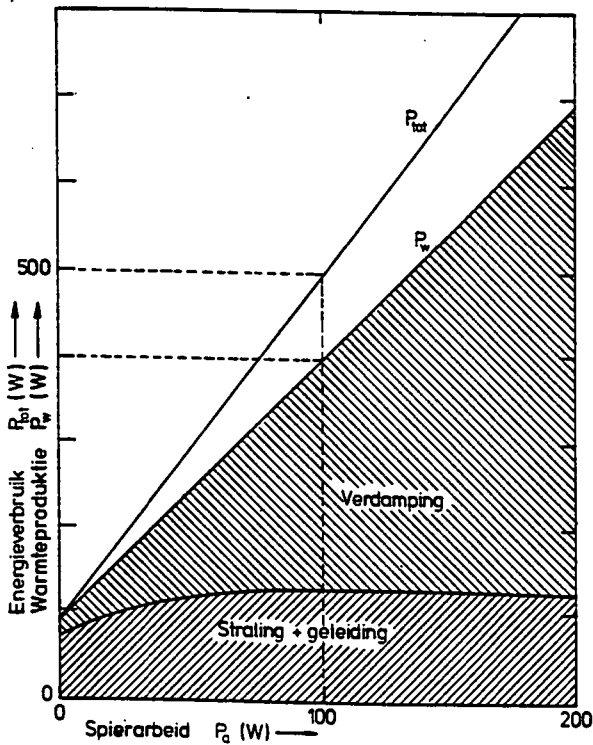


Fig.2: Totale energiegebruik P_{tot} en warmteproductie P_w als functie van de geleverde spierarbeid per seconde P_s bij een spierrendement van 25%. Ook is de warmte-afgifte geschetst voor het geval van een hometrainer, bij normale kleding en omgevingstemperatuur (zie tekst). Voor gewoon fietsen in de buitenlucht wordt de geleiding uiteraard geassisteerd door de grotere convectie bij toenemende snelheid, en gaat verdampen makkelijk. Voor gestroomlijnde superfietsen (b.v. fig. 6) kan de koeling voor problemen zorgen.

we daarmee ca. 20 km/h. Met 100 W mechanisch vermogen correspondeert ca. 400 W totaal bij een rendement van 25%, ofwel (zie boven) 1 liter olie per dag. Aangezien in die tijd ca. 24 * 20 km wordt afgelegd verbruikt een fietser dus ruwweg "1 op 500". Voor een meer precieze waarde moeten we een aantal zaken nader specificeren, zoals het soort fiets, de werkelijk aangehouden snelheid, enz.

Kracht en vermogen bij het fietsen

Van de weerstanden die moeten worden overwonnen zijn de verliezen in de overbrenging vrijwel verwaarloosbaar. Kogellagers geven een verlies van ca. 1%, een goed lopende ketting ca. 1,5%, en een dérailleur ca. 5% (zie ref. 2); de verliezen van een versnellingsnaaf blijken iets groter te zijn, behalve bij de "prise directe", waar ze nog iets onder die van de dérailleur liggen.

De werkelijke krachten die een fietser moet overwinnen zijn:

1. *De rolweerstand.* Deze is in goede benadering onafhankelijk van de snelheid. Hij wordt vrijwel geheel door de banden veroorzaakt, deels door hysteresis bij de vervorming van het rubber (de kringintegraal $F \cdot ds$ is ongelijk aan nul), en deels door Reynolds slip (het langs elkaar wrijven van de raakvlakken t.g.v. ongelijke vervorming). De rolweerstand kan worden geschreven als een fractie van de normaalkracht (het gewicht):

$$F_r = c_r \cdot mg,$$

waarbij de rolweerstandscoefficiënt c_r enkele promille bedraagt voor goed opgepompte banden.

2. *De luchtweerstand.* In het interessante snelheidsgebied is de stroming als turbulent te beschouwen. Uit de wet van Bernoulli ($p + 1/2 \rho v^2 = \text{constant}$) kunnen we met een afleiden dat de stuwdruk vóór een vlak loodrecht op de luchtstroom gelijk is aan $1/2 \rho v^2$, waarbij ρ de dichtheid van de lucht is. Voor een voorwerp met een willekeurige vorm en een frontaal oppervlak A levert dit een kracht

$$F_d = c_d A \cdot 1/2 \rho v^2,$$

met c_d de vormafhankelijke "drag coefficient" is, van de orde 1 voor de gewone fiets tot 0,1 voor superfietsen (de limietwaarde is ca. 0,05 voor de ideale stroomlijn, ongeveer een visvorm). Voor het relevante snelheidsgebied kan c_d in zeer goede benadering als constant worden beschouwd.

De totale kracht,

$$F = F_r + F_d$$

is nu ook meteen het energiegebruik per eenheid van afstand (een newton is een joule per meter). In fig. 3 is dit weergegeven voor een gewone fiets als het ene uiterste, en een zeer goed gestroomlijnde superfiets als het andere. We zien dat bij hoge snelheden de luchtweerstand veruit dominant is. Voor snelheidsrecords is de stroomlijn dus het enige wat echt telt. Superfietsen, ofwel "Human Powered Vehicles (HPV's)" munten dus uit door een perfecte stroomlijn, gecombineerd met een zo klein mogelijk frontaal oppervlak. Dat kan (maar hoeft niet) op basis van het ligfiets-concept.

Voor een gewone fiets bij 20 km/h blijkt F zo'n 15 N. Het energiegebruik is daar dus ca. 15 kJ/km (mechanisch) ofwel ca. 60 kJ/km totaal. Merk op dat dit heel aardig klopt met fig. 1 als we de totale verplaatste massa van zo'n 100 kg in rekening brengen.

De totale kracht F is overigens met een eenvoudig experiment redelijk goed te meten door een fietser voort te trekken met een andere fiets of een auto, en de uitrekking van een elastiek te meten dat deel uitmaakt van de "sleepkabel". Het calibreren m.b.v. het gewicht van een emmertje water is simpel.

Het benodigde vermogen vinden we via $P = F \cdot v$. Bij hogere snelheden, waar de luchtweerstand domineert, is P dus vrijwel evenredig met de derde macht van de snelheid. In fig.4 is P geschetst als functie van de snelheid, weer voor de twee uitersten. Met een superfiets blijken

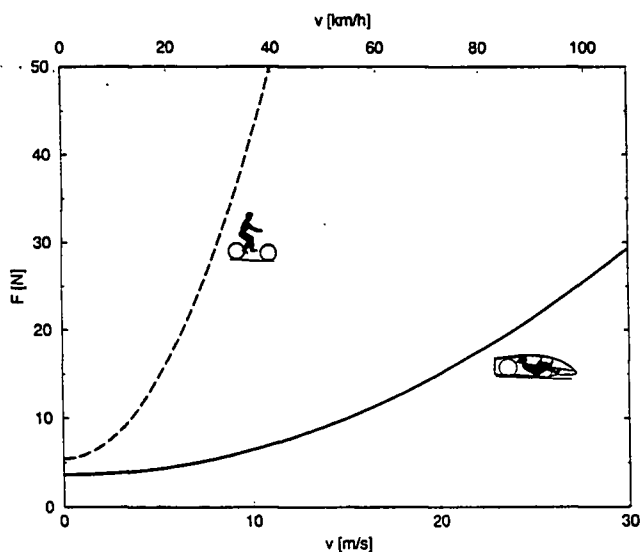


Fig.3: De totale kracht $F = F_r + F_d$ die een fietser moet overwinnen op een vlakke weg bij constante snelheid, voor een traditionele Hollandse fiets en voor een goede superfiets als functie van de snelheid. De gebruikte parameters staan in Fig. 5. Merk op dat de totale kracht bij maximale snelheid voor de superfiets veel lager ligt dan voor de gewone fiets, ook al is de snelheid veel hoger. Dit komt doordat het uiteindelijk beschikbare vermogen $F \cdot v$ de beperking vormt (zie fig.4).

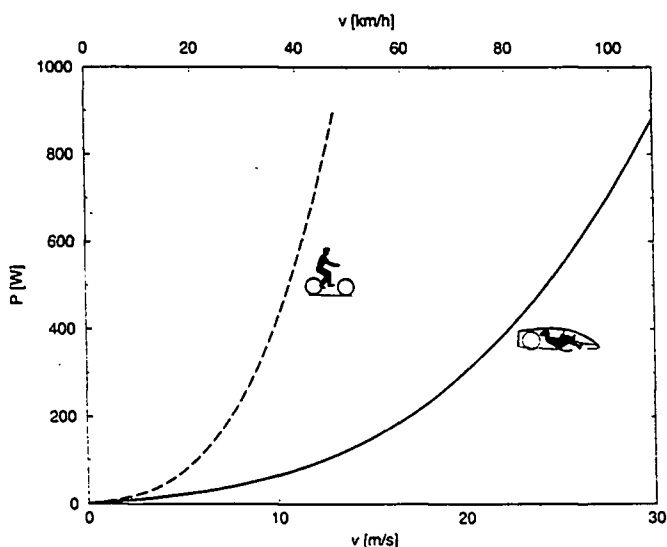


Fig.4: Het benodigde vermogen $P = F \cdot v$ voor de twee gevallen van fig.3.

snelheden van rond 100 km/h haalbaar tijdens een korte krachtexplosie waarbij een vermogen van 750 W (ofwel 1 pk) wordt ontwikkeld.

Rekenvoorbeelden

In fig.5 zijn een aantal gegevens voor verschillende soorten fietsen bij elkaar gezet. Daar zitten ook twee hypothetische fietsen bij. De eerste is de "perfect prone streamli-

ner", een fiets met de ideale stroomlijn en minimaal frontaal oppervlak, en met verwaarloosbare rolweerstand (denk aan wielen van een zeer hard materiaal op een onvervormbare weg). Deze geeft dus het best bereikbare op aarde weer, zolang althans de luchtweerstand niet wordt uitgeschakeld (zie beneden). De hoogst bereikbare snelheid bij 750 W blijkt dan ruim 200 km/h te zijn. De tweede is de "Moon bike", want op de maan kan het uiteraard nog veel harder, bij afwezigheid van luchtweerstand en slechts 1/6 van de aardse zwaartekrachtsversnelling. Zelfs mét ruimtepak en met een "aardse" waarde voor c_r , zou daar een snelheid van 3820 km/h mogelijk zijn (de helft van de ontsnappingsnelheid!).

		c_r	m kg	c_d	A m ²	v_{750} km/h	v_{7500} km/h
Traditionele fiets		0,006	90	1,1	0,51	18	44
Racefiets		0,003	81	0,88	0,36	24	55
Tandem		0,0045	163	1,0	0,48	25	59
Superfiets HPV		0,006	90	0,10	0,44	40	102
Perfect streamliner		—		0,05	0,13	94	203
"Motor Pacing"		0,006	91	—		47	470
"Moon Bike"		0,0045	90	—		382	3820

Fig.5: Parameters voor een aantal typen fiets, inclusief de limietgevallen van de "Perfect prone streamliner" (geen rolweerstand, ideale stroomlijn), "Motor Pacing" (geen luchtweerstand, gewone rolweerstand), en een denkbeeldige "Moonbike" (geen luchtweerstand, gereduceerde zwaartekracht). De laatste twee kolommen geven de berekende snelheden voor respectievelijk recreatief fietsen met een mechanisch vermogen $P = 75$ W, en een kortstondige krachtexplosie van 750 W.

Wereldrecords

Wat zijn de inmiddels werkelijk bereikte records? Het wereld-uurrecord staat op naam van de Nederlander Bram Moens met 77,123 km (voor een traditionele racefiets is dat 55,291 km). Het snelheidsrecord over 200 meter op zeeniveau is 104 km/h, gevestigd met een X-2 superfiets (zie fig.6). Op een hoger gelegen baan werd zelfs 110,6 km/h gehaald met een "Cheetah". En tenslotte: door de luchtweerstand kunstmatig uit te schakelen via "motor pacing" kunnen pas écht duizelingwekkend snelheden worden gerealiseerd. Zo haalde de Maastrichtenaar Fred Rompelberg op de Bonneville Salt Flats in Utah, achter een race-auto met een platte achterkant, een snelheid van 268 km/h. Hij werd daarmee, op 3 oktober 1995, de snelste wielrenner aller tijden. En dat nog wel zonder superfiets.

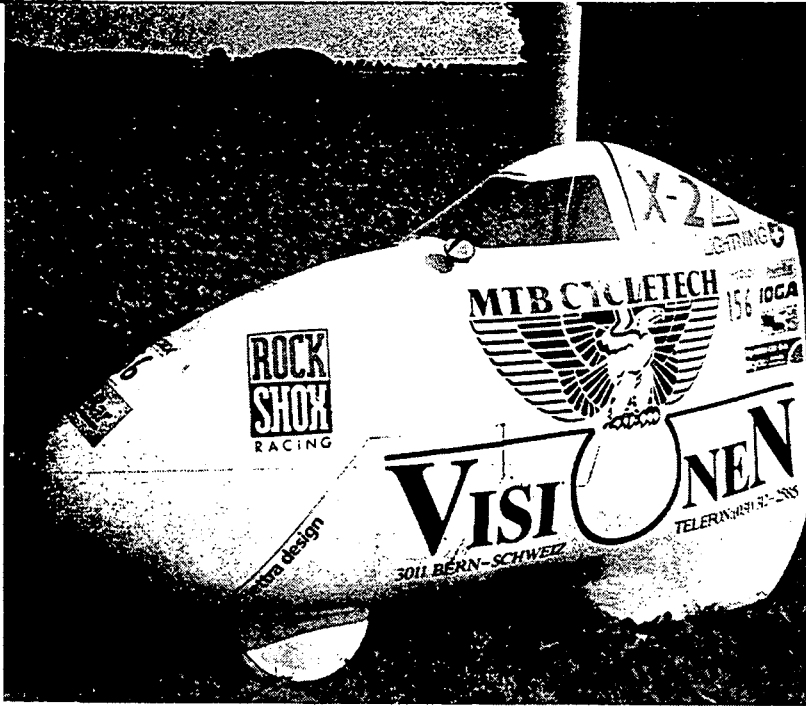


Fig.6: De X-2, waarmee het huidige (1995) wereldsnelheidsrecord voor "Human-Powered Vehicles" op zeeniveau werd gevestigd: 104 km/h; hier gefotografeerd in Lelystad in augustus 1995.

Literatuur

- "The Aerodynamics of Human-powered Land Vehicles",
Albert C. Cross, Chester R. Kyle and Douglas J.
Malewicki, Scientific American, Dec. 1983, p.126-
134.
- "Bicycling Science", Frank R. Whitt and David G. Wil-
son, The MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1980.

Sportschoenen en biomechanica: enkele principes

B. Van Gheluwe

Schokdemping en schokbreking bij sportschoenen zijn een gevolg van de visco-elastische eigenschappen van de middenzool.

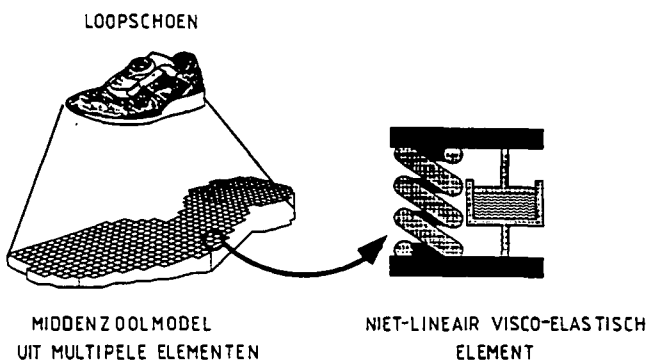


Fig.1: Schematische voorstelling van een middenzool bestaande uit meerdere visco-elastische elementen

De **elastische** componente zorgt ervoor dat de middenzool bij impact zoals een veer ingedrukt wordt en aldus de impactkracht reduceert. Dit noemt men **schokbreking**. Hoe elastischer het materiaal, hoe verder de zool ingedrukt en dus hoe kleiner de impactkracht wordt: hoe groter de vervorming of hoe langer de afstand waarover de impactenergie uitgesmeerd wordt, hoe kleiner de afremkrachten, hier de impactkrachten, zullen zijn (fig.2). De **visceuze** componente heeft te maken met de interne wrijving door vervorming van het materiaal zowel tijdens het indrukken als tijdens het terugveren. Hierdoor wordt energie opgeslorpt en in warmte omgezet (net zoals bewegingsenergie van een auto door wrijving van de remmen eveneens in warmte wordt omgezet). De vervormingskurve is niet meer lineair zoals bij zuiver elastisch materiaal, maar is lusvormig zodat energie in het proces verloren gaat (fig.3). Dit noemt men **schokdemping** of **-schokabsorptie**. Bij schoenen kan dit 35% van de totale impactenergie bedragen. Doch in absolute cijfers en in vergelijking met andere elastische structuren zoals de voetboog,

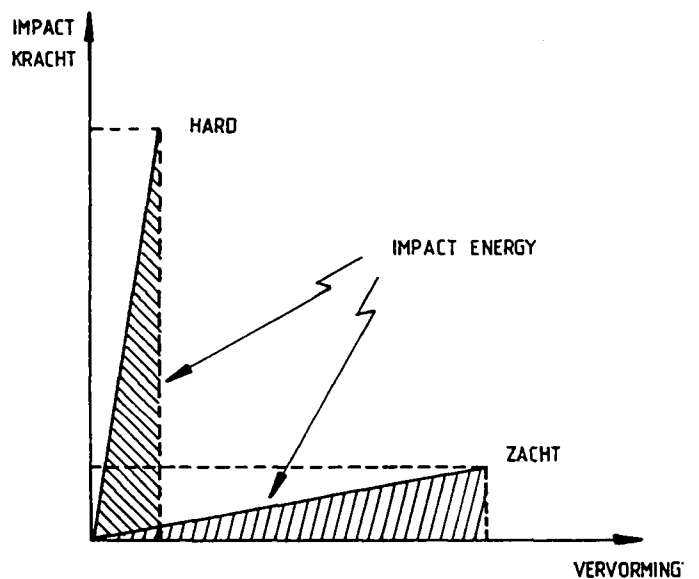


Fig.2: Voor eenzelfde impactenergie zal een zachtere zool over een grotere afstand vervormd of ingedrukt worden en hierdoor tot lagere impactkrachten aanleiding geven.

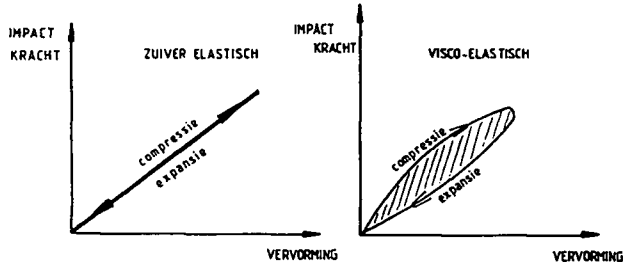


Fig.3: Bij zuiver elastisch materiaal komt de impactenergie waarbij een zool ingedrukt of gecompriemd wordt, tijdens de expansie zonder verlies weer vrij. Wanneer dit materiaal ook nog visceuze eigenschappen bezit, gaat door interne wrijving bij vervorming tijdens de compressie-expansiecyclus telkens energie verloren (gearceerd gebied).

de achillespees enz... is dit bijna verwaarloosbaar. De dempende capaciteit van schoenen moet dus enigzins gerelativeerd worden.

Verder moet er rekening gehouden worden met het zogenaamde "bottoming-out-effect" van schoenzolen. Hoewel zachte zolen in principe beter krachten kunnen reduceren daar ze gemakkelijker ingedrukt worden, zijn zeer zachte zolen onbruikbaar daar ze door de impactkrachten volledig ingedrukt worden en hierdoor onwerkzaam worden.

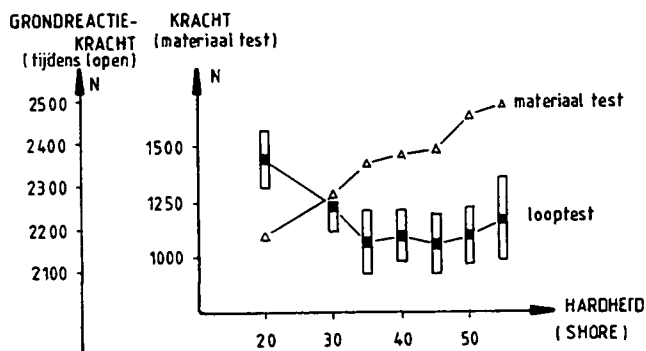


Fig.4: Normaal neemt de impactkracht af naarmate de hardheid van de zool afneemt (zoals bij materiaaltests). Tijdens het lopen zijn de impactkrachten tijdens een hiellanding veel groter zodat zachtere zolen volledig ingedrukt worden en er dus geen schokbreking meer plaats grijpt (bottoming-out-effect).

Figuur 4 illustreert dit treffend. Resultaten met laboratoriumproeven geven de verwachte resultaten: de zachtste zolen creëren de kleinste impactkrachten. Doch de impactkrachten, door een loper tijdens het lopen op de grond uitgeoefend zijn slechts minimaal voor middelharde zolen. Zachtere zolen geven te veel mee en worden hierdoor te snel "uitgebodemd". De zolen dikker maken zou eventueel een oplossing kunnen bieden, doch hierdoor komt de stabiliteit van de schoen in gevaar.

Wat betreft schokreductie en -absorptie krijgen schoenen echter concurrentie van natuurlijke afrembewegingen, zoals o.a. door de knieën buigen en, minder onderkend, het binnenwaarts roteren van de enkel, het zogenaamd **proneren**. Beide verlengen de remweg en reduceren zodoende de impactkrachten. Fig.5 toont aan hoe dit tijdens enkelpronatie gebeurt. Het eerste grondcontact gebeurt op de buitenboord van de hiel, zodat nadien deze laatste naar binnen gaat kantelen of proneren. Deze pronatie wordt door de anti-pronatorspiers (of supinatoren) afgeremd zodat een deel van de impactenergie tijdens het proneren in warmte wordt omgezet en er zowel schokbreking als -demping gebeurt.

Hierbij mag het aangrijpingspunt van de impactkracht niet te ver buitenwaarts liggen omdat hierdoor de krachtarm van de impactkrachten t.o.v. de pronatieas en dus tevens

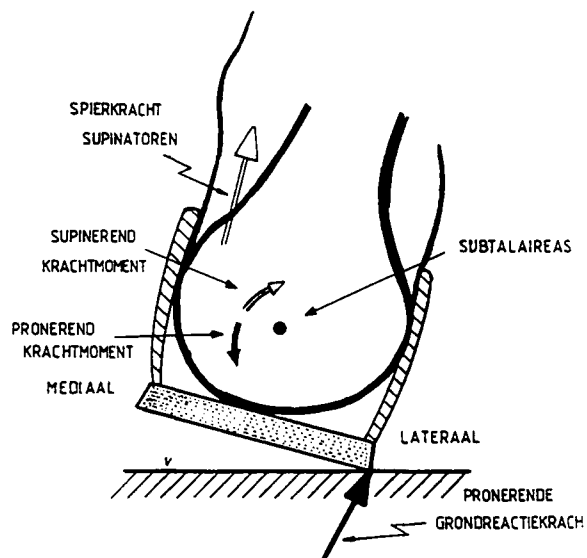


Fig.5: Het eerste hielcontact gebeurt normaal achteraan aan de buitenzijde of laterale kant van de hiel. De impactkracht veroorzaakt t.o.v. van de subtalaire as een prone-rend krachtmoment dat door de supinatorspiers gecontroleerd en afgeremd wordt. Hierdoor ontstaat zowel schokbreking als schokdemping.

het pronerend krachtmoment te groot wordt (fig.6). Dit zou de anti-pronatiespiers te zwaar belasten waardoor de pronatie ongecontroleerd wordt en dus te snel gebeurt. Dit wordt vermeden door de zool van de hiel uit zachter materiaal te maken. Hierdoor zal bij grondcontact de zool gemakkelijker ingedrukt worden waardoor het aangrijpingspunt naar binnen verschuift en de krachtarm aldus verkleint. Biomechanische simulatiemodellen hebben hierbij aangetoond dat tijdens het eerste hielcontact de belasting van zowel het enkelgewricht als de anti-pronatiespiers door het gebruik van zachtere zolen vermindert (fig.7).

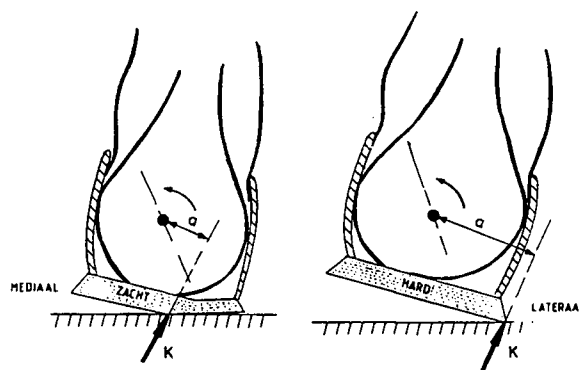


Fig.6: Een zachtere zool zal door eenzelfde impactkracht K gemakkelijker ingedrukt en vervormd worden, waardoor de krachtarm a t.o.v. de subtalaire as kleiner wordt en het prone-rend krachtmoment beter kan gecontroleerd worden.

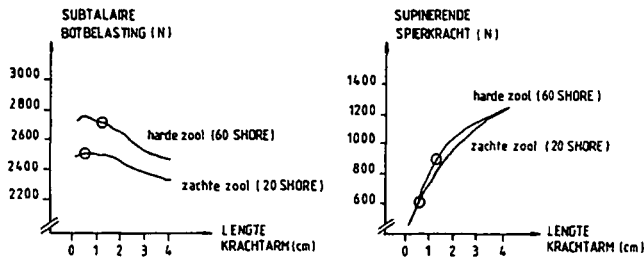


Fig.7: Bij gebruik van zachtere zolen zal zowel de botbelasting in het enkelgewricht als de benodigde spierkracht der anti-pronatoren afnemen.

Teneinde de pronatie tijdens het eerste hielcontact tot de verticale stand van de hiel te beperken en zodoende overpronatie te vermijden (bijvoorbeeld bij mensen met een hypermobiel of instabiel enkelgewricht), gaat men de binnenzijde van de zool ter hoogte van de hiel uit harder materiaal maken. Hierdoor gaat de hiel wanneer hij naar binnen neigt, weerstand ondervinden en wordt eventuele overpronatie vermeden of toch beperkt. De vereiste dat aan de buitenzijde van de hiel eerder zacht, terwijl aan de binnenkant harder materiaal vereist is, geeft voor anti-pronatieschoenen aanleiding tot een typische zoolconstructie nl. de dubbele-densiteitzool (fig.8).

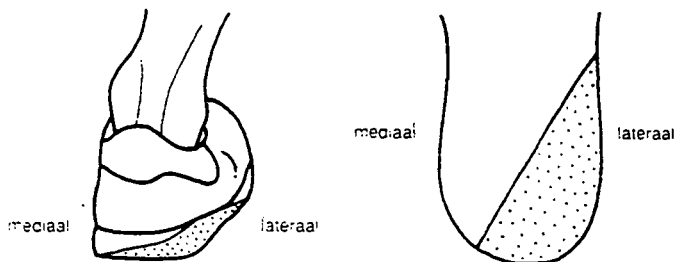


Fig.8: De dubbele-densiteitzool bezit t.h.v. de laterale hiel zachter materiaal om de initiële pronatie tijdens het eerste hielcontact te beperken. Aan de mediale kant zit harder materiaal teneinde overpronatie bij de verdere afrol van de voet te voorkomen.

Bijkomende vereisten om de stabiliteit van de schoen te waarborgen, niet alleen bij overpronatie maar tevens bij het omgekeerde verschijnsel, het teveel naar buiten kanten van de hiel of zogenaamd supineren, zijn een stevige opbouw en een goede pasvorm van het hielstuk, en tevens een voldoende breedte van de zool.

Hoewel het bovenstaande enkele principes belicht die aantonen dat de biomechanica nauw betrokken is bij het ontwerpen van sportschoenen, mag men er niet van uitgaan dat een geschikte schoen automatisch afwijkende gang-of loopafwijkingen vermag te corrigeren. De orthopedische en podologische praktijk wijst immers uit dat

belangrijke functieafwijkingen, zoals een ernstige overpronatie, niet door schoenen alleen kunnen verholpen worden maar een individueel aangepaste correctie vereisen in de vorm van een functionele orthese.



Werkgroepen



De wetten van de vliegkunst

Werkgroep 2

H. Tennekes

De mechanica van vogels, vliegtuigen, auto's, treinen en fietsen kan het best begrepen worden door niet bij $F = m \cdot a$ te beginnen, maar bij een integraal ervan: arbeid is kracht maal afstand, dus het energieverbruik per meter reisweg is gelijk aan een kracht. Dan hoeven we alleen nog maar uit te zoeken voor welke kracht die uitspraak geldt. Het is de weerstand, die overwonnen moet worden door de stuwkracht.

Twee voorbeelden: een kwikstaartje dat op de grote trek de Sahara oversteeft en een Boeing 747 die zonder tussenlanding van Tokio naar Amsterdam vliegt. Het vetloze gewicht van een kwikstaartje is 15 gram, maar zijn startgewicht is 30 gram. Er wordt dus 15 gram brandstof meegenomen. Bij een verbrandingswaarde van 32 kilojoule per gram vet is er dus 480 kilojoule aan energie beschikbaar.

Het rendement van de omzetting van die energie in nuttige arbeid is echter maar 25%. Met 15 gram vet kan er dus maar 120 kilojoule aan arbeid worden verricht. Nu nog de luchtweerstand van het vogeltje. Halverwege de vlucht is zijn gewicht ongeveer 0,24 Newton (24 gram). De aerodynamische kwaliteit van een kwikstaartje (zijn glijgetal of finesse) is gelijk aan 4: voor elke Newton weerstand kunnen er 4 Newton aan gewicht in de lucht worden gehouden. Bij een gemiddeld gewicht van 24 gram is de gemiddelde weerstand dus 6 gram, of 0,06 Newton om precies te zijn. Maar 0,06 Newton is gelijk aan 0,06 joule per meter. Het vliegbereik van een kwikstaartje is dus 120 kilojoule per 0,06 kilojoule per meter, dat is 2000 kilometer.

Nu de 747. Bij een startgewicht van 390 ton en een landingsgewicht van 240 ton (leeggewicht 180 ton, 10 ton brandstofreserve, 30 ton aan passagiers, 20 ton vracht) is de verbruikte brandstofmassa gelijk aan 150 ton. Bij een verbrandingswaarde van 42 megajoule per kilogram,

d.w.z. 42000 megajoule per ton, is er ruim 6 miljoen megajoule beschikbaar. Het omzettingsrendement is bijzonder gunstig: 50%, twee keer zo hoog als in een automotor of in de vliegsieren van een vogel, en zelfs beter dan in de meest geavanceerde electriciteitscentrale. Aan arbeid is er dus ruim 3 miljoen megajoule beschikbaar. Nu de weerstand, dan kan het vliegbereik uitgerekend worden. Bij een gemiddeld gewicht van 320 ton en een aerodynamische kwaliteit van 16 (16 newton aan gewicht kan vervoerd worden voor elke newton weerstand, dus dat is vier keer zo gunstig als voor een zangvogeltje) is de gemiddelde weerstand gelijk aan 20 ton, d.w.z. 200 kilojoule per meter of 200 megajoule per kilometer. Het vliegbereik van een 747 is dus ongeveer 3 miljoen megajoule per 200 megajoule per kilometer, dat is ongeveer 15000 kilometer.

Als de weerstand van een vervoermiddel gelijk is aan het energieverbruik per meter reisweg, dan kunnen op die basis alle vervoermiddelen worden vergeleken. Omdat arbeid gelijk is aan kracht maal afstand, is vermogen gelijk aan kracht maal snelheid. De weerstand D is dus gelijk aan het geleverde vermogen P gedeeld door de snelheid v ($D = P/v$).

De verhouding D/W , die een maat is voor het energieverbruik per meter en per newton vervoerd gewicht, is dus gelijk aan P/WV . Als op deze basis diverse vervoermiddelen met elkaar worden vergeleken, blijkt dat een Boeing 747 even voordelig is als een auto die 100 kilometer per uur rijdt. De Franse TGV is een beetje voordeliger dan een 747, maar als de snelheid van de TGV wordt verhoogd tot 500 kilometer per uur, zou je beter kunnen vliegen. Fietsen is veel voordeliger dan vliegen of autorijden, maar de weerstand neemt toe als het kwadraat van de snelheid (en het benodigde vermogen als de derde macht), en je moet dus vooral geen 50 kilometer per uur willen bereiken.

Al deze zaken komen aan de orde in het boek "De Wetten van de Vliegkunst", dat een schat van materiaal bevat om de natuurkunde interessant te maken, zelfs voor MAVO-3. Het boek legt verbindingen met de biologie (vliegprestaties van insecten en vogels, basisgegevens van de spierfysiologie), met vervoerseconomie (waarom verdwenen oceaanstomers van het toneel zodra de eerste straalverkeersvliegtuigen op de markt kwamen, waarom is de supersonische Concorde een slechte oplossing voor personenvervoer, wat mankeert er aan de spoorwegen), en geeft een solide onderbouwing voor de samenwerking tussen natuurkunde en techniek. Voor de goede orde: uitgever is Aramith in Bloemendaal, ISBN 90 6834 095 6; Amerikaanse editie "The Simple Science of Flight", MIT press, ISBN 0 262 20105 4.

Ontdekhoek

Werkgroep 6

B. Nagel

Het fenomeen Ontdekhoek, Neerlands Pierebadje voor de Techniek, richt zich op kinderen van 4-14 jaar.

Zij biedt haar bezoekers de mogelijkheid zelf, en met nadruk zonder begeleiding van volwassenen, te ontdekken hoe vele technieken werken.

Jaarlijks bereikt de Ontdekhoek met thans twee vestigingen in totaal rond 55.000 bezoekers. Meisjes blijken de Ontdekhoek even leuk te vinden als jongens.

Tijdens de werkgroep werd in het kort een schets gegeven van de zeer eenvoudige materialen waarvan de Ontdekhoek gebruik maakt en de proefjes die kinderen ermee uit kunnen voeren. (Er zijn er zo'n 26 in de aanbieding).

Doel was te tonen welke rijkdom aan onderzoeksmogelijkheden de simpelste materialen bieden.

Aan de hand van drie onderwerpen werd dit toegelicht. En binnen het kader van 'de sport' viel de keuze op drie onderwerpen

1. De blaaspijp met pijltjes wegschieten,
2. Een vliegtuigje van papier dat wordt weggeschoten,
3. De flitsend ver vliegende flippo.

Leidraad bij de activiteiten was dat het middel het aansprekende item was, doel het onderzoekend bezig zijn. Het laatste raakt essentialia van de natuurkunde en techniek; dat door systematisch onderzoek een te behalen resultaat steeds beter vooraf voorspeld kan worden.

Het aansprekende van de onderwerpen was er op gericht deze manier van werken aan te moedigen.

Variabelen en effecten die onderzocht kunnen worden zijn:

1. Bij de blaaspijp:

Het bepalen van de BESTE pijl;

- welke papiersoort werkt het best?
 - * Licht papier van een weekblad zoals Margriet, VIVA, Libelle, etc.
 - * Gewoon A4 papier
 - * Ander papier
- de beste lengte en vorm?
 - * de lengte en breedte van de papierstrook
 - * het afsnijden of afscheuren van de papierstrook

- * de lengte van de pijl
- * het draaien van de pijl (een kunst op zich!)
- het lijmen van de pijl
 - * spuug of lijm (arabisch gom!)?

De beste manier van blazen?

- welke lengte van de pijp geeft het beste resultaat?
 - * Hoe kan het beste worden gemikt?
- met welk 'vizier' kan het verschil tussen oog- blaaspijp in de mond, zo klein mogelijk worden gemaakt?

Op welke afstand kan een doel het best worden geraakt?

Hoe gaat het indien het doel beweegt?

B.v. in een speeltuin, vanaf een schommel, draaimolen schieten!

Etc.

2. Vliegtuigje

Een simpel vliegtuigje wordt gevouwen. In de neus wordt een haakje van een uitgebogen paperclip vastgeplakt. Met een elastiekje kan het vliegtuigje worden weggeschoten.

Er kan gekeken worden naar:

- a. Zo ver mogelijk wegschieten
- b. Zo lang mogelijk in de lucht houden
- c. De fraaiste capriolen
- d. Zo goed mogelijk een schijf raken

Een greep uit het aantal te onderzoeken variabelen:

- elastiekje:
 - * 1 elastiekje, meerdere aan elkaar geknoopt,
 - * dikke of een dunne-? Een combinatie?
 - * twee of meerdere tegelijk?
 - * tot hoever moet worden uitgerekt?
- wegschieten
 - * onder welke hoek wordt weggeschoten?
 - * hoe kunnen vliegtuigje en uitgerekt elastiekje het beste vastgehouden worden?

- * tot hoever moet het elastiekje uitgerekt worden?
- Vliegtuig
- * wat kan er aan het vliegtuig veranderd worden voor een verbeterd resultaat?

3. Flitsend ver vliegende flippo's

Op een stuk karton wordt met een passer een rondje getekend en uitgeknipt. In het rondje wordt een inkeping gemaakt. De inkeping is het aangrijpingspunt voor een elastiekje. Het elastiekje uitrekken en de flippo loslaten geeft een fraaie 'vliegende schotel'.

Er kan gekeken worden naar:

- zo ver mogelijk wegschieten
- de fraaiste capriolen
- zo goed mogelijk een schietschijf raken.

Te onderzoeken variabelen zijn:

- de soort karton
- de grootte van het rondje
- de inkeping
- het elastiekje/de katapult
- hoe het beste vast te houden voor het wegschieten?
- onder welke hoek weg te schieten?
- andere vormen dan een rondje
 - * b.v. de vorm van een werpster
- aanpassingen
 - * allerlei vouw- en plakwerk als mogelijke verbetering van een basisvorm

Als extra was er de mogelijkheid om hele grote zeepbellen te maken. Volgens de deelnemers aan werkgroepen in belendende zalen ging de werkgroep van 'de Ontdekhoeck' met veel luid plezier gepaard.

Ontdekhoeck Rotterdam	Ontdekhoeck 's-Hertogenbosch
Pannekoekstraat 55	Pomphoekweg 11
Rotterdam	's-Hertogenbosch
tel.: 010-4143103	Tel.: 073-6215335

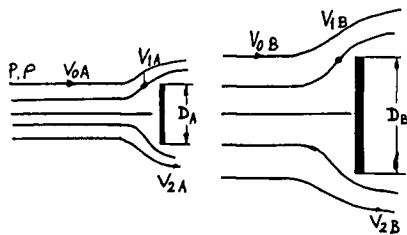
Ontdekhoeck Zwolle
 Campus Hogeschool
 Windesheim, Zwolle
 Opening: 10-10-1996

Modelvliegen op school

Werkgroep 7

E. Schouwstra

Gelijkvormigheid, coëfficiënten



De lichamen A en B hebben verschillende afmetingen, zijn gelijkvormig en hebben dezelfde stand t.o.v. de ongestoorde, wrijvingsloze, stroming. Er geldt:

$$\frac{v_{1B}}{v_{1A}} = \frac{v_{2B}}{v_{2A}} = \frac{v_{0B}}{v_{0A}}$$

Met behulp van de wet van Bernoulli in de vorm $p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{Const.}$ is te vinden dat overeenkomstige drukverschillen evenredig zijn met $\frac{1}{2}\rho v^2$. Zo geldt bijv:

$$\frac{(p_2 - p_1)_A}{\frac{1}{2}\rho_A v_{0A}^2} = \frac{(p_2 - p_1)_B}{\frac{1}{2}\rho_B v_{0B}^2}$$

Zolang de stromingen gelijkvormig zijn hangt dit quotiënt alleen af van de keuze van de plaatsen 1 en 2, maar niet van v , ρ of D . Dit quotiënt heet drukcoëfficiënt. Het gebruik van coëfficiënten maakt overzichtelijke presentaties mogelijk. Evenzo heeft het gebruik van een krachtcoëfficiënt $c = \text{kracht} / \frac{1}{2}\rho v^2$ (karakteristiek oppervlak) zijn voordelen.

N.B.: Het karakteristieke oppervlak kan het vanuit de stroomrichting geziene oppervlak zijn; bij vleugels en vliegtuigen wordt het vleugeloppervlak gekozen. Een kental dat de (niet wrijvingsloze) stroming karakteriseert is het getal van Reynolds $Re = \rho v d / \eta$, (η dynamische viscositeit). Re is te lezen als de verhouding van de traagheidskrachten en de wrijvingskrachten. Naarmate de afmetingen van een lichaam en de snelheden kleiner worden, wordt de invloed van de wrijving groter. De grenslaag gaat een belangrijker rol spelen. Het ontwerpen

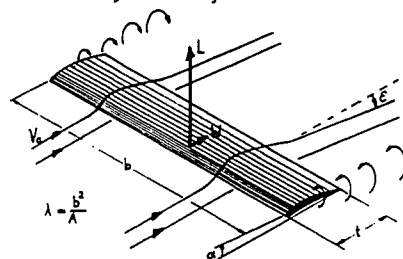
van modelvliegtuigen heeft dan ook zijn specifieke problemen (en charmes).

Weerstand en lift

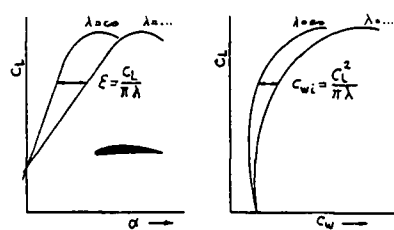
Er is een belangrijk verschil in gedrag tussen een vleugel waarbij geen omstroming om de tippen kan plaats vinden en één waarbij dat wel kan. Dat verschil wordt groter naarmate de slankheid $\lambda = b^2/A$ kleiner wordt. Bij een kleinere slankheid wordt de stroming achter de vleugel meer naar beneden afgebogen en is oorzaak van extra energie verlies. Dit wordt tot uitdrukking gebracht in de de coëfficiënt voor de geïnduceerde weerstand

$$c_{wi} = \frac{c_L^2}{\pi \lambda}$$

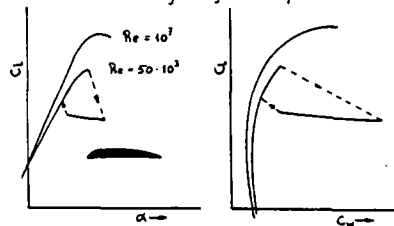
Stroming om een vleugel

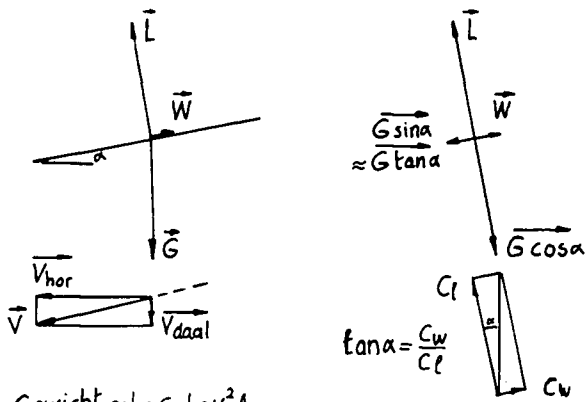


Invloed van de slankheid



Invloed van Re bij niet geschikte profielen





$$\text{Gewicht} \approx L = C_l \frac{1}{2} \rho v^2 A$$

$$v = \sqrt{\frac{2(G/A)}{\rho} \frac{1}{C_l}}$$

$$v_{\text{daal}} = v \cdot \tan \alpha$$

$$= \sqrt{\frac{2(G/A)}{\rho} \frac{1}{C_l}} \frac{C_w}{C_l}$$

$$= \frac{C_w}{C_l^{3/2}} \sqrt{\frac{2(G/A)}{\rho}}$$

Zo lang mogelijk vliegen?
Dan $\frac{C_l}{C_w}$ zo groot mogelijk.

$$\text{Afstand} = v \cdot t_{\text{daal}}$$

$$= v \frac{h}{v_{\text{daal}}}$$

$$\approx \frac{h}{\tan \alpha}$$

$$= \frac{h}{C_w / C_l}$$

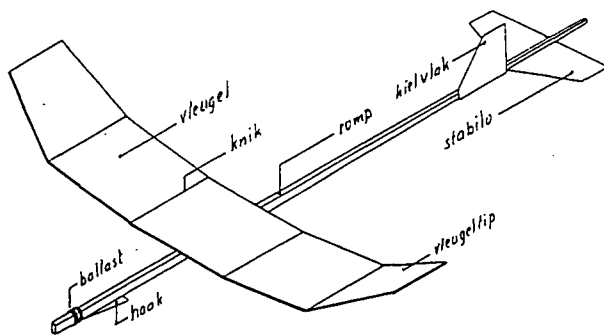
$$= \frac{C_l}{C_w} \cdot h$$

Zo ver mogelijk vliegen?
Dan $\frac{C_l}{C_w}$ zo groot mogelijk.

Het model 'zweefkat'

Een onderdeel van de werkgroep was het afstellen van en omgaan met een heel eenvoudig model dat met een pak-
elastiekje wordt afgeschoten. Een prestatieberekening
volgt hieronder. Een groot aantal vereenvoudigingen werd
aangebracht.

het model



gegevens en berekening

vleugel	120	10 ⁻² m ²
stabilo	15,4	10 ⁻⁴ m ² } c _w = 0,02
kielvlak	5,0	10 ⁻⁴ m ²
romp	0,44	10 ⁻⁴ m ² c _w = 1
massa	4,0	g
vleugelbelasting	3,3	N/m ²
λ _{vleugel}	5,0	
λ _{stabilo}	3,2	

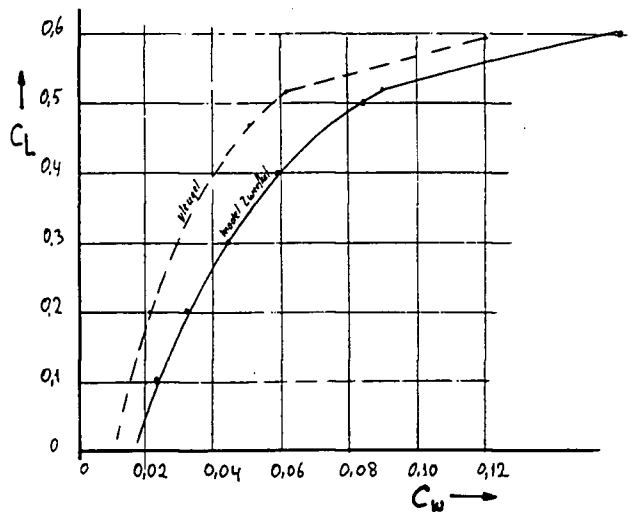
$$C_{w, \text{stabilo} + \text{kielvlak}} = (20,4/120) * 0,02 = 0,0034$$

$$C_{w, \text{romp}} = (0,44/120) * 1 = \frac{0,0037}{0,0071} +$$

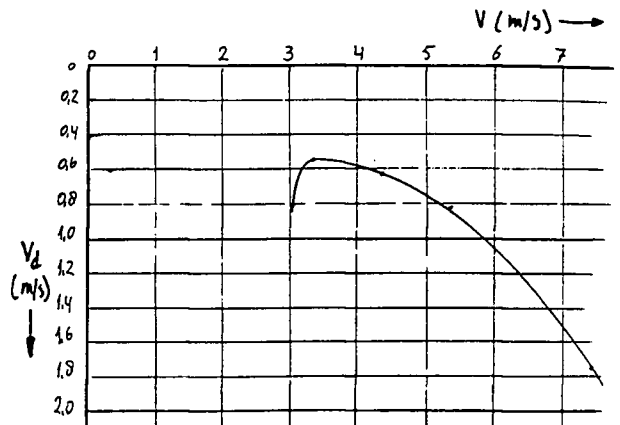
$$C_{\text{rest}}$$

α (°)	1	2	3	4	5	6
10 ³ c _l	100	200	300	400	500	530
10 ³ c _w	15	21	30	40	60	130
10 ³ c _{wi}	0,6	3	6	10	16	22
10 ³ c _{w, rest}	8	8	8	8	8	8
10 ³ c _{w, tot}	24	32	44	58	84	160
c _l ^{1/2} /c _w	1,3	2,8	3,8	4,4	4,2	2,9
v (m/s)	7,5	5,3	4,3	3,7	3,3	3,1
v _d (m/s)	1,8	,83	,63	,54	,56	,82

(C_l, C_w)-kromme



snelheidspolaire



De vermogenfiets

Werkgroep 8

S. Verbaenen & J. Moerkerke

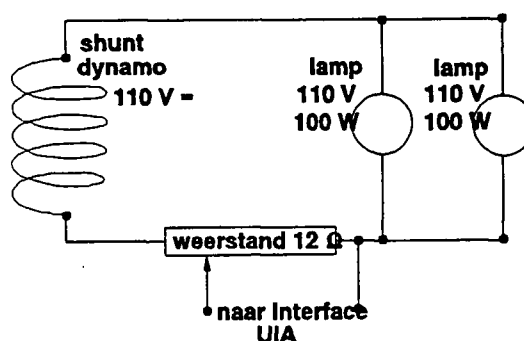
Het idee

Naar aanleiding van de jaarlijkse Open Deur dag op onze school kwam John op het idee om een oude home-trainer te gebruiken om een aantal lampen te doen branden. We hadden het idee al eens gezien op het vroegere Evoluon in Eindhoven, waar een televisietoestel werkte op de energie die je zelf moest leveren met een fiets.

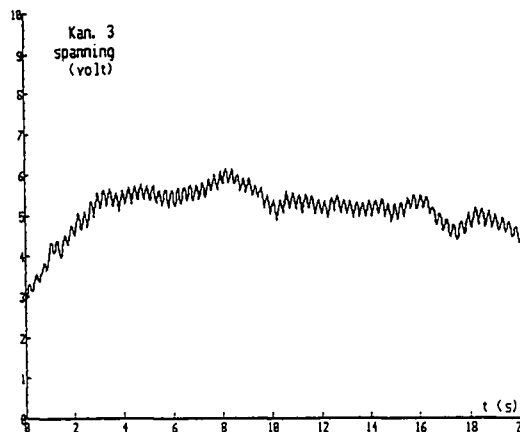
De opstelling

Onze home-trainer is een erg eenvoudig model : de pedalen drijven een vliegwiel aan, dat op dezelfde as zit als de pedalen. Het ingebouwde mechanisme van de home-trainer doet het vliegwiel 5 maal sneller draaien dan de pedalen. Men kan het vliegwiel belasten door er een vilten stop meer of minder hard tegenaan te drukken ; deze stop werd verwijderd evenals het mechanisme om de snelheid en de afgelegde weg te meten (was trouwens stuk). Door de leraar mechanica van onze school werd in het vliegwiel een gleuf gefreesd voor een ventilator-riem. Op de as van de dynamo werd een riemschijf gemonteerd. Dan werd alles vastgemaakt op een stevig gelast metalen kader.

In afbeelding 1 staat een schema van de elektrische schakeling : de spanning van de dynamo levert stroom door een schuifweerstand van 12Ω (kan stromen verdragen tot 10 A) en aan twee parallel geschakelde gloeilampen van 110 V, 100 W. De lampen beginnen maar te branden als het toerental van de dynamo voldoende groot is : op dat ogenblik levert de fietser dus al ten minste 200 W. De schuifweerstand is zo ingesteld dat zelfs de meest geofende fietser over de schuif maximaal een spanning van 10 V kan leveren. Die spanning wordt ingelezen, via een voltmetersensor van Philip Harris, door de UIA kaart, en opgenomen met IP Coach (MULTISCOOP : spanning als functie van de tijd).



Afbeelding 1: het elektrisch schema



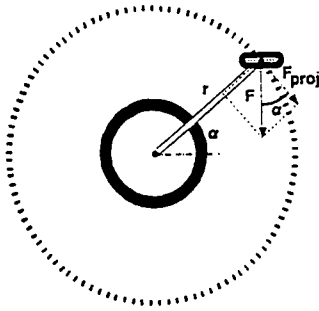
Afbeelding 2: een spanning-tijd diagram

Afbeelding 2 is hiervan een voorbeeld. Aanvankelijk hebben we geprobeerd om de spanning van een fietsdynamo, die meedraaide met de grote dynamo, in te lezen. Maar de fluctuaties daarvan zijn zo groot (zelfs na gelijkrichten), dat je het signaal eerst meerdere malen moet uitfilteren, en het resultaat was niet reproduceerbaar.

Het ijken van de fiets

Een moeilijk karwei was het ijken van de fiets : wat is het verband tussen het vermogen dat de fietser aan de pedalen levert en de spanning aan de dynamo?

Daarvoor was het nodig dat we de kracht zouden kennen die de fietser uitoefent op de pedalen. Op één pedaal werd een personenweegschaal vastgemaakt : die probeerden we zo goed mogelijk af te lezen terwijl we fietsten met constante snelheid. Tegelijk las iemand de spanning van de dynamo af op een voltmeter (of in IP Coach).



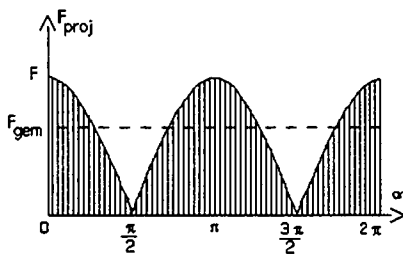
Afbeelding 3: de kracht op de pedaal

We nemen aan dat linker- en rechtervoet even hard duwen en dat voortdurend één voet loodrecht op een pedaal, die pedaal naar beneden duwt (afbeelding 3). De kracht die de voet uitoefent op de pedaal staat echter niet steeds loodrecht op de verplaatsing, zodat je de geleverde arbeid W moet berekenen met:

$W = F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha$ (waarbij Δs de verplaatsing is van de kracht langs de cirkelboog gemeten : $\Delta s = \alpha \cdot r$; r is de lengte van de pedaalarm = 17 cm).

Je zou ook kunnen zeggen dat de "nuttige kracht" die werkt op de pedaal gegeven wordt door :

$F_{proj} = F \cdot |\cos \alpha|$ (= de geprojecteerde kracht; zie afbeelding 4).



Afbeelding 4: geprojecteerde kracht en gemiddelde kracht

De oppervlakte onder de cosinus-curve is een maat voor de geleverde arbeid tijdens 1 omwenteling (op een factor r na : als je de aflezingsen op de α -as vermenigvuldigt met r bekom je Δs , want $\alpha \cdot r = \Delta s$).

Zou je willen werken met een constante kracht ($F_{gem} =$ gemiddelde kracht), dan zou die een waarde moeten

hebben die zó is dat de oppervlakte van de rechthoek ($2\pi \cdot F_{gem}$) even groot is als de oppervlakte onder de cosinus-curve (te berekenen met een integraal = $4 \cdot F$) :

$$2\pi \cdot F_{gem} = 4 \cdot F \text{ of } F_{gem} = 2/\pi$$

Vermits we, om te ijken, trappen met constante snelheid, kan je het geleverde vermogen vinden met : $P = F_{gem} \cdot v$ waarbij v de snelheid van de voet voorstelt : $v = \omega \cdot r = 2\pi r \cdot f$ = de omtrek van de pedaalbaan \times de frequentie van de pedaalbeweging. De straal r is de lengte van de pedaalarm = 17 cm.

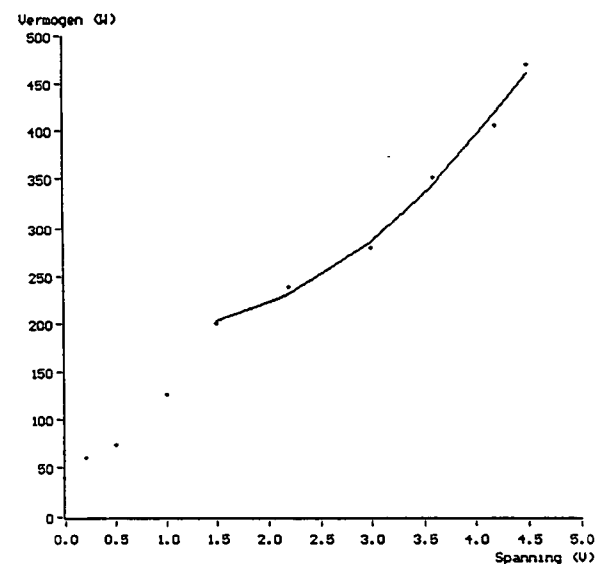
Deze frequentie bepalen we door de tijd op te nemen voor 10 omwentelingen (je kan ook de piekjes tellen op de spanning - tijd grafiek).

Nu kunnen we beginnen fietsen : bij verschillende fiets-snelheden meten we telkens de spanning U over de schuifweerstand, de trapkracht F en de trapfrequentie f .

De metingen en berekeningen van onze ijking staan in de volgende tabel:

U (in volt)	F (in N)	F_{gem} (in N)	f (in toer/s)	v (in m/s)	P (in watt)	U^2 (in V ²)
0.2	120	76	0.75	0.80	61	0.04
0.5	140	89	0.78	0.83	74	0.25
1.0	190	121	0.97	1.04	126	1.00
1.5	270	172	1.09	1.16	200	2.25
2.2	280	178	1.25	1.34	239	4.84
3.0	300	191	1.37	1.46	279	9.00
3.6	340	216	1.52	1.62	350	12.96
4.0	350	223	1.69	1.81	404	17.64
4.5	380	242	1.82	1.94	469	20.25

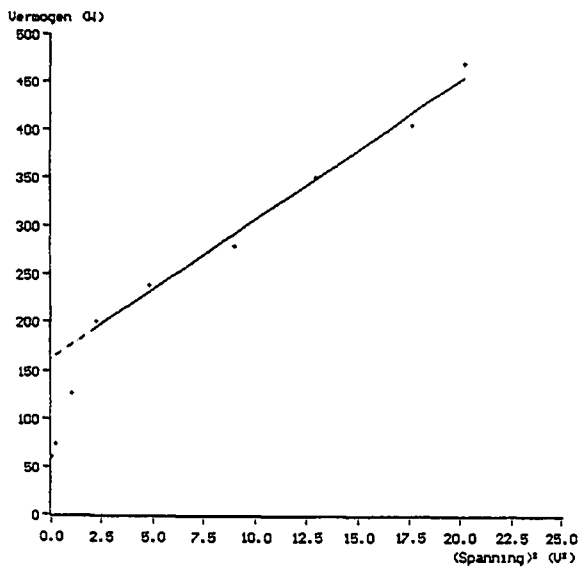
Wij verwachtten dat het spanning - vermogen diagram de vorm van een parabool zou hebben (vermogen is evenredig met het kwadraat van de spanning = een parabool met top in de oorsprong) : dat bleek wel zo te zijn, maar pas vanaf ongeveer 1,5 V (zie afbeelding 5).



Afbeelding 5: het spanning - vermogen diagram

Bij 1,5 V over de schuifweerstand beginnen de lampen te branden, misschien zit daar de verklaring?

In de praktijk blijkt de spanning bij iedereen die fietst voortdurend ruim boven 1,5 V te liggen, zodat we de grafiek maar vanaf dat punt moeten gebruiken.



Abbeelding 6: het (spannings)² - vermogen diagram

Het (spanning)² - vermogen diagram blijkt mooi lineair te zijn vanaf (1,5 V)² = 2,25 V² (afbeelding 6).

De vergelijking van deze rechte zoeken we uit het snijpunt met de Y-as en de verhouding $\Delta y/\Delta x$ (of met de regressielijn door de laatste 6 punten):

- snijpunt met Y-as = 163 (watt)

- de vergelijking van de rechte:

$$y = 14,4 \cdot x + 163 \text{ of } P = 14,4 \cdot U^2 + 163$$

Nu pas kunnen we vermogen meten.

Een praktische vermogenmeting

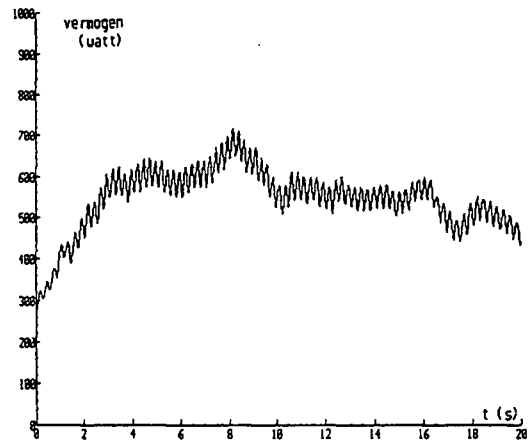
Een fietser trapt gedurende 20 seconden zo snel hij kan. De spanning wordt gedurende die 20 s als functie van de tijd ingelesen in MULTISCOOP. Dan verlaten we MULTISCOOP en nemen de meting mee naar REKENVEL. Daar wordt de spanning - tijd grafiek omgerekend naar een vermogen - tijd grafiek met de formule:

$$P = 14,4 \cdot U^2 + 163$$

Deze grafiek kan afgedrukt worden (afbeelding 7).

We verlaten REKENVEL en gaan naar VERWERKING. In ANALYSE kiezen we OPPERVLAKTE : de oppervlakte onder het vermogen - tijd diagram is een maat voor de arbeid die in 20 s werd verricht, uitgedrukt in joule. Op een pakje zoete droge koekjes staat de energie-inhoud vermeld : 1872 kJ/100 g.

Wie bij het fietsen bijvoorbeeld 10 000 J heeft geleverd krijgt dus: $10000J/18720 \text{ J/g} = 0,5 \text{ g}$ koekjes om het energieverlies weer aan te vullen



Abbeelding 7: het vermogen - tijd diagram

Besluiten en opmerkingen

- Bij het ijken van de fiets is het erg moeilijk om de kracht af te lezen op de personenweegschaal : de fout op deze meting is groot. Wij waren zelf erg verwonderd over de mooie grafiek als resultaat. Bij een frequentie hoger dan 1,9 toeren per seconde wordt het onmogelijk om de weegschaal nog af te lezen.
- Als er een fout op onze ijking zit (waarschijnlijk), dan is die toch voor alle fietsers dezelfde en verandert er niets aan hun relatieve waarde ten opzichte van mekaar.
- We hebben gezocht naar een betere manier om de fiets te ijken : het moet mogelijk zijn om met een (stevige) elektrische motor de pedalen aan te drijven (as aan as koppelen). Als je dan spanning en stroom meet bij de aandrijvende motor, dan ken je direct het toegevoerde vermogen. Het probleem is echter dat ook voor zo een motor het rendement niet 1 is (en zelfs niet constant).
- We waren bij het opmeten van het spanning - vermogen diagram (afbeelding 5) nogal verwonderd dat de grafiek niet door de oorsprong gaat. Waarschijnlijk is de verklaring eenvoudig : omdat er nogal wat wrijving te pas komt bij de fiets, moet je al een aanzienlijk vermogen leveren, gewoon om de fiets in gang te krijgen ; zelfs bij een dynamo die bijna niet draait (spanning 0), is er toch al een vermogen van ongeveer 60 watt nodig.
- Ondanks de onnauwkeurigheid van het resultaat, zijn onze leerlingen laaiend enthousiast over de fiets. Op de Open Deur dag was "De vermogenfiets" een groot succes. De meeste studenten halen voor de arbeid een waarde tussen 9 400 joule en 13 300 joule. De (verbovenuit stekende) top bedraagt op dit ogenblik 18 300 joule (in 20 seconden, dus 915 watt !), maar die jongen heette dan ook ... Merckx (echt waar !).

Eenvoudige elektronica en natuurkunde

Werkgroep 9

J. Leisink & J. Michels

Tijdens de afgelopen Woudschoten-conferentie werd twee keer een druk bezochte werkgroep gehouden met als titel 'elektronica en sport'. De eerste, op vrijdagavond, kreeg zelfs een verlenging tot na middernacht.

Werken met elektronische schakelingen tijdens de natuurkundeles kan en moet al in het eerste leerjaar natuurkunde beginnen, met als doel de leerlingen te motiveren door natuurkunde concreet en toepasbaar te maken. Op deze leeftijd staan kinderen nog volop open voor allerlei knutsel-opdrachten, gaan spontaan om met het materiaal, verwonderen zich en zijn blij met concrete resultaten: 'hij doet het!' Exploratie en toepassing van het geleerde in technische werkstukken en natuurkundige toepassingen gaat vanzelf. Natuurkunde wordt zo een vak, waar je wat mee kunt doen! Als voorbereiding zijn een beperkt aantal lessen algemene elektriciteitsleer voldoende.

Het elektronica-practicum

Om schakelingen te kunnen maken is geschikt practicum-materiaal nodig. Ik heb een videoband samengesteld, waarop het bouwen van dit practicum stap voor stap wordt uitgelegd en voorgedaan. Het kan (goedkoop!) door u zelf, een TOA, of een klas leerlingen tijdens de technieklles worden gemaakt. Dit materiaal heeft als grote meerwaarde zijn eenvoud. De leerlingen zijn in alle stadia in staat de aangeboden leerstof onmiddellijk om te zetten in door hen zelf gebouwde toepassingen.

De eerste praktische schakelingen uit hoofdstuk 3 van ZIPPER (uitgegeven door SMD in Leiden) worden ook op de videoband uitvoerig toegelicht. Hierna bent u en zijn de leerlingen in staat om de kennis toe te passen in allerlei schakelingen waarmee natuurkundige principes worden verduidelijkt. In de hoofdstukken licht en kleur, muziek en lawaai, elektriciteit in huis, verbranden en

verwarmen, energie, warmte, het weer, snelheid en het verkeer, weergeven van geluid, worden diverse toepassingen gevonden.

Een kopie van deze band kunt u krijgen door *f* 40,- over te maken op giro 0821835 t.n.v. T.S. Jonkerbosch, vakgroep natuurkunde te Nijmegen. Zorg dat uw naam en die van de school duidelijk op de giro-overschrijving staan.

Vanuit de context 'natuurkunde en sport' werd in de werkgroep vooral ingegaan op de mogelijkheden die elektronica biedt om snelheden en de bijbehorende tijden te meten. Veel bezoekers van de werkgroep hebben een eenvoudige stopwatch omgebouwd tot een elektronisch regelbaar apparaat.

De batterij wordt vervangen door een schakeling met diodes, zie fig. 1. De schakeling wordt op een gelijkspanning van maximaal 10 volt aangesloten. Over de drie diodes staat een spanning van ruim 1½ volt. (Ieder type diode is geschikt.) De schakeling is zo klein, dat hij makkelijk in de stopwatch kan worden ingebouwd. In de behuizing wordt een kleine opening gemaakt, waardoor de (stevige) aansluitdraden naar buiten kunnen. Verkeerd aansluiten is niet erg, de diodes sperren dan de stroom.

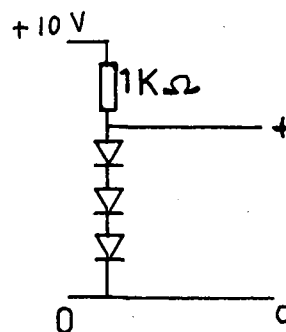


Fig.1

De start-stop-knop wordt verwijderd. Contact wordt nu gemaakt met behulp van een relais. Een reed-relais van het merk 'Clare' is ideaal, de behuizing is niet groter dan een IC. Ook dit relais kan evt. in de stopwatch worden ingebouwd. De aansluitdraden van de spoel zitten niet aan dezelfde kant van het relais. Soldeer de aansluitpennen links en rechts aan elkaar. De juiste aansluitpen zit er dan altijd bij. Het relais kan probleemloos gebruikt worden met spoelspanningen van 5 tot 10 volt. Zie fig. 2. De contactpunten hebben een erg korte schakeltijd, zodat zij de metingen niet beïnvloeden.

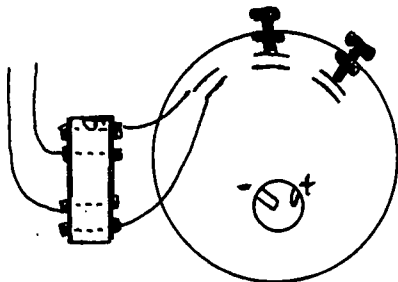


Fig.2

Een klein probleem. Aan de contactpunten van de stopwatch kan niet gesoldeerd worden. Daarom worden de draadjes met zilverlijm (merk Bison) aan de contactpunten vastgelijmd. Gebruik in de stopwatch dunne aansluitdraden. Fixeer ze op hun plaats met een lijmpistool. Daarna wordt het contact gemaakt met de zilverlijm. Bij de zilverlijm wordt een penseeltje geleverd waarmee de lijm kan worden aangebracht. Gebruik dit niet. Met een stukje blank draad kan beter een kleine druppel worden aangebracht.

'Biofysica en Sportfysiologie - een inspannende workshop!

Werkgroep 12

K.Dolsma & V.Dorenbos

Dat de Workshop 'Biofysica en sportfysiologie' een inspannende aangelegenheid zou worden, dat was zeker. Zowel voor de organisatoren als voor de deelnemers! Niet alleen werkte het plezier van een aantal deelnemers aantekelijk, ook was het fanatisme waarmee sommige deelnemers zich uitleefden op de twee aanwezige hometrainers verbazingwekkend. De meetresultaten werden er alleen maar duidelijker door.

Hartslagfrequenties en AdemMinuutVolumes schoten omhoog bij de inspanningen.

Na de inspanningen kon de daling van deze parameters op het scherm van de computer gevolgd worden.

In de sportfysiologie worden de gevolgen van inspanning op het menselijk lichaam onderzocht, met als doel het functioneren ervan tijdens inspanning beter te begrijpen en prestaties te verbeteren. Daarbij wordt gebruik gemaakt van bio-fysische en medische technieken om continu-metingen aan proefpersonen te doen. Om de ademhaling te onderzoeken wordt bijvoorbeeld een respirometer gebruikt, de hartslagfrequentie wordt veelal via elektroden opgenomen (ECG) en de huidtemperatuur kan gemeten worden met een thermokoppel.

Tijdens de workshop, die tweemaal is uitgevoerd en waaraan twee keer zestien personen deelnamen, zijn verschillende sportfysiologische metingen uitgevoerd met apparatuur die op (de meeste) scholen aanwezig is. De metingen werden uitgevoerd en geanalyseerd met het computerprogramma IP-Coach. Er werden verschillende sensoren gebruikt, zoals onder andere een hartslagsensor, ECG-set, spirometersensor en een thermokoppel temperatuursensor.

In de workshop zijn zeven verschillende metingen uitgevoerd:

- Opname van een electrocardiogram;
- Bepaling van de reactiesnelheid na een startschot;

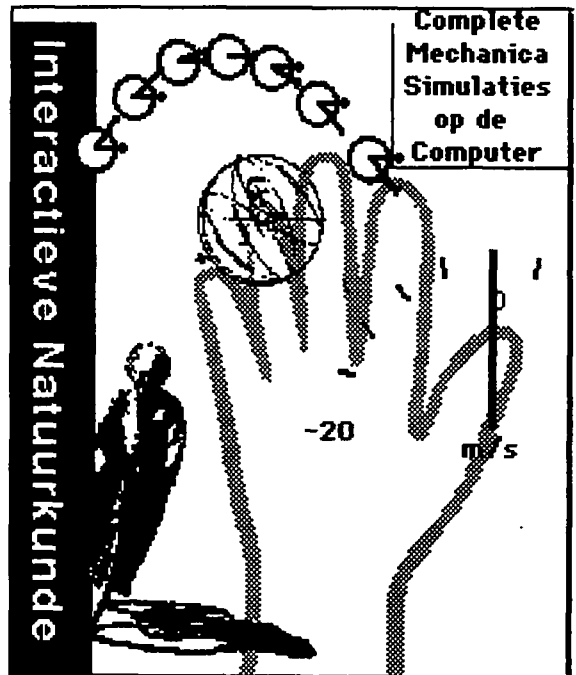
- Bepaling van de vitale longcapaciteit;
- Meting van het verloop van het AdemMinuutVolume vóór, tijdens en na een inspanning op een hometrainer;
- Meting van het verloop van de ademhalingsfrequentie vóór, tijdens en na een inspanning op een hometrainer;
- Meting van het verloop van de hartslagfrequentie vóór, tijdens en na een inspanning op een hometrainer;
- Meting van de huidtemperatuur.

Met name de continu-metingen van de hartslagfrequentie geven een goed beeld van de conditie van een proefpersoon. De herstel-periode (tijd waarin de hartslagfrequentie weer daalt naar de rust-frequentie) na een inspanning, wordt vaak als maat genomen voor de conditie van de proefpersoon. Tijdens de workshop bleek bij metingen aan verschillende proefpersonen dat getrainde deelnemers sneller herstelden dan ongetrainde deelnemers.

De standaard in natuurkunde simulatie software

Werkgroep 13

J. Rasenberg



De werkgroep bestond uit drie onderdelen:

1. Een inleiding waarin kort het programma werd gedemonstreerd en de belangrijkste functies en gebruiksmogelijkheden aan bod kwamen.
2. Een concrete toepassing (hoogspringen) werd bekeken (model op de computer met een werkblad op papier) om een en ander nader toe te lichten.
3. Een praktikum waarin de deelnemers zelf achter de computer interactieve modellen konden bekijken of zelf hun eigen model konden ontwerpen.

Inleiding: Het Computerprogramma

Het programma is oorspronkelijk afkomstig uit de V.S. en is daar in een paar jaar tijd uitgegroeid tot 'de standaard' in Natuurkunde simulatie-software. Ook hebben in de V.S. al meerdere uitgevers speciale edities van hun 'Physics Textbooks', met simulaties, op de markt gebracht. Het programma is, in nauwe samenwerking met de Amerikaanse producent, in het Nederlands vertaald door Jan Rasenberg van de vakgroep Natuurkunde van de lerarenopleiding van de Hogeschool Rotterdam & Omstreken (HR&O). Er bestaat een Windows- en een Macintosh-versie van het programma.

Een model kan snel vanuit een geheel grafische userinterface opgebouwd worden. Massa-objecten worden getekend op een vergelijkbare manier als met een tekenprogramma. Ook allerlei verbindingen als touwen, veren, dempers, katrollen, tandwielen, enz. zijn met een paar simpele muisklikken aan te brengen. Al deze objecten krijgen op het moment dat ze gecreëerd worden allerlei (standaard) eigenschappen mee. Vervolgens zijn al deze eigenschappen door de gebruiker naar behoefte aan te passen.

Zeer bijzonder is de mogelijkheid om in een model allerlei knoppen en meters aan te brengen om (ook tijdens een

simulatie) grootheden te kunnen instellen (veranderen) en te kunnen 'meten'. Zo'n meter kan ook een grafische meter zijn waardoor tijdens het simuleren automatisch de grafiek van die grootheid getekend wordt. Op deze manier kan een model zo aangepast worden dat voor een leerling of student het model zeer eenvoudig te gebruiken wordt (verder geen kennis van het programma noodzakelijk), terwijl ze toch met behulp van (regel)knoppen allerlei zaken kunnen instellen of veranderen (snel meerdere What-If-situaties nagaan bijvoorbeeld). Met behulp van de juiste instructies op papier (lees: werkbladen) is op deze manier een boeiende en uitdagende leeromgeving te creëren. De (ruime) ervaringen in de V.S. met dit programma tonen aan dat leerlingen dit ook een bijzonder leuke manier van leren vinden. De eerste ervaringen in Nederland wijzen in dezelfde richting.

Het programma is te uitgebreid en de mogelijkheden zijn te talrijk om zowel in de werkgroep als in dit verslag een compleet beeld te kunnen geven. Ik zal daartoe dan ook geen poging wagen, maar u tenslotte nog de volgende overwegingen meegeven:

- 1 omdat de modellen heel eenvoudig kunnen zijn (basisvorming), maar ook zeer geavanceerd (Hoger Onderwijs), is het programma in veel verschillende onderwijsprogramma's bij de vakken Natuurkunde en Techniek te gebruiken;
- 2 het programma maakt het mogelijk om leerlingen meer zelfstandig en individueel te laten werken en past als zodanig uitstekend bij de nieuwe manier van werken (meer 'leren' minder 'onderwijzen') die momenteel door de basisvorming en de nieuwe bovenbouw v.o. (studiehuys) ingezet zijn. (Er bestaan ook bij enkele Nederlandse uitgevers concrete plannen om de mogelijkheden van dit programma bij hun nieuwe bovenbouwmethode te gaan gebruiken.)

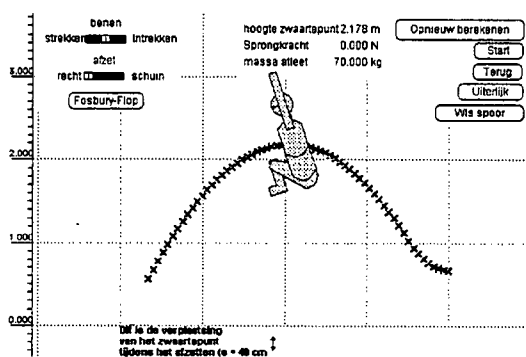
Een concrete toepassing: Hoogspringen

De mogelijkheden van het programma werden verder gedemonstreerd aan de hand van een concrete toepassing (Hoogspringen) die aansluit bij het thema van de conferentie (Sport in de Natuurkunde).

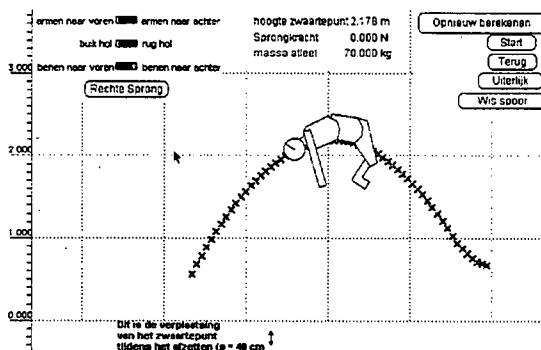
De benodigde gegevens voor het model kwamen uit het boekje "Sport und Physik" van Leopold Mathelitsch (met dank aan uitgeverij Van Walraven).

In de begeleidende werkbladen werd eerst kort de achterliggende theorie beschreven en vervolgens het model met de bijbehorende instructies. Het belangrijkste gedeelte is de simulatie. In dit gedeelte beantwoordt de leerling/student vragen en controleert deze vervolgens m.b.v. het computermodel. In het model zijn regelknoppen om tijdens de sprong de manier van afzetten te regelen en tijdens het 'vluchtgedeelte' van de sprong kunnen verschillende lichaamsdelen ten opzichte van elkaar bewogen worden om het lichaam die vorm te geven waarmee de grootste hoogte overwonnen kan worden.

Overduidelijk blijkt uit het model dat allerlei bewegingen van lichaamsdelen na de afzet geen enkel gevolg hebben voor de baan die het zwaartepunt beschrijft (luchtwrijving werd in dit model verwaarloosd). De baan die het zwaartepunt beschrijft is steeds gelijk en komt overeen met de baan van een schuine worp.



normale sprong met opgetrokken knieën



fosbury-flop

Bewegingen van lichaamsdelen en de daaruit voortvloeiende vorm van het lichaam hebben wel een grote invloed op de maximale hoogte die overwonnen kan worden. Door het simpel intrekken van de benen kan het lichaam een grotere hoogte overwinnen dan wanneer men de benen gewoon laat 'bungelen'. Overduidelijk blijkt dat bij hoogspringen naast de arbeid die tijdens het afzetten verricht wordt, de techniek een doorslaggevende rol speelt.

Tenslotte kan men proberen om in het model tijdens het vluchtgedeelte van de sprong het lichaam de goede vorm te geven zodat een goede 'fosbury-flop' (de ruggelingsse techniek die momenteel het meest wordt toegepast door topsporters) gemaakt wordt. Met een drietal regelknoppen is de vorm van het lichaam tijdens de sprong te veranderen (als dat niet interactief is!). Het model toont overtuigend aan dat bij een goed uitgevoerde fosbury-flop de lat een paar centimeter hoger kan liggen dan de maximale hoogte van het zwaartepunt. Door de 'banaanvorm' gaat het lichaam over de lat, terwijl het zwaartepunt onder de lat door beweegt. Dit was voor menigeen toch wel een verrassend resultaat.

Een Praktikum: Zelf modellen maken

Tenslotte konden de deelnemers achter de computer zelf modellen ontwerpen en bestaande modellen aanpassen of bekijken. Vele enthousiaste reacties werden opgetekend van deelnemers die zelf konden ervaren dat het met deze software inderdaad relatief eenvoudig is om snel interactieve computermodellen te maken van allerlei situaties uit de mechanica (en verwante vakgebieden).

Voor belangstellenden is het goed om te weten dat er een nascholingscursus "Interactieve Natuurkunde met de Computer" ontwikkeld is, van drie dagdelen, die aangeboden wordt door de Hogescholen (lerarenopleidingen) in Rotterdam, Sittard, Tilburg en Zwolle en door de UvA in Amsterdam. De benodigde software kan met de cursus tegelijk aangeschaft worden. Voor meer informatie over data, prijzen, enz. en voor andere inlichtingen kunt u contact opnemen met:

Hogeschool Rotterdam & Omstreken, tav. Jan Rasenberg, Postbus 2680, 3000 CR Rotterdam.

fax: (010)-4049329; email: j.f.c.rasenberg@feo.hro.nl

Open onderzoek, sport en natuurkunde

Werkgroep 15

J. Buning & E. van den Berg

Het moeilijkste onderdeel in het eigen experimenteel onderzoek is de beginfase, waarin de leerling tot een werkbaar onderzoeksvoorstel moet komen. De eerste voorstellen zijn vaak vaag en weinig concreet (*ik wil iets doen met een voetbal*). Vervolgens moet de leerling (met liefst minimale sturing van de docent) komen tot een werkbaar voorstel. Welke hulpmiddelen kan de docent gebruiken om de leerling te begeleiden of te oefenen in dit proces van concretisering? In het nu volgende geven wij eerst een korte beschrijving van de stappen in het doen van een eigen onderzoek. Vervolgens reiken we een paar hulpmiddelen aan. We doen dit met sportvoorbeelden, sport vormt een prachtig en motiverend onderzoeksgebied voor leerlingen.

Stappen in eigen onderzoek. Wat is onderzoeken?

In zo'n onderzoeksproces van leerlingen kun je een aantal stappen onderscheiden die elk hun eigen vaardigheden eisen:

Ontwerpfase

1. De leerling komt met een vaag onderwerp, een vraag, of een probleem: *ik wil iets met badminton of ik wil iets met dans*. Rond dat vage idee moeten vragen geformuleerd worden die mogelijk uitmonden in een concrete doelstelling. Het onderwerp moet op de één of andere manier *geconceptualiseerd* worden: gevangen worden in een begrippenkader dat zowel alledaagse als fysische begrippen bevat. Dat gebeurt door literatuur zoeken en praten met anderen zoals de docent en medeleerlingen.
2. Dan moet er een concrete doelstelling komen waar een experiment voor te verzinnen valt. Dit kan zijn een hypothese toetsen, of een goede manier vinden om een grootheid te meten, of een relatie onderzoeken tussen twee grootheden (*wat is de invloed van luchtwrijving op de beweging van de shuttle?*), of een apparaat ontwerpen met bepaalde specificaties.

3. Vervolgens moeten de diverse begrippen vertaald worden in een ontwerp voor een experiment. Wat moet je meten? Onder welke condities? Hoe kies je meetwaarden? Verder moeten begrippen vertaald worden in meetbare grootheden.

Bijvoorbeeld: *Wat is (fysisch) een klap van een racket tegen een shuttle? Hoe en met hoeveel meetpunten leg ik de beweging vast van een shuttle? Kan ik luchtwrijving direct of indirect meten, hoe?*

4. Een gidsexperiment (*pilot experiment*) is een *must*. Daarin kunnen leerlingen hun meetmethoden uitproberen en kunnen zij en de docent zien of de doelen van het onderzoeksproject realistisch zijn.
5. Bijstelling van doelen/methoden op grond van gidsexperiment.

Uitvoeringsfase

6. Uitvoering van experient/metingen/observaties.

Verwerkingsfase

7. Verwerking van gegevens via berekeningen, tabellen, grafieken, diagrammen.
8. Conclusies, in hoeverre zijn doelen bereikt, wat zijn zwakke plekken in het onderzoek, wat zou veranderd moeten worden in methoden als er een kans was alles over te doen?
9. Presentatie, verslag.

Wat opvalt is dat juist de ontwerpfase zoveel vergt terwijl die fase in gewone practica vaak wordt kortgesloten door voorgekookte instructies. Zou het niet beter zijn minder practicum te doen maar dan wel de leerlingen meer te betrekken bij het ontwerp van experimenten?

Ons verdere verhaal betreft stappen 1-3. We geven twee methoden om leerlingen te helpen van vage vragen naar concrete plannen te gaan.

1. Het in kaart brengen van woorden, begrippen

Wanneer leerlingen *iets gaan doen met badminton* en ze moeite hebben concreet te worden, dan is het handig de

leerlingen de woorden te laten opschrijven die met de natuurkunde (in dit geval vooral mechanica) van badminton te maken hebben. Daarbij zitten alledaagse woorden als slaan, dropshot, lob, de vlucht van de shuttle, een steekbal e.d.. Misschien zitten er ook enkele natuurkunde-woorden als energie, kracht, snelheid of wrijving bij. Overigens kan gebruik van het woord kracht in de context van een sport heel verraderlijk zijn. De leerling kan daar een heel alledaagse bedoeling mee hebben die weinig met de natuurkunde te maken heeft! Dat moet boven water komen.

De volgende stap is om de leerlingen meer natuurkunde-woorden te laten bedenken, die met badminton te maken hebben en deze bij het lijstje te schrijven.

Bijvoorbeeld: slag heeft te maken met kracht, impuls, en energie; de vlucht van de shuttle met afstand, tijd, hoek en ook met beginsnelheid, zwaartekracht, wrijving.

Wrijving op zijn beurt heeft weer te maken met de vorm van de shuttle, de eigenschappen van lucht e.d. Zo ontstaat al associërend een lijst met woorden en begrippen. De lijst van woorden en begrippen hoeft niet heel uitgebreid te zijn. Wanneer leerlingen al een aantal termen hebben, laat ze dan wat verbanden zoeken tussen verschillende termen. Dat kan door hen lijnen te laten trekken tussen verschillende termen. Elke lijn betekent dus dat er één of ander verband is tussen twee termen. Laat de leerling zo'n verband onder woorden brengen. Daarbij kunnen de vragen zoals onder punt 2 hieronder behulpzaam zijn.

Zo ontstaat een begrippenkaart, waarin de verbanden gevisualiseerd zijn. Hierdoor krijgen de leerlingen een overzicht over het verschijnsel en de natuurkunde die ermee te maken heeft. Dit kan een goed hulpmiddel zijn om tot een concrete vraagstelling of probleemstelling te komen.

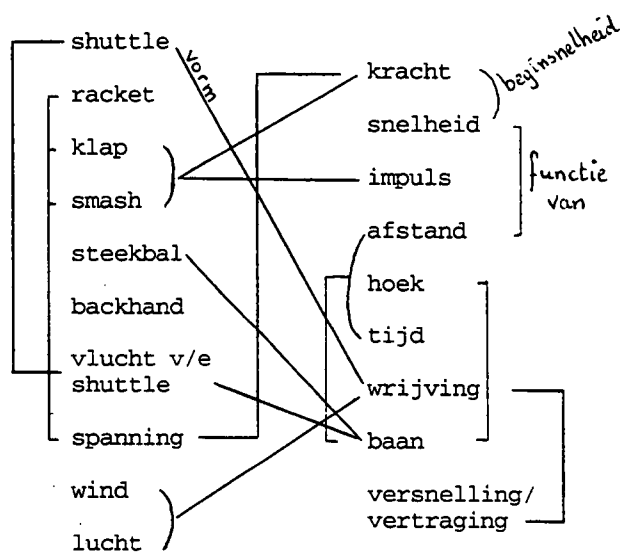


Fig.1: De diverse woorden en vaktermen en hun onderlinge relaties kunnen "in kaart"gebracht worden in een zogenaamde begrippenkaart!

2. Werken met diverse typen vragen

In het blad *Impuls* van het APS (juni, 1995, 19-20) geeft Maria Cornelisse² een aardig handvat voor de startfase van open onderzoek. Via eenvoudigevraagwoorden als *Wat ... ?; Hoe ... ?; Welke ... ?; Wat gebeurt er als.... ?; Hoe kan ik ... ?* kunnen leerlingen komen tot diverse typen onderzoekjes (fig. 2).

Onderzoek	Leidt tot	Vragen
1-Verkennd	Beschrijving	Wat, hoe, welke
2-Gevolg van verandering (kwalitatief)	Vergelijken	Wat .. als, als .. dan
3-Gevolg van een doelgerichte verandering (kwantitatief)	Metten	Hoeveel
4-Bereiken van doelgerichte verandering	Controle variabelen	Hoe kun je
5-Variëren van variabelen	Relatie tussen variabelen	Wat is het verband tussen

Fig.2: Vragen en typen onderzoek volgens Cornelissen

Dit onderscheid in typen onderzoekjes is bedoeld voor de lagere klassen, waar leerlingen nog kleine beperkte onderzoekjes doen met het accent op slechts enkele onderzoeksvaardigheden.

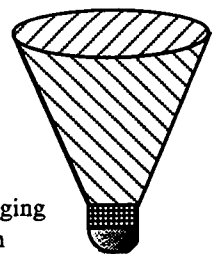
Deze indeling met bijbehorende vragen kan ook heel goed gebruikt worden in het gesprek tussen leerling en docent bij het indienen van het onderzoeksvoorstel voor het EXO. Het Eigen eXperimenteel Onderzoek omvat meerdere of alle aspecten van de onderzoekjes uit bovengenoemd schema. De typen vragen uit het schema kunnen uitstekend dienst doen om het voorstel concreet te maken, waarbij de volgorde van 1 tot 5 doorlopen kan worden. Er zit n.l. een zekere hiërarchie in deze vragen die de opbouw van een onderzoek goed volgt.

Hieronder is dit uitgewerkt voor een voorbeeld dat is opgegaan uit *The Physics of Sports*³ over badminton en specifiek het gedrag van de shuttle. Het is overduidelijk dat een shuttle luchtwrijving ondervindt. Hoe zit dat en is dat onderzoekbaar?

De leerling komt met: *Ik wil iets doen met een shuttle en de luchtwrijving*. In het gesprek met de leerling over dit vage onderzoeksvoorstel kunnen de vragen uit het schema een nuttige rol spelen om tot een meer concrete onderzoeksvraag te komen.

a) wat, hoe, welke vragen.

Dit gaat om *definities*, om helder te krijgen waar het eigenlijk om gaat, om wat de natuurkundige betekenis is van de grootheden die een rol spelen. Wat is wrijving? (een *kracht* die de *beweging tegenwerkt*). Wat voor beweging voert een shuttle uit? Welke grootheden bepalen die beweging? (snelheid, versnelling, zwaartekracht).



b) als .. dan vragen

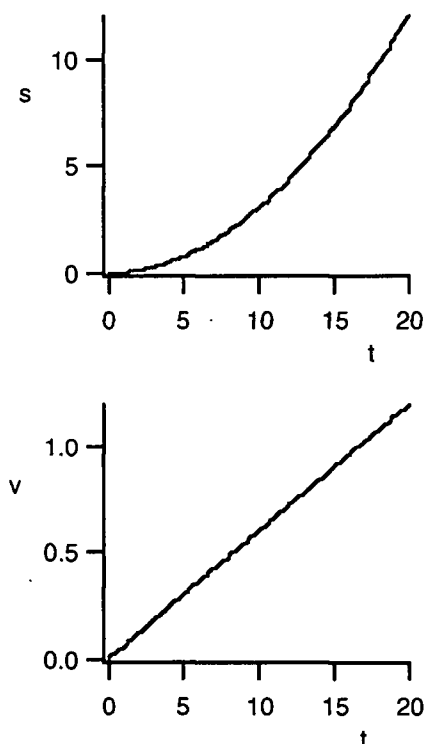
Om de vraag wat toe te spitsen, kunnen er "als...dan" vragen gesteld worden.

Als er wrijving is, wat voor consequenties heeft dat dan? (de beweging wordt vertraagd).

Ook kan men de werkelijke situatie *vergelijken* met een bekende eenvoudige situatie om zo tot *kwalitatieve* uitspraken/verwachtingen te komen.

Maak eens een vergelijking met de situatie dat de shuttle recht naar beneden valt zonder wrijving.

Hoe ziet die beweging eruit (grafisch als s-t of v-t diagram) en *wat is dan het effect van de wrijving op de beweging?* (waar ligt de werkelijke v(t) lijn t.o.v. de ideale v(t) lijn en kun je daar wat meer over zeggen, over de vorm bijvoorbeeld?).



c) hoeveel vragen

Verdere toespitsing van het probleem. Kun je ook tot *kwantitatieve* uitspraken komen? Kan er iets *gemeten* worden?

Hoe groot is de wrijving en kan je die ook meten? Hoe dan?

Dit leidt tot vragen over een experimentele opstelling. Wrijving is een kracht. Het direct meten van een kracht is mogelijk, maar dat stelt voorwaarden aan de opstelling. Wrijving heeft ook indirecte effecten: op de snelheid bijvoorbeeld. Deze overwegingen geven aanleiding tot de volgende type vraag:

d) waar hangt het van af vraag

Nu wordt het interessanter. Het gaat om het leggen van verbanden tussen de verschillende grootheden. De *natuurkunde* komt nu nadrukkelijker aan bod.

Waar hangt de wrijving van af? Is die constant? of niet?

Verwachtingen, hypothesen e.d. komen nu in het zicht.

e) wat is het verband vraag

We worden nog concreter, het "waar hangt het van af" moet nu vertaald worden in een kwalitatieve of kwantitatieve relatie. We gaan op zoek naar een model. Als er een samenhang is, hoe is het verband dan precies? Kan je dat vanuit de theorie onderbouwen, of is het slechts een verwachting, die je experimenteel wilt gaan toetsen? Als de wrijving afhangt van de snelheid. Hoe is dat verband dan, lineair, kwadratisch, is daar misschien een formule voor?

Dit zijn nog alleen maar vragen (van de docent of leerling). Ze kunnen richting geven aan de onderzoeksvraag en duidelijkheid geven waar in het betreffende onderzoek het accent kan liggen. Antwoorden zijn nog nauwelijks gegeven, de vragen dienen ter verscherping van het onderzoeksvoorstel. De leerling zelf zal met behulp van de diverse vragen moeten komen tot een uiteindelijke probleem- of vraagstelling voor het eigen onderzoek.

Expliciet maken van de verwachting

Om tot een concreet onderzoeksvoorstel te komen is het belangrijk om naar verwachtingen te vragen en deze heel expliciet onder woorden te laten brengen. Dat geeft richting en structuur aan het onderzoek: Wat verwacht je precies? Wat moet je dan gaan bepalen? Waar moet je dan op letten bij de keuze van de experimentele opstelling? Analyse en interpretatie van de resultaten worden afgezet tegen die verwachtingen. Het expliciet onder woorden brengen, zo kenmerkend voor natuurwetenschap, kan gebeuren volgens de rij vragen hiervoor behandeld.

Hoe ga je om met je "docentenkennis" in een dergelijk gesprek?

Dat is een lastige kwestie. Het gaat om *eigen* onderzoek van de leerling, dus voorzeggen mag niet. Toch is het nodig om sturing te geven, want een leerling is nog geen volwaardige onderzoeker (en ook die kan niet zonder gesprekspartners). Een onderzoek wordt pas interessant en motiverend voor leerlingen als zij een minimum aan overzicht hebben. Daar kan en moet je soms als docent bij helpen, anders komt het EXO niet tot zijn recht.

Terugverwijzen. Op het eerste nivo van de wat-, hoe-vragen, kan je een leerling, indien deze geen antwoorden weet, terugverwijzen naar het boek. Bij eigen onderzoek hoort ook literatuuronderzoek, ophalen van je eigen kennis. Dat hoeft je als docent niet voor de leerling te doen. Is bepaalde theorie niet te vinden, dan kan je als docent bijspringen.

Verschillende mogelijkheden voorleggen. Een manier om je eigen kennis ten dienste te stellen zonder de leerling dwingend een bepaalde kant op te sturen is de leerling verschillende mogelijkheden voor te leggen.

Is de wrijving constant, of niet? Waar is deze dan van afhankelijk, van v , of van v^2 ?

Je kan de wrijvingskracht direct in een windtunnel bepalen. *Is het ook mogelijk deze te bepalen uit de valtijd?*

Probleem versimpelen: De kracht van de natuurwetenschappelijke methode is een probleem te reduceren tot een eenvoudiger probleem. Daar kan je een leerling mee helpen. 'Als je de shuttle met het racket weg slaat, maakt hij een complexe beweging. Je kan ook beginnen met een simpele beweging, bijvoorbeeld: de shuttle laten vallen van verschillende hoogten, om het effect van wrijving te bepalen en dan te bedenken hoe dat voor de gewone beweging zal zijn.'

Moeilijke stappen de leerling voordoet: Is een stukje theorie te moeilijk, dan is het natuurlijk goed mogelijk dit de leerling aan te reiken. Vallen met een wrijving evenredig met de snelheid geeft een snelheid die in de tijd exponentieel toegroeit naar een constante. De nodige wiskunde is voor de meeste leerlingen te moeilijk. Dit kan dan gegeven worden, opdat de leerling de beweging aan de gegeven formule kan toetsen.

Artikel of verslag geven: Als een leerling al enigszins thuis is in het probleem dat hij wil oplossen, maar nog geen overzicht heeft, of door de bomen het bos niet meer ziet, is het heel goed mogelijk een artikeltje te geven, of een verslag van een andere leerling dat over hetzelfde probleem gaat. De leerling kan dan een theorie experimenteel gaan toetsen, of een nieuw of onopgelost aspect van het probleem aanpakken.

We hopen dat het met bovenstaande suggesties mogelijk is wat structuur aan te brengen in de vage ontwerpfase van eigen experimenteel onderzoek van leerlingen. We horen graag uw ervaringen (telefoon Jaap Buning: 020-4447885).

Noten

1. Meer over begrippenkaarten is te vinden in: White, R., Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. London: Falmer Press, hoofdstuk 2, een uitstekend boekje, ook geschikt als verjaardagscadeau voor docenten.
2. We raden u sterk aan het oorspronkelijke Impuls artikel te lezen. Het artikel van Maria Cornelissen is ook gepubliceerd in DBKna-Extra 2(2) p10-12 van november 1996.
3. Armenti, A. Jr. (1992). *The Physics of Sports*. New York: American Institute of Physics, ISBN 0-88318-946-1 (v.1). Dit boek heeft een prachtige collectie artikelen over sport en natuurkunde, voornamelijk uit de *American Journal of Physics* en *The Physics Teacher*.

De koppeling van waarnemen en bewegen: visuele controle van balvangen

Werkgroep 16

J. v. d. Kamp & G. Savelsbergh

De visuele controle van balvangen

Tijdens het uitvoeren van bewegingshandelingen zijn waarnemen en bewegen onlosmakelijk aan elkaar gekoppeld. In de workshop werd dit uitgangspunt geïllustreerd aan de hand van het vangen van voorwerpen. Vangen is een veel voorkomende bewegingshandeling; denk bijvoorbeeld aan sportsituaties waarbij ballen worden gevangen, of aan meer alledaagse situaties zoals het vangen van een toegeworpen pen. Om met succes zo'n voorwerp te vangen is het van belang om de hand op de *goede plaats* en op het *juiste moment* te sluiten. Als bewegingswetenschappers zijn we dan ook geïnteresseerd in de vraag hoe mensen deze 'positionering' en 'timing' van de vangbeweging controleren. Visuele informatie speelt hier een onmisbare rol: de visuele waarneming geeft de vanger informatie over waar en wanneer de bal gevangen moet worden. Een zeer ervaren vanger -zoals een 'catcher' bij honkbal- weet zijn vangbeweging dan ook naadloos af te stemmen op de visuele informatie over de bal.

Een belangrijke visuele informatiebron is de optische variable Tau. Wanneer een bal de vanger nadert dan veroorzaakt het een expansiepatroon op het netvlies. Met andere woorden, de naderende bal dekt een steeds groter deel van het netvlies af. Door middel van geometrie kan aangetoond worden dat de inverse van de relatieve mate van deze expansie overeenkomt met de tijd die de bal erover doet om het oog te raken (onder de aanname dat de snelheid van de bal constant is). In de nu volgende afleiding geven hoofdletters fysische grootheden aan, en duiden kleine letters op optische grootheden (zie Fig.1).

Uit een vergelijk van gelijkzijdige driehoeken volgt dat,

$$(1) \quad \frac{1}{r(t)} = \frac{Z(t)}{R}$$

Let wel, deze vergelijking duidt een statische situatie aan ($r(t)$ geeft geen informatie over de afstand $Z(t)$ omdat bij een twee keer zo groot voorwerp R op een twee keer zo grote afstand $Z(t)$ er een even grote projectie $r(t)$ is!). Daarom wordt vergelijking (1) gedifferentieerd,

$$(2) \quad \frac{R}{V} = \frac{r(t)^2}{v(t)}$$

Omdat $R = Z(t)r(t)$ (zie vergelijking (1)) geldt dat,

$$(3) \quad \frac{r(t)}{v(t)} = \frac{Z(t)}{V}$$

De ratio $r(t)/v(t)$, wordt aangeduid met *Tau* (τ) en specificeert de tijd die zal verlopen voordat de bal het oog raakt: de tijd-tot-contact. Omdat $v(t)/r(t)$ de relatieve expansie van het beeld op het netvlies aangeeft, is Tau dus gelijk aan de inverse van de relatieve mate van expansie.

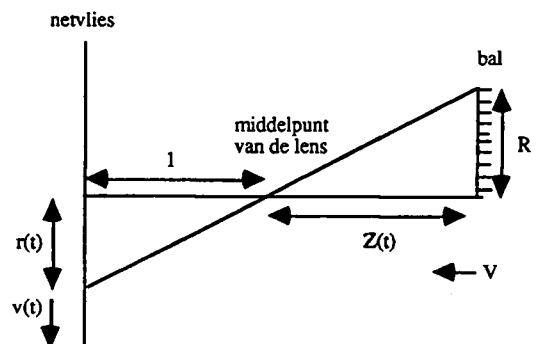


Fig.1: Geometrie van een naderende bal. R is de grootte van de bal. $Z(t)$ is de afstand van de bal tot het oog, V is de constante snelheid waarmee de bal het oog nadert, $r(t)$ is de grootte van de projectie van de bal op het netvlies, en $v(t)$ is de snelheid waarmee de projectie van de bal op het netvlies verandert. De afstand tussen de lens en het netvlies wordt als 1 gedefinieerd.

Met Tau is dus in potentie een visuele informatie aanwezig die de 'timing' van het vangen kan reguleren. Wordt Tau ook daadwerkelijk gebruikt bij de controle van het sluiten van de hand? Deze vraag kan beantwoord worden door te kijken wat er gebeurt als de relatieve mate van expansie gemanipuleerd wordt. Als de relatieve expansie minder toeneemt, dan wordt er een grotere tijd-tot-contact gespecificeerd. Logischerwijs verwacht je dan dat de hand later sluit. Om dit te testen hebben we in ons laboratorium een experiment gedaan waarbij tijdens de vlucht van de bal de grootte van de bal langzaam kleiner werd. Hiervoor hadden we de bal aan een slinger bevestigd en om de bal een ballon gedaan die langzaam leegliep. De positie van markers die op de duim en wijsvinger bevestigd waren, werd gedurende de vangbeweging geregistreerd. Door de positie van beide markers tegen de tijd te plotten kon in milliseconden nauwkeurig bepaald worden wanneer de hand gesloten werd. Een vergelijk van het vangen van ballen met een constante omvang en het vangen van ballonnen die langzaam kleiner werden, wees uit dat in het geval van de leeglopende ballonnen de hand inderdaad later gesloten wordt. Hieruit concluderen we dat de optische variable Tau inderdaad de timing van het balvangen reguleert.

In de workshop werd een aantal korte experimenten uitgevoerd waarbij de deelnemers ballen moesten vangen. Dit werd uitgevoerd in verschillende situaties, die van elkaar konden worden onderscheiden op basis van de aanwezig visuele informatie. De ballen moesten gevangen worden in zowel een verlichte als een donkere kamer (in deze situatie werd gebruik gemaakt van lichtgevende ballen), waarbij beide ogen (binoculair) of één oog (monoculair) geopend waren. De ballen werden zo aangegooid dat ze of altijd op dezelfde positie terechtkwamen (alleen timings-onzekerheid) of ook op verschillende posities (ook positionele onzekerheid). De achterliggende gedachte was dat met betrekking tot de timing het zien van de bal alleen voldoende zou moeten zijn (immers, Tau is in essentie een monoculaire bron), terwijl voor een goede positionering zowel omgevingsinformatie als binoculaire waarneeming (beide zijn belangrijk voor positie en afstands-informatie) het aantal succesvol gevangen ballen zou verhogen. Samenvattend, bij het vangen van een bal blijkt de beweging nauwkeurig afgestemd te worden op de aanwezige visuele informatie. De optische variable Tau speelt bij de timing van het vangen een belangrijke rol. Onderzoek naar andere timingstaken zoals het slaan van een forehand drive in tafeltennis, het landen na het maken van een salto, het strekken van de armen om een val te breken, het remmen van een autobestuurder voor plots overstekende kinderen, verspringen, ski-schansspringen, het wegslaan van een vallende bal enz. wijzen allen in dezelfde richting.

Sport en energie; de ideale combinatie

Werkgroep 17

J. Frankemölle & P. van Meeuwen

Sport als context voor een hoofdstuk. Er is veel voor te zeggen. Veel leerlingen doen aan sport. Veel leerlingen volgen sport, al dan niet op TV. Er is veel beeldmateriaal voorhanden. Zo zijn er videobanden te koop over de Olympische Spelen, met daarop alle sportieve hoogtepunten.

Aanleiding tot de werkgroep was het herschrijven van een hoofdstuk in DBK-na deel 4cd. Blok 23: Sport en energie. Sport op MAVO-niveau:

"Schoonspringster Daphne Jongejans duikt vanuit stilstand van een 10 m hoge toren.

Bereken de snelheid waarmee zij in het water terechtkomt"

Dit ziet er al leuker uit dan een puntmassa die van 10,0 m hoogte wordt losgelaten. Het wordt nog veel aardiger als je de sprong van Daphne Jongejans ook op video kunt laten zien.

Maar er kan nog veel meer. We hebben gekeken naar video-opnamen van gewichtheffen, verspringen en schaatzen. Als je beeldje voor beeldje bekijkt, dan zie je dat een gewichtheffer los komt van de grond bij het omhoog brengen van het gewicht. Dat is leuker dan alleen maar zijn energie berekenen. Je kunt nu ook zijn vermogen bepalen. Tel het aantal beeldjes. 50 per seconde. Geen dure apparatuur nodig. Alleen de mogelijkheid tot vertraagde weergave. Liefst beeldje voor beeldje stilstaand. Nog wat probleempjes die we hebben uitgezocht: Hoe hard moet een hoogspringer aanlopen om over 2,40 m te komen?

Eenvoudig: Kinetische energie wordt omgezet in zwaarte-energie.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = 6,86 \text{ m/s } (= 24,7 \text{ km/u})$$

Als je op de video gaat nameten blijkt dit niet helemaal juist te zijn. Maar dan zie je ook dat de hoogspringer niet helemaal over 2,40 m gaat.

Ook spectaculair is de sprong van Bob Beamon die in Mexico-City het wereldrecord verspringen verbrijzelde. Hij maakte een sprong van 8,90 m. Hoe hard moest hij aanlopen? En onder welke hoek moest hij springen? En wat makkelijk met de video te controleren is: hoe lang was hij in de lucht?

Dit bleek wat moeilijk (of was het vrijdag toch wat laat geworden?).

$$v_x = v \cdot \cos \alpha$$

$$v_y = v \cdot \sin \alpha$$

$$t = 2 \cdot v_y / g = 2 \cdot v \cdot \sin \alpha / g$$

$$s = v_x \cdot t = v^2 \cdot 2 \sin \alpha \cos \alpha / g = v^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha) / g$$

De optimale afstand is als $2 \cdot \alpha = 90^\circ$, ofwel $\alpha = 45^\circ$

De aanloopsnelheid van Beamon was dan: 9,34 m/s = 33,6 km/u.

De meningen waren verdeeld over de mogelijkheid van Beamon om deze snelheid te ontwikkelen.

De tijd in de lucht moest 1,35 s zijn.

Natellen op de video leverde 50 plaatjes op: 1,0 s. De hoek waaronder Beamon wegvloog was ook beduidend kleiner dan 45° .

De conclusie moet zijn dat Bob Beamon dank zij zijn eigenaardige houding tijdens de sprong ook werkelijk vloog.

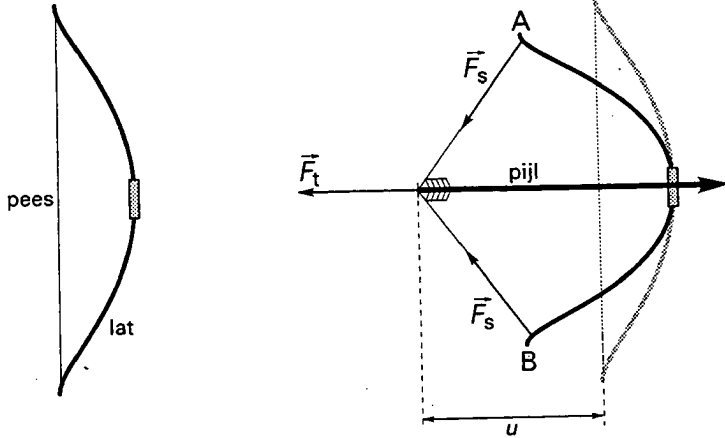
Ander onderwerp tijdens de werkgroep:

Hoe vaak wordt sport in het examenprogramma genoemd?

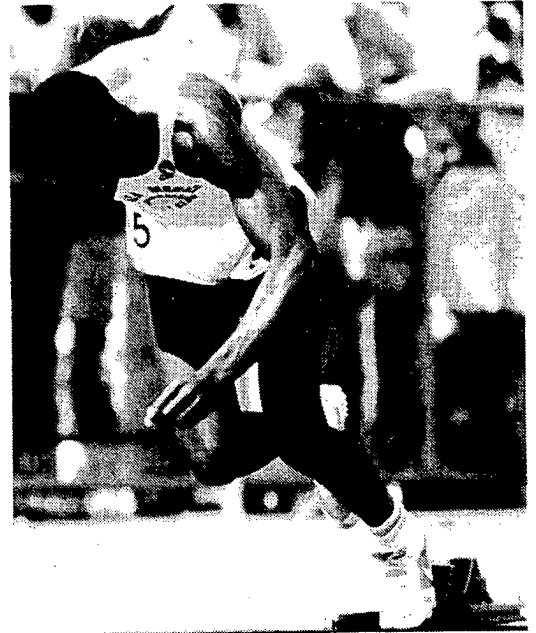
Eén maal: druk; de schaats.

Ten slotte enkele voorbeelden van examenopgaven waar een sportief onderwerp als context genomen was:

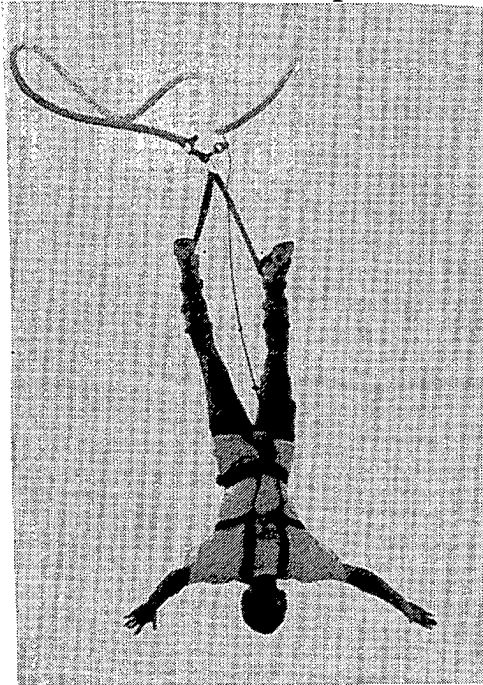
VWO: 95-II: Pijl en boog



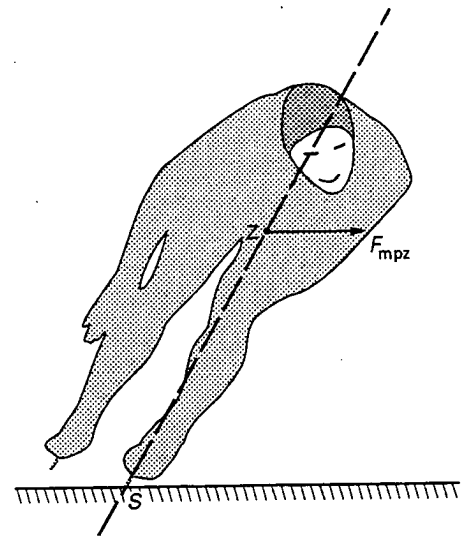
HAVO: 95-I: Hardloper



VWO 94-1: Jumper



HAVO: 92-II: Schaatsen

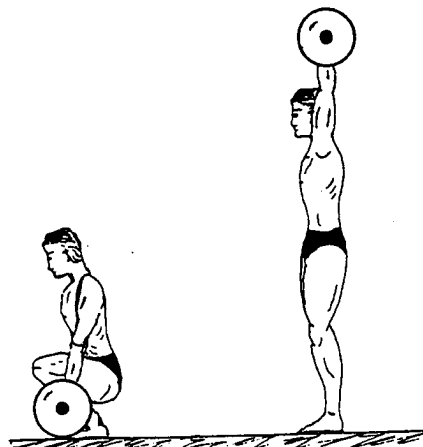


MAVO: 95-I.D

■ Een prismabril

MAVO: 90-II.D:

Gewichtheffen



DE PRISMABRIL

Doordat een prisma het licht breekt, kan de renner omlaag kijken en toch zicht houden op de weg.

Nadeel: Volgens de makers is een gewenningstijd van tien à twintig uur nodig.

© De Volkskrant

Vaardigheden ontwikkelen, een goed trainingsprogramma is nodig!

Werkgroep 18

L. Heimel & W. Bustraan

Net als bij sport word je steeds beter en kun je steeds meer wanneer je het juiste programma en de juiste begeleiding krijgt.

Wanneer je de voorstellen voor de Tweede Fase leest, zie je dat vaardigheden, net als bij de basisvorming, veel aandacht krijgen. Bij ons vak spelen practicum- en onderzoeksvaardigheden een zeer belangrijke rol. Wij gaan ervan uit dat leerlingen gedurende hun gehele loopbaan vaardigheden ontwikkelen. Die vaardigheden moeten gestructureerd in kleine stapjes aangeboden worden.

In de werkgroep is een paragraaf uit een boek, een bijbehorend experiment en een practicum-toets over dezelfde stof bekeken. De opdracht luidt: op welke vaardigheden worden de leerlingen aangesproken, en welke vaardigheden worden in dit onderdeel aangeleerd? Daarna is een aantal vaardigheden vertaald in niveau-gebonden verwachtingen. De achterliggende gedachte is, dat vaardigheden herkennen voor docenten belangrijk is, zowel om de leerlingen goed te begeleiden als om ze goed te kunnen beoordelen, en dat met het klimmen der leerjaren steeds hogere eisen aan de leerlingen gesteld worden. Wat betekent *benodigde gegevens halen en interpreteren uit grafieken, tekeningen, simulatie's, schema's, diagrammen en tabellen* voor de ontwikkellijn van de leerling?

Als hulpmiddel werd de nieuwste versie van domein A uit de eindtermen VWO verstrekt, die voor natuurkunde, scheikunde en biologie vrijwel identiek geformuleerd is. Dit domein is de basis voor het profielwerkstuk.

Om de tijdsdruk niet te groot te maken is een aantal deelvaardigheden eruit gelicht zoals: waarnemen, variabelen onderscheiden, onderzoeksvragen stellen, meetresultaten verwerken, ijken, grafieken interpreteren.

Bij het ontwikkelen van vaardigheden kan de computer een belangrijke rol spelen en er bestaat al materiaal dat in

het onderwijs ingezet kan worden. Dit materiaal wordt nu gebruikt door de zes scholen van het Print-VO project natuurwetenschappen.

Aan de hand van de ingevulde matrix (vaardigheden tegen leerjaar) bespreken we met elkaar ons idee om tot een opbouw in het programma te komen en aldus vaardigheden systematisch bij leerlingen te ontwikkelen en in kaart te brengen via een aftekenlijst voor het dossier van de leerling.

Zelfstandig werken/leren in de bovenbouw- havo/vwo

Werkgroep 19

M. Cornelisse & H. Bruijnesteijn

De tweede fase

Er staat een grote verandering voor de bovenbouw havo/vwo voor de deur. De veranderingen zitten 'm niet zo in de vakinhouden van de bestaande vakken, maar veel meer in de organisatie van de vakkenpakketten (profielen), de invoering van nieuwe vakken (o.a. ANW) en in de didactiek, de organisatie van het lesgeven. Naast leren wordt expliciete aandacht voor leren leren belangrijk en de leerlingen moeten zelfstandiger aan de slag. Zelfstandig werken, zelfstandig leren, wat verstaan we daar onder? Bij het creëren van onderwijssituaties waarin leerlingen zelfstandiger bezig zijn, is het verstandig één begrippenkader te gebruiken bij de discussies op school en in de secties. Deze werkgroep probeerde zo een begrippenkader te geven. Daarnaast werden deze begrippen door middel van voorbeelden gekoppeld aan de lespraktijk van alledag. Een samenvatting van het eerste deel volgt hier.

Hoe actiever, hoe effectiever!

Tallose onderzoeken wijzen uit dat kennis effectiever verworven wordt als de lerende de leerstof actief verwerkt. Lezen en luisteren zonder actieve verwerkingsopdrachten zijn weinig effectief. Daarentegen zijn schematiseren, samenvatten, elkaar uitleggen, voorbeelden bedenken, ordenen, structureren, discussiëren en opgaven maken vormen van actieve verwerking van de leerstof.

De docent

De rol van de docent verandert. Opgeleid tot uitlegger van vakinhouden, moet de leraar anno 1996 zich transformeren tot begeleider en organisator van leerprocessen van leerlingen in het studiehuis van de volgende eeuw. Dat is een cultuuromslag waar veel collega's tegenop zien, terwijl ook al een aanzienlijk aantal docenten met de vernieuwing begonnen zijn. Op veel scholen wordt, met wisselende resultaten, geëxperimenteerd met perioden van

zelfstandig werken/leren zoals werken met studiewijzers, eigen onderzoek en facultatieve lessen in de bovenbouw. Aldoende ontwikkelt en leert men.

Zelfstandig Leren of Zelfstandig Werken?

Onder *Zelfstandig Werken* verstaat men dat de leerling alleen of in een groepje zelfstandig met behulp van leermiddelen bezig is taken uit te voeren. Vaak volgens een planning die door de docent gemaakt is, op een manier die door de docent aangeraden is en met materiaal dat door de docent verstrekt is. Soms kunnen leerlingen de volgorde van de taken of het tijdstip van werken beïnvloeden. De docent houdt zo tijd over om leerlingen individueel of in groepjes te begeleiden.

Onder *Zelfstandig Leren* verstaat men dat de leerling werkt aan zichzelf gestelde taken, op een zelfgekozen tijdstip, op een zelf gekozen bij haar of hem passende manier. Dit wel binnen het kader van de door de overheid opgestelde examenprogramma's en van de door de school vastgestelde organisatiestructuur. De docent is nu meer op de achtergrond aanwezig, houdt de voortgang en de toetsing in de gaten en stimuleert de leerlingen taken aan te pakken.

In de praktijk van het studiehuis zullen allerlei tussenvormen van *Zelfstandig Werken* en *Zelfstandig Leren* voorkomen, waarbij leerlingen in de loop van hun schoolcarrière meer ruimte krijgen om zelf hun leren, met vallen en opstaan, vorm te geven. Aldoende ontwikkelen ze studievaardigheden en leren ze steeds meer verantwoordelijkheid voor hun leren op zich te nemen.

Leerfuncties

Bij de discussie over hoe zelfstandig de leerlingen in onze lessen moeten/kunnen werken, is het handig uit te gaan van de leerfuncties van Simons en Boekaerts. Hier gaat de Stuurgroep Tweede Fase ook vanuit.

Een leerfunctie is een taak, een functie die voor een

optimaal leerproces vervuld moet worden, door wie of wat dan ook. (Zie tabel.)

Nu vervult de docent veel van de leerfuncties, maar bij het inrichten van onderwijs in de vernieuwde bovenbouw gaat het er om welke leerfuncties in welke mate overgeheveld worden naar leerlingen. Hoe traint de docent de leerlingen in het zelf vervullen van leerfuncties en in het leren leren? Hoe wordt het onderwijs dan in de school georganiseerd, zodat de leerlingen min of meer zelfstandig aan de slag kunnen?

In onderstaande tabel is geprobeerd aan te geven wie in het geval van *Zelfstandig Werken* de leerfuncties vervullen en welke leerfuncties in de loop van één of twee schooljaren *Zelfstandig Werken* richting leerling kunnen verschuiven.

Wie vervult de Leerfuncties bij *Zelfstandig Werken*?

Leerfuncties	Vervuld door
Vorbereidingsfuncties <ul style="list-style-type: none"> • kiezen leerdoelen • verhelderen leerdoelen • expliciteren van relevantie van leerdoelen • kieszen van leeractiviteiten • planning maken en daarbij rekening houden met randvoorwaarden • inschatten van de leertijd • motiveren om inzet te leveren • aandacht richten op taak en afleiding voorkomen • besluiten aan de gang te gaan • activeren van voorkennis • bevorderen van zelfvertrouwen 	ex.pr. lr + lm lr lr + lm ► ll lr ► ll lr ► ll ll (lr) ll (lr) ll (lr) lr + lm ► ll lr ► ll
Verwerkingsfuncties <ul style="list-style-type: none"> • Begrijpen • Integreren • Toepassen 	ll lr + lm ► ll ll
Regulatiefuncties <ul style="list-style-type: none"> • bewaken of de leerstof begrepen is • bewaken of de leerstof onthouden wordt • tijd, concentratie en inzet bewaken • gebruik maken van feedback mogelijkheden • toetsen en beoordelen • reageren op struikelblokken door heroriëntatie of hulp zoeken • leerproces beoordelen en het toeschrijven van (goede) resultaten aan functioneren van leerling 	ll (lr) ll (lr) ll (lr) ll (lr) lr + lm ► ll ll (lr) lr ► ll

ex.pr examenprogramma

lr leraar

ll leerling

lm leermiddel, boek

► kan in de loop van de periode van zelfstandig werken verschuiven naar

ll(lr) leerling vervult de leerfunctie, de docent activeert, stimuleert

Leren en leren leren

In het onderwijs staat nu nog het leren van vakinhouden centraal. Daarbij leert de goede leerling vaak onbewust studievaardigheden aan. Voor (zwakkere) leerlingen is het belangrijk dat studievaardigheden bewust en expliciet, en niet alleen in de studielessen, worden aangeleerd. Uit onderzoek blijkt dat het 'leren leren' effectiever is als het geïntegreerd in de vakles gebeurt. Een schoolbrede aanpak vergroot het effect, maar komt ook bij de scholen die experimenteren met vormen van het studiehuis niet of sporadisch voor.

Interactie

Bij effectief leren is interactie tussen lerenden onderling en leerlingen en leraar essentieel. Nieuw ontwikkelde denkbeelden moeten aan anderen getoetst worden. De dialoog tussen leerlingen en met de docent moet ook in het toekomstige studiehuis bewust georganiseerd worden. Discussie, onderwijsleergesprek, samenwerkingsopdrachten, presentaties, werkbesprekingen zijn manieren om de dialoog gestalte te geven. Klassikale momenten zijn dan ook zeker niet uit den boze. Een boeiend vakverhaal ter motivatie, een kort hoorcollege voor de eerste begripsvorming, het voorstellen door hardop denken van leerstrategieën en/of een korte terugblik om een les(periode) af te ronden geven de docent die graag en goed uitlegt genoeg mogelijkheden.

Praktijkervaringen

Op de conferentie kwamen ook ervaringen met zelfstandig werken aan bod. Hieruit zijn enkele opmerkingen gedisilleerd:

- Tijdens het experimenteren wordt vaak de periode waarvoor leerlingen zelf kunnen plannen ingekort. Dat voorkomt 'drie weken niets doen en een paar dagen pezen'.
- Naast een planning maken is het volgen van een planning voor leerlingen ook een probleem. Hier ligt een taak voor de docent om het volgen van de planning te controleren, het proces van maken en volgen van plannen te bespreken, te beoordelen en te belonen.
- De veranderende rol van de docent wordt weliswaar als onwennig, maar ook als uitdagend en prettig ervaren. De werkdruk buiten de les neemt toe, maar in de les af. Docenten spreken ook duidelijk over een culturomslag in hun lesgeven en kunnen ook vaak het 'moment' van die omslag aangeven.
- De resultaten van de toetsen zijn gemiddeld niet beter. Men moet wat dit betreft geen hoge verwachtingen van een experiment met 'zelfstandig werken' hebben. Leerlingen zijn gemiddeld wel meer gemotiveerd, meer bij hun leren betrokken en ontwikkelen hopelijk meer studievaardigheden.

Uniek

Nog nooit is in het onderwijs vertoond dat meer dan twee jaar voor de invoering al honderden docenten zonder een

officiële experimenteerstatus en/of extra geld bezig zijn met vormen van de beoogde vernieuwing. Het is duidelijk een maatschappelijke onderwijsvernieuwing, die ook in (K)MBO, HBO en WO gaande is. Het is het antwoord op de zich snel veranderende maatschappij, waarin (studie)vaardigheden belangrijker zijn dan (snel verouderde) kennis en waarin de mondige lerende steeds meer om onderwijs en begeleiding op maat vraagt.

Open onderzoek: tussen pingpongbal en klap-schaats

Werkgroep 20

Th. Smits

Inleiding

Het Eigen Experimenteel Onderzoek (EXO) voor het vak natuurkunde in de bovenbouw kan al bijna tot een vast onderdeel van het natuurkundeprogramma worden gerekend¹. In de onderbouw echter wordt open onderzoek nog maar mondjesmaat in het curriculum opgenomen. In NVOX² is een overzicht gepubliceerd van de praktijk van zes docenten met open onderzoek. Hierin geven de docenten de noodzaak aan van het ontwikkelen van een leerlijn voor open onderzoek vanaf klas 2 tot en met het eindexamenjaar onder het motto: onderzoeken kun je leren. Het is dus van belang te onderzoeken welke mogelijkheden er voor open onderzoek in de onderbouw zijn en hoe onderzoeksactiviteiten in het bestaande curriculum kunnen worden ingebouwd.

Een nadere omschrijving

Voor open onderzoek bestaan veel alternatieve namen: zelfstandige opdracht, eigen experimenteel onderzoek (EXO), onderzoekspracticum etc. Het gaat hierbij in de meeste gevallen om *praktisch* onderzoek, onderzoek waarbij op een of andere manier gebruik wordt gemaakt van practicumapparatuur.

Wat is de betekenis van *open* in open onderzoek? Is onderzoek niet altijd open, is zo'n adjectief overbodig? In open onderzoek heeft *open* meerdere betekenissen. Er kunnen twee dimensies worden onderscheiden³. De eerste dimensie heeft betrekking op de sturing van het leerproces. Een docent (of een handleiding) kan volledig voorschrijven hoe een onderzoek van stap tot stap wordt uitgevoerd. Dit is een gesloten instructiemodel. Aan de andere kant kan het initiatief bij alle aspecten van het onderzoek in handen van de leerling worden gegeven. Het onderzoek is dan open in die zin dat de leerling zijn eigen onderzoek structureert.

De tweede dimensie van het begrip open heeft betrekking op de uitkomst van het onderzoek. De vraag experimenteel aan te tonen dat het kookpunt van water 100 °C is, levert een voorspelbaar antwoord op. Het antwoord ligt bij voorbaat vast, en daarmee ook al vaak de onderzoeksmethodiek. Een vraag als: "Welk type schoenzool is het meest slipvast" levert geen vast antwoord op. In dit geval is het onderzoek divergent: het antwoord is open. Als we over open onderzoek spreken dan hebben we het in het ideale geval over beide aspecten van openheid.

Het gaat bij leerlingonderzoek uiteraard niet om research (waarbij het te doen is om het genereren van nieuwe kennis), maar wel om het opdoen van ervaring met het zelfstandig zoeken naar een antwoord op een door henzelf gestelde vraag.

Bij zo'n leerlingonderzoek spelen de volgende drie elementen een belangrijke rol⁴:

- 1 Nodig is een *vakmatige basiskennis* over (natuurkunde)concepten en (apparatuur)vaardigheden.
- 2 Daarnaast is *procedurele kennis* nodig over hoe je een onderzoek plant, uitvoert, verwerkt en evalueert.
- 3 Als derde categorie, en dat is kenmerkend voor ieder onderzoek, krijgen leerlingen te maken met de onderzoeksconcepten *validiteit en betrouwbaarheid*. Leerlingen zullen bij elk onderzoek dat ze doen moeten nagaan of ze hebben gemeten wat ze wilden meten en hoe betrouwbaar die metingen zijn. Ofschoon het mogelijk is algemene kenmerken voor validiteit en betrouwbaarheid op te stellen heeft toch elk onderzoek z'n eigen specifieke kenmerken.

Typen onderzoek

Om grip te krijgen op open onderzoek van leerlingen is het handig als de docent in staat is het onderzoek te typeren. Op grond van meer dan honderd onderzoeksvragen van leerlingen van een school⁵ kwam ik tot de volgende zes typen⁶:

1. Ontwikkeland onderzoek

De leerling geeft in zijn onderzoeksopzet te kennen een apparaat, instrument of iets dergelijks te willen ontwerpen en bouwen.

Onderzoeksvragen voor dit type hebben de gedaante van:

- ▶ *Hoe maak je ... en werkt het naar behoren?*

Voorbeelden zijn:

- Hoe kun je een warmhoudplaatje maken?
- Hoe bouw je een knipperlicht en hoe werkt dit?
- Hoe maak je met flessen water een toonladder?

2. Beschrijvend onderzoek

De leerling geeft aan een verschijnsel te willen bestuderen.

Onderzoeksvragen voor dit type hebben de gedaante van:

- ▶ *Wat zie je als ...?*
- ▶ *Wat hoor je als ...?*
- ▶ *Wat gebeurt er als...?*

Voorbeelden zijn:

- Hoe ziet het magnetische veld van verschillende soorten magneten eruit?
- Wat gebeurt er als voorwerpen statische elektriciteit bevatten?
- Hoe vervormt licht als het door een stuk glas valt en hoe komt dat?

3. Bepalend onderzoek

De leerling geeft aan een grootheid(-heden), of een natuurconstante te willen meten.

Onderzoeksvragen voor dit type hebben de gedaante van:

- ▶ *Hoe groot is ...?*
- ▶ *Hoe lang is ...?*

Voorbeelden zijn:

- Hoe groot is de soortelijke warmte van azijn?
- Hoeveel gewicht kan de oppervlaktespanning van water houden?
- Wat is de hoogst waarneembare toon voor mensen?

4. Vergelijkend onderzoek

De leerling doet een aantal metingen (of in kwalitatieve zin: bestudeert verschijnselen) om te kunnen vergelijken. Een consumentenonderzoek valt onder vergelijkend onderzoek.

Onderzoeksvragen voor dit type onderzoek hebben de gedaante van:

- ▶ *Hoeveel langer ...?*
- ▶ *Hoeveel beter ...?*

Voorbeelden zijn:

- Welke luier absorbeert het meeste water?
- Welke materiaalsoorten kunnen bij waterlast het beste het water tegenhouden?

- De sterkte van diverse garens: wanneer breken ze en bij welk gewicht?

5. Explorerend onderzoek

In dit type onderzoek, ook wel verkennend onderzoek genoemd, gaat de leerling op zoek naar factoren die een grootheid mogelijkwijs kunnen beïnvloeden.

Onderzoeksvragen voor dit type onderzoek hebben de gedaante van:

- ▶ *Van welke factoren hangt de?*
- ▶ *Waar hangt het vanaf of?*

Voorbeelden zijn:

- Van welke factoren hangt de oppervlaktespanning van een vloeistof af?
- Waar hangt de opwaartse kracht op een voorwerp vanaf als het geheel ondergedompeld is in water?

6. Experimenteel onderzoek

De leerling geeft aan het verband tussen variabelen te willen bestuderen en verbanden te onderzoeken.

Onderzoeksvragen voor dit type onderzoek hebben de gedaante van:

- ▶ *Hoe verandert ... als ...?*
- ▶ *Wat is het verband tussen ...?*

Voorbeelden zijn:

- Wat is het verband tussen de afstand tussen een magneet (van een bepaald gewicht) en een voorwerp en de kracht?
- Wat is het verband tussen de snelheid van een fiets en de remtijd?
- Hoe verandert de toonhoogte van een snaar als je hem meer of minder aanspant?

Van het ontwikkelend onderzoek kan worden opgemerkt dat zo'n onderzoek wellicht meer thuishoort in het vak techniek vanwege zijn specifieke technische invalshoek. In bovenstaande typen is met betrekking tot moeilijkheidsgraad een opbouw te zien. Een experimenteel onderzoek (waarbij gemeten wordt, maar ook variabelen gecontroleerd dienen te worden) is in dit rijtje het meest ingewikkelde type, terwijl beschrijvend onderzoek over het algemeen de meest eenvoudige onderzoeksvorm is. Dit zou bij het onderwijzen van open onderzoek een suggestie voor een leerlijn kunnen zijn.

Opbouw van open onderzoek

Als we met betrekking tot open onderzoek als doel stellen dat leerlingen eind klas drie een eenvoudig (experimenteel) onderzoek kunnen uitvoeren aan de hand van een zelfgeformuleerde vraag, dan kan met een opbouw hiernaartoe worden gewerkt. Zo'n opbouw kan dan worden gebaseerd op een drietal ontwikkelingen:

- A Vanuit de *leerstof*: zo'n ontwikkeling gaat vanzelf en volgt in principe de opbouw van het boek. Een docent zou het onderwerp van een eerste onderzoek sterk kunnen koppelen aan het thema, waar de leerlingen mee bezig zijn of dat net is behandeld.

- B Vanuit het *type onderzoek*: een eerste onderzoek zou bijvoorbeeld een beschrijvend, bepalend of vergelijkend onderzoek kunnen zijn.
- C Vanuit de *openheid* met betrekking tot de sturing. De ervaring is dat leerlingen het stellen van een onderzoeksvraag moeilijk vinden, en dat een docent vanuit zijn praktijkervaringen zicht dient te krijgen op de haalbaarheid van zo'n vraag. Het is daarom aan te bevelen voor de eerste onderzoekjes de leerlingen te laten kiezen uit gegeven vragen van onderzoekjes die goed uitvoerbaar zijn.

Het komt er op neer, dat de docent naarmate er meer open onderzoek is gedaan, het initiatief uit handen geeft, en daarmee ook leerstof en onderzoekstype door de leerling zelf laat bepalen. In het begin kunnen de onderzoeken goed aansluiten bij de normale lespraktijk. In volgende rondes kunnen de onderzoeken een steeds eigener plek gaan innemen in het natuurkundecurriculum. Het spreekt vanzelf dat samenwerking met andere vakken erg wordt aanbevolen.

Open onderzoek in het natuurkundecurriculum

In gesprekken met docenten over het doen van open onderzoek met leerlingen komen een aantal knelpunten naar voren. Het betreft 1) de overladenheid van het curriculum, 2) de tijdsinvestering voor de docent, en 3) de vaak gebrekkige lokaliteit en apparatuur.

Ik wil hieronder kort op de hierboven genoemde drie knelpunten ingaan.

Allereerst de *overladenheid van het curriculum*. Een open onderzoek doen in de onderbouw zal ongeveer drie lessen omvatten. Als een docent twee keer open onderzoek per jaar doet is dit 10 % van de beschikbare lestijd (bij twee uren per week) of 7 % (bij drie uren per week). Dit is geen onoverkomelijke tijdsinvestering. Er zou gekort kunnen worden op "traditioneel" practicum.

Vervolgens de *tijdsinvestering van de docent*. Starten met open onderzoek in de onderbouw kost wat extra tijd. Het gaat hierbij om het opzetten van een "infrastructuur" rond de organisatie (lokale, materiaal, technische ondersteuning, etc.), maar ook het inwerken in de begeleiding, het slechten van drempels bij leerlingen, enzovoort. Ervaring leert dat een goede stroomlijning van de organisatie veel problemen helpt voorkomen, en dat de daadwerkelijke voorbereiding, begeleiding en beoordeling niet meer tijd hoeft te kosten dan een "gewone" les. In Nijmegen wordt onderzoeksmatig gewerkt aan een didactische ondersteuning voor open onderzoek⁷.

Over *lokale en apparatuur* is hierboven al het een en ander gezegd. Net zoals bij practicum zijn een goed practicumlokaal en technische ondersteuning gewenst. Zijn deze aanwezig, dan is open onderzoek zeker goed uitvoerbaar.

Met open onderzoek in de onderbouw is in Nederland weinig ervaring opgebouwd. Het is mijns inziens hard nodig om daar de komende jaren aan te werken en deze ervaringen door te geven aan collega's in het veld.

Noten

1. Zie hiervoor: Schimmel, P. & E. Payens (1995). Zelfstandig Open Onderzoek in 6 VWO. *NVOX*, 20 (9), pg. 440-442.
2. Zie hiervoor: Smits, Th. (1995). Open onderzoek in actie: docenten over hun open onderzoek met leerlingen in de onderbouw natuurkunde. *NVOX* 20 (8), pg.387 - 391.
3. Zie ook: Lock, R. (1990). Open-ended, problem-solving investigations: What do we mean and how can we use them? *School Science Review*, 71 (256), pg. 63-72.
4. Zie ook: Gott, R. & S. Duggan (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham/Philadelphia: Open University Press.
5. De onderzoeksvragen komen van leerlingen van het Stedelijk Gymnasium Nijmegen, waar al enkele jaren open onderzoekjes worden gedaan in de onderbouw.
6. Zie ook: Cornelisse, M. (1995). Leerlingen helpen bij het doen van onderzoek 5: Onderzoeksvragen stellen. *Impuls*, 2 (4), 19-20.
7. Het betreft een studie naar het ontwikkelen van een didactiek voor open onderzoek bij het vak natuur/(scheikunde) in de onderbouw. Het onderzoek wordt uitgevoerd aan de Afdeling Didactiek Natuurkunde/UNILo van de KUN, in samenwerking met VU en UU.

Kernpunt; schooltelevisie voor de basisvorming

Werkgroep 21

K. de Waard & M. van Os

De kerndoelen van de basisvorming voor natuur- en scheikunde geven een verschuiving te zien van de vakstructuur naar de toepassing van kennis en vaardigheden in onze leefwereld. Van de leerlingen wordt onder andere verwacht dat zij praktische toepassingen van natuurkunde en scheikunde gaan herkennen in verschillende maatschappelijke situaties.

De mini-documentaires uit de serie Kernpunt, natuur- en scheikunde voor de basisvorming, laten vooral toepassingen zien die binnen de vier muren van een vaklokaal niet getoond kunnen worden. Hierdoor vormen zij, samen met het schriftelijk verwerkingsmateriaal, een aanvulling op het onderwijsprogramma. Kernpunt besteedt verder aandacht aan het gebruik van natuur- en scheikundige kennis en vaardigheden bij verschillende beroepen. Ook wordt een bijdrage geleverd aan het verwerven van inzicht in een aantal sociale en milieu-effecten die de toepassingen van natuur- en scheikundige kennis in de samenleving veroorzaken.

Kernpunt is bedoeld voor leerlingen in het tweede en derde leerjaar van de basisvorming, van vbo tot en met vwo. De serie bestaat nu -december 1995- uit twee series van vier afleveringen met in totaal 16 documentaires. Er zijn plannen voor nog twee series.

Elke aflevering bestaat uit twee documentaires van tien minuten, die onafhankelijk van elkaar te gebruiken zijn. In de documentaires wordt aandacht besteed aan een domein of subdomein van de kerndoelen van de basisvorming. Twee documentaires behandelen onderwerpen die niet in de kerndoelen zijn opgenomen: de sterrenhemel en het weer.

De handleidingen bevatten over elk programma een inhoudsbeschrijving met kijkvragen en aanvullend leerlingmateriaal in de vorm van vrij te kopiëren werkbladen.

In deel twee van de handleidingen is een overzicht opgenomen dat is opgesteld in samenwerking met de educatieve uitgeverijen. Hierin is aangegeven hoe de documentaires bij de verschillende methoden voor natuur- en scheikunde te gebruiken zijn.

Met behulp van de inhoudsbeschrijvingen kan de docent bepalen welke documentaire gebruikt gaat worden. De documentaire kan gebruikt worden als introductie op de leerstof of meer als afsluiting nadat de kernbegrippen van de leerstof behandeld zijn.

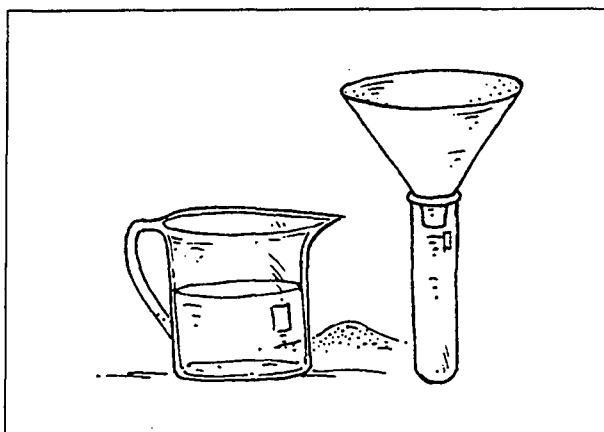
De samenstellers raden het gebruik van kijkvragen bij het bekijken van een documentaire sterk aan. Dit soort vragen richten de aandacht van de leerling tijdens de vertoning van de documentaire op de hoofdzaken en voorkomen een vrijblijvend karakter van deze vertoning. Door zelf kijkvragen te ontwerpen kan de docent de documentaires afstemmen op de leerlingen en de wijze van gebruik.

Kernpunt is niet gebonden aan een bepaalde methode. Elke docent kan zelf beslissen hoe de documentaires en de verwerkingsopdrachten in de eigen onderwijssituatie het best kunnen worden gebruikt. Er is geen voorgeschreven volgorde en de documentaires en de verwerkingsopdrachten kunnen onafhankelijk van elkaar worden gebruikt.

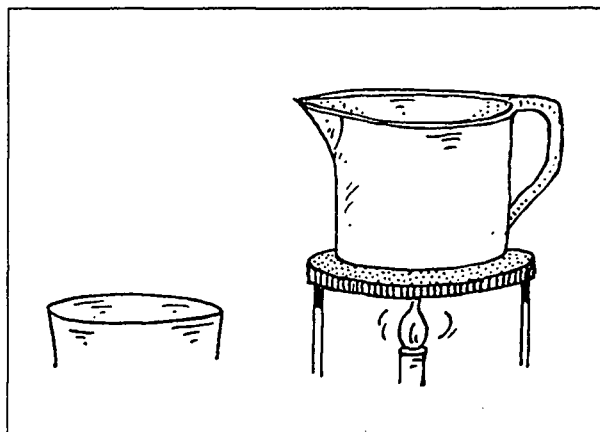
Kernpunt is ontwikkeld door de Nederlandse Onderwijs Televisie met adviezen van de projectgroep natuur- en scheikunde van het Algemeen Pedagogisch Studiecentrum (APS).

De handleidingen zijn te bestellen bij:
Nederlandse Onderwijs Televisie
Noordse Bosje 18
1211 BG Hilversum
035 6236260

B1 – Hieronder staan vier proefjes waarmee je slootwater kunt zuiveren:



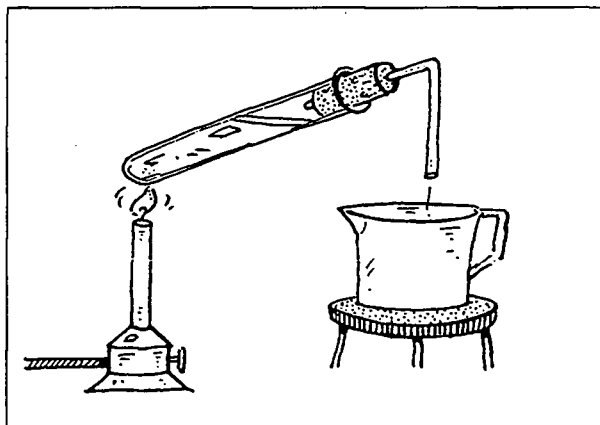
1. Filtreren met behulp van schoon zand in een koffiefilter.



2. Filtreren met filtreerpapier, daarna koken.



3. Filtreren met filtreerpapier, daarna ontkleuren met norit.



4. Filtreren met filtreerpapier, daarna destilleren.

Doe een van deze proefjes. Schrijf op wat je gedaan hebt en wat het resultaat na afloop van de proef is.

Het nieuwe examenprogramma natuurkunde

Werkgroep 23

J. Cremers & C.M. Drukker

In 1998 komt er een nieuw programma voor de Bovenbouw HAVO en VWO. In dat programma komen twee profielen voor de Natuurwetenschappen: Natuur en Gezondheid en Natuur en Techniek.

In het afgelopen jaar heeft de Vakontwikkelgroep BiNaSk een nieuw eindexamenprogramma ontwikkeld voor deze twee profielen.

Bij het maken van dit programma moest er aan vele voorwaarden worden voldaan, een belangrijk aspect daarbij was de lijst met vaardigheden en de samenhang van de drie vakken.

In september heeft er een consultatie plaatsgevonden.

Daar is o.a. aan het veld en de vervolgopleidingen gevraagd om een eerste oordeel te geven. De Vakontwikkelgroep heeft daarna geprobeerd om alle kritiek te verwerken in het definitieve programma.

Vlak voor de conferentie is het programma overgedragen aan de Staatssecretaris.

Het veld heeft nog geen gelegenheid gekregen om kennis te maken met het definitieve programma.

De werkgroep heeft grotendeels in het teken gestaan van informatie-overdracht. Daar bleek duidelijk behoefte aan te bestaan. In hoofdlijnen is verslag uitgebracht over de werkwijze en de keuzes van de vakontwikkelgroep BiNaSk. De plaats van de vakken binnen de profielen Natuur en Techniek en Natuur en Gezondheid is aan de orde gesteld, waarbij aandacht is geschonken aan de mogelijkheid voor leerlingen een definitieve keuze tussen de profielen uit te stellen door de creatie van een deelvak biologie.

De samenhang tussen de natuurwetenschappen is in de examenprogramma's zichtbaar in de gemeenschappelijke keuze voor behoud van de traditionele vakstructuur, in inhoudelijke afstemming, in het gebruik van gemeen-

schappelijke contextgebieden, techniek, gezondheid en milieu, en in het gemeenschappelijke domein A: de vaardigheden.

In de voorstellen van de vakontwikkelgroep is de grotere plaats en het belang van vaardigheden vertaald in het schoolexamen; het examendossier dient veel toegepaste en praktische componenten (zoals het werkstuk) te bevatten. In de werkgroep is hierover lang van gedachten gewisseld, met name over de vraag in hoeverre dit niet nu al bij de bestaande examenpraktijk het geval is. In dit kader zijn ook de laatste voorstellen van de Stuurgroep Tweede Fase voor de inrichting van het examen met de deelnemers besproken.

De nieuwe examenprogramma's voor natuurkunde zijn gedetailleerder besproken: de domein-indeling voor beide profielen, de verdeling van de studielasturen over de domeinen, het gebruik van werkwoorden enz.

De kernwoorden van het nieuwe programma voor de Bovenbouw zijn "Zelfstandig werken en leren in het Studiehuis". We wilden iets daarvan toepassen in de werkgroep en hebben daarom aan de deelnemers een aantal opgaven gegeven en hen gevraagd deze te ordenen naar de volgende categorieën:

Wel/Niet; HAVO/VWO; N1 / N2 ; CE/SE;
Werkwoord in eindterm, Vaardigheid.

Net als bij het maken van het eindexamenprogramma was nu ook de tijd te kort om dieper in te gaan op deze vragen.

We gaan er van uit dat er op komende Woudschotenconferenties opnieuw aandacht zal worden besteed aan dit onderwerp.

Loop naar de maan

Werkgroep 24

M. Pieters & A. Teekens-Veldkamp

'Loop naar de maan' staat er bovenaan de poster. Je kijkt vanuit het heelal op een blauwe bol genaamd aarde. Een dunne ijle schil rondom de aarde stelt de atmosfeer voor. Daarboven is een ruimteschip zichtbaar, op terugreis naar de basis aarde.

Achter de poster op de deur wordt een workshop gehouden over Algemene Natuurwetenschappen; een nieuw vak voor alle leerlingen in de bovenbouw havo en vwo.

Hoe kan een vak over natuurwetenschappen aantrekkelijk zijn voor alle leerlingen?

Hoe gaat het vak eruit zien?

Wat zijn de keuzevrijheden voor docenten en leerlingen?

Vragen genoeg om een kijkje te nemen achter de deur.

Project Algemene Natuurwetenschappen

Deze zomer presenteerde de vakontwikkelgroep Algemene Natuurwetenschappen ANW haar concept-examenprogramma. ANW wordt een nieuw vak dat vanaf de zomer van 1998¹ voor alle leerlingen in de bovenbouw van het havo en het vwo op het rooster zal staan. Voordat het zover is, zal er veel werk verricht worden. Op basis van het examenprogramma wordt er een leerplan geschreven, onderwijsmateriaal ontwikkeld en getest, en een nascholing voor docenten georganiseerd. Nieuwe onderwerpen, nieuwe werkvormen en een nieuwe didactiek; dat vraagt nogal wat van toekomstige docenten. Om de invoering succesvol te laten verlopen hebben het Instituut voor Leerplan ontwikkeling (SLO) te Enschede en het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen (CD-β) te Utrecht de handen ineengeslagen en een projectgroep Algemene Natuurwetenschappen in het leven geroepen.

Het examenprogramma Algemene Natuurwetenschappen

De Stuurgroep stond een vak voor ogen dat aan alle toekomstige hoger opgeleiden inzicht verschaft in de maatschappelijke, culturele, economische en filosofische implicaties van de ontwikkeling van natuurwetenschap en

techniek. Daarnaast zou aandacht geschonken moeten worden aan rol van informatie- en communicatietechnologie en techniek. De vakontwikkelgroep ontwikkelde een examenprogramma met 4 inhoudelijke domeinen (de zgn B-eindtermen).

De thema's van de domeinen zijn:

1. Leven
2. Biosfeer
3. Materie
4. Zonnestelsel en Heelal.

De thema's zijn gevisualiseerd in de poster², die op de workshopdeur hangt. In een apart domein zijn de algemene eindtermen beschreven, die het vak als geheel typeren (de zgn A-eindtermen). Anders gezegd de A-eindtermen zijn de blik waarmee je naar de poster kijkt. Voor een overzicht werden de A-eindtermen samengevat:

- A1 - Hoe ontstaat natuurwetenschappelijke kennis?
- A2 - Wetenschap ontwikkelt zich (ook) door gebruik te maken van steeds geavanceerdere methoden en technieken.
- A3 - Het belang van interdisciplinaire aanpak van natuurwetenschappelijke problemen?
- A4 - Wat is de relatie tussen techniek en natuurwetenschappen?
- A5 - Hoe betrouwbaar zijn beweringen waarin gebruik wordt gemaakt van natuurwetenschappelijke kennis?
- A6 - De samenleving heeft invloed op de ontwikkeling van natuurwetenschap en techniek.
- A7 - Natuurwetenschap en techniek hebben invloed op de samenleving
- A8 - Bij het bepalen van een standpunt over een maatschappelijk vraagstuk kan natuurwetenschappelijke kennis een rol spelen.

Onderwijsmateriaal

De workshop spitst zich toe op de werkzaamheden met betrekking tot de ontwikkeling van onderwijs materiaal. Er worden vier lessenseries ontwikkeld. De lessenseries dekken ongeveer eenderde van de eindtermen. In elk van

de lessenseries staat een inhoudelijk domein centraal. De algemene eindtermen worden als leidraden voor de lessenseries gehanteerd. Het materiaal wordt vanaf januari gebruikt in 9 klassen. Na inleidende lessen wordt op de scholen gestart met 'Over-leven', de lessenserie over het domein B.1 'Leven'. Gedurende deze lessenserie doen leerlingen observaties aan de hemel ter voorbereiding van de lessenserie 'De ontwikkeling van ideeën over het heelal'. De lessenserie gebaseerd op domein B.4 'Zonnestelsel en heelal'. Voor de ontwikkeling van de lessenseries heeft de projectgroep kennis genomen van de ervaringen bij soortgelijke vakken in Nederland en in het buitenland. Er zijn scholen bezocht en het daar gebruikte materiaal is bestudeerd. In de workshop worden fragmenten uit de buitenlandse methodes uitgedeeld samen met fragmenten van lesmateriaal dat de projectgroep tot nu toe heeft ontwikkeld. Enkele fragmenten worden besproken. De workshop wordt afgerond met een algemene discussie.

De deelnemers vonden de fragmenten hoopgevend en enthousiasmerend. Maar, er moet nog veel pionierswerk verricht worden voordat Algemene Natuurwetenschappen in 1998 succesvol kan worden ingevoerd. Gezamenlijk pionierswerk door schrijvers, docenten en leerplanontwikkelaars.

- ¹ Inmiddels is besloten dat het vak Algemene Natuurwetenschappen in 1998 facultatief en in 1999 verplicht wordt ingevoerd.
- ² Het is niet mogelijk gebleken de poster verkleind af te drukken bij het verslag.



Golven in beweging

Werkgroep 26

J.E.M. Heuvel

Het onderwerp van de werkgroep betrof het computerprogramma "Golven in beweging" dat een groot aantal bewegende simulaties bevat van golfverschijnselen.

Na een korte inleiding kregen de deelnemers de gelegenheid zelf met het programma te experimenteren. Hun bevindingen konden zij per programmaonderdeel vastleggen op een evaluatieformulier, waarbij gevraagd werd te letten op:

- bedieningsgemak
- geschiktheid als demonstratiemiddel in de klas
- wat spreekt u aan, wat mist u, wat is overbodig, wat zou beter kunnen
- geschiktheid om leerlingen er zelf zelfstandig mee te laten werken
- lay-out en overzichtelijkheid

De ingeleverde formulieren waren voor mij als auteur zeer informatief.

De deelnemers konden eveneens een leerlingenpracticum uitvoeren met een van de onderdelen van het programma aan de hand van een schriftelijke practicumopdracht. Van deze gelegenheid werd druk gebruikt gemaakt.

Dr. J.E.M. Heuvel
Aldenhof 6703
6537 DB Nijmegen
Tel. 024-3442930

Werken met fysische modellen op de computer

Werkgroep 27

C. Mulder

In het vernieuwde W.E.N. examenprogramma voor het vwo te beginnen in 1996 staat het onderdeel fysische modellen. Dit vereist van de vwo-leerling behalve vaardigheden om met de computer dit type modellen door te rekenen, ook inzicht in de theorie. Tot op heden is er weinig lesmateriaal dat hieraan aandacht besteedt. Met het nieuwe boek *Nieuwe Computertoepassingen in de natuurkunde, werken met fysische modellen op de computer* en de bij behorende diskette¹⁾ hebben we getracht in deze leemte te voorzien.

Het lesmateriaal valt in drie delen uiteen:

1. Leren modelleren
2. Fysische modellen
3. Onderzoeksopdrachten

In de werkgroep kwam het volgende aan de orde:

1. Ervaringen docenten met computermodellen

In een discussie met de aanwezigen (41 docenten) bleek dat zo'n 25% van de aanwezigen al met computermodellen in de klas gewerkt hadden. Het merendeel van de aanwezigen moesten zich er nog in verdiepen. Een greep uit de redenen: door de grote tijdsdruk van het WEN-programma was men er nog niet aan toe gekomen; vooral in de onderzoeksopdrachten wilde men er aandacht aan schenken en deze moesten nog gedaan worden; het werken met IP-Coach had men tot nu toe overgelaten aan andere docenten in de sectie.

2. Waarom modelleren op de computer?

Er zijn diverse redenen waarom docenten aandacht zouden willen geven aan modelleren op de computer. Om er enkele te noemen:

a. Vaardigheden oefenen

Tabellen en grafieken maken, c.q. analyseren.

Verbanden zoeken (formules).

Bij sommen gebruik maken van computer.

b. Natuurkundetheorie leren / begripsontwikkeling

Probleemoplossen met fysische modellen

(voorspellen/ simuleren /inzicht in model).

c. Leren modelleren

Vaardigheden en kennis

(model wijzigen en aanpassen, numerieke methode).

Natuurkunde toepassen in meer realistische situaties

d. Hypothese-toetsen via model/experiment wisselwerking

Onderzoek doen

(toepassen in onderzoeksopdrachten).

Voor al deze toepassingen kan men goed uit de voeten met *Modelomgeving* van IP-Coach. Toch hebben leerlingen nogal eens moeite met het werken aan fysische modellen op de computer. De oorzaken hiervoor zijn terug te herleiden tot problemen met het programmeren in *Modelomgeving* en tot conceptuele problemen bij het interpreteren van de modellen.

Programmeerproblemen:

Leerlingen in de vierde klas hebben moeite met het programmeren van het fysisch model.

Enkele veel voorkomende moeilijkheden zijn:

Problemen met het iteratieproces:

- onvoldoende inzicht in de stapsgewijze berekening
- startwaarden berekenen buiten de iteratie
- volgorde in het algoritme

Problemen met variabelen/grootheden:

- onderscheid programmeer-statement en variabele berekening
($x := x + \Delta x$ versus $a = F/m$)
- welke grootte verandert stapsgewijs en welke wordt berekend

Programma technische problemen:

- inzicht in de menu-opties
- inzicht in opslag data (voorground/achtergrond)
- inzicht in specifieke kenmerken (b.v. t en T zijn hetzelfde)

De conceptuele problemen met modelleren zijn te herleiden tot:

1. leerlingen moeten zich een voorstelling kunnen maken van het betreffende fysische proces.
2. ze moeten de functie van de relevante grootheden in het proces herkennen.
3. ze moeten oorzaak --> gevolg tussen de grootheden onderkennen.
4. ze moeten een oplossingschema vinden.
5. ze moeten over de nodige wiskunde beschikken.
6. ze moeten specifieke oplossingen kunnen berekenen.

Er kunnen een aantal problemen (vooral die van technische aard) worden weggenomen door een opdracht in het computerlokaal te doen, waarbij de nadruk ligt op het werken met *Modelomgeving*. Voor de meer conceptuele problemen hebben we geprobeerd leerlingen eerst meer structuur te laten ontdekken in de modellen. Hiertoe hebben we IP-Coach uitgebreid met de module *Grafische Modelomgeving* en hebben we een stappenplan gemaakt. Voor wie meer wil weten over *Grafische Modelomgeving* verwijzen we naar het verslag van de Woudschotenconferentie van 1994 ²⁾ of naar de Stichting CMA die het programma levert.

Stappenplan

Op papier

1. Inventariseer waar het probleem over gaat. Schrijf dit in eigen woorden op.
2. Schrijf de grootheden op die volgens jou in het probleem een rol spelen
3. Gebruik de grootheden voor een OORZAAK → GEVOLG diagram.
4. Welke grootheden moet de computer berekenen volgens de stapmethode?

Grafische modelomgeving

op computer

5. Maak in *Grafische Modelomgeving* eerst de structuur in grote lijnen door:
 - a. te beginnen met een stapgrootheid
 - b. uit te breiden met overige grootheden via het idee van oorzaak en gevolg
6. Bekijk nu bij elke grootheid apart:
 - a. maak uitbreidingen volgens oorzaak en gevolg
 - b. breid de grootheid uit met constanten
 - c. voer een formule in bij de grootheden en waarden bij de constanten.
7. Welke grootheid is de onafhankelijke grootheid (vaak de tijd)? Vind je de stapgrootte juist?
8. Voer het model uit in STRUCTUUR en controleer of het model juist werkt.
Indien het niet goed werkt verbeter het dan.

VERWERKINGSMOGELIJKHEDEN

9. TABELLEN EN GRAFIEKEN ANALYSEREN:
Welke grootheden wil je in grafiekvorm? Voer uit. Ga zonodig naar REKENVEL en VERWERKING

10. VOORSPELLEN/SIMULEREN:

Wil je het gevolg van andere parameters of constanten bestuderen, gebruik dan de SIMULATIE optie.

11. MODEL WIJZIGEN en AANPASSEN

Maak model realistischer; probleemstelling wijzigt zich.

Verander de structuur.

12. MODEL IN MODELREGELS:

Bestudeer Model en startwaarden in de tekstvorm.

Modelomgeving

Op de computer

13. Gebruik de tekstregels uit *Grafische Modelomgeving* of ontwerp rechtstreeks in tekstregels een model.

VERWERKINGSMOGELIJKHEDEN

14. TABELLEN EN GRAFIEKEN ANALYSEREN:

Welke grootheden wil je in grafiekvorm? Voer uit.

Ga zonodig naar REKENVEL en VERWERKING

15. VOORSPELLEN/SIMULEREN:

Wil je het gevolg van andere parameters of constanten bestuderen, gebruik dan de SIMULATIE optie.

16. MODEL WIJZIGEN en AANPASSEN

Verander de structuur.

17. HYPOTHESE-TOETSEN MODEL/EXPERIMENT

3. Voorbeelden

In *Nieuwe Computertoepassingen in de natuurkunde, werken met fysische modellen op de computer* wordt aandacht gegeven aan een achttal studies. Dit betreft probleemsituaties waarbij het gebruik van een model op de computer onontbeerlijk is. Het is de bedoeling dat leerlingen grotendeels zelfstandig de studies uitvoeren. Hiertoe krijgen zij een diskette met (meestal) niet werkende modellen. Deze modellen moeten zij verbeteren, aanpassen of/ en uitbreiden. In de werkgroep hebben we de navolgende studies toegelicht:

- a. Tijdschakeling en grafische modelomgeving (Gallerijverlichting)
- b. Hoe ver schiet een keeper?

Men kan deze studies zelf uitvoeren door het bestaande lesmateriaal en floppies te bestellen bij de uitgeverij.

- ¹⁾ C. de Beurs en C.H.T. Mulder, *Nieuwe Computertoepassingen in de natuurkunde*, uitgeverij Thieme, (1995 leerlingen boekje en diskettes) (leerlingenboek ISBN 9003 411085; Docentenhandleiding en modellen op diskette ISBN 9003 411093)
- ²⁾ Cees Mulder en Ad Mooldijk, *Werken met Grafische Modelomgeving*. Conferentieverslag Woudschoten 1994, Praktikum.

Jenny Andriese: 20 jaar conferentie organisatie

De werkgroep natuurkunde didactiek organiseert sinds 1966 conferenties voor natuurkundeleraren. De werkgroep kent een bestuur dat wisselt. Al twintig jaar lang is daardoor de meest continue factor in de conferentieorganisatie een vrouw 'achter de schermen': Jenny Andriese. Geen natuurkundige, maar verknocht aan onze natuurkundeconferentie. Onmisbaar, duidelijk aanwezig en toch een beetje op de achtergrond. Wie is Jenny Andriese? Na twintig jaar is het tijd haar eens in de NVOX in het middelpunt te plaatsen.

Twintig jaar alweer

"Mijn eerste conferentie twintig jaar geleden? Ik was per 1 december in dienst gekomen en mocht meteen meedoen. Herman Hooymayers was toen voorzitter en Hans Créton secretaris/penningmeester en de drijvende kracht wat de organisatie betreft. Hans was een prima organisator, maar ook een chaoot, wat zeker z'n charme had maar waar ik ontzettend aan moest wennen. Hij had een groep studenten gevraagd hem te helpen

bij de organisatie. In die tijd kwamen er zo'n 230 deelnemers. Ik moest aan de heersende cultuur erg wennen en had het gevoel dat ze me meer in de maling liepen te nemen dan dat ze hielpen bij het organiseren. Ze deden de meest idiote dingen en staken nogal de draak met me wat betreft m'n pietluttigheid. Ik werd daar toen nogal onzeker van, maar een dergelijke leer-school is blijkbaar niet slecht."

Heb je wel eens een conferentie overgeslagen?

"Nee, ik ben er altijd geweest. Er is weleens een jaar geweest dat het met mij persoonlijk wat minder ging, maar toen fungeerde de conferentie als dankbare afleiding."

Trouw is voor Jenny een sleutelbegrip. Zij is trouw in haar contacten en trouw in haar verbintenissen met de werkgroep. Eén deelnemer is overigens nog trouwer dan zij. Ze onthoudt en waardeert dat: "Ton Ockhuysen is vanaf het begin op elke conferentie geweest." Dat is pas echte trouw.

"Als het even kan moet het wel gaan zoals ik het in mijn hoofd heb"

Jenny is de weken voor de conferentie in haar element. De telefoon staat roodgloeiend. De girootjes stromen binnen, de voorinformatie komt binnen of er moet achteraan worden gebeld, maar er is in ieder geval voldoende werk voorhanden. Tientallen telefoontjes behandelt ze per dag. De één wil er nog bij, de ander heeft z'n geld teruggestort gekregen en wil weten hoe dat zit. Een derde wil toch graag een één- of een tweepersoonskamer b.v. met iemand die zich nog niet heeft opgegeven maar of dat toch even geregeld kan worden. Allerlei wensen en wensjes noteert ze en honoreert ze waar mogelijk. Daarbij moeten ook de nodige papieren de deur uit en gaat haar werk voor de vakgroep gewoon door.

Is ze een organisatrice 'achter de schermen'? Soms wel, maar achter de telefoon en achter haar congresbalie is ze prominent aanwezig. Ze vindt zichzelf daar beter op haar plaats dan op het podium, daar hoort ze niet vindt

ze. Het is een drukte waar menigeen gek van zou worden. Jenny niet: "Ik geniet van dat hectische gedoe. Als dit altijd zo zou zijn, zou ik misschien wel anders praten, maar zo'n paar maanden op deze manier heeft wel iets. Hoe drukker ik het heb hoe efficiënter ik werk. Daarbij heb ik heel duidelijk in m'n hoofd hoe ik vind dat mijn organisatie er uit moet zien. Maar ik wil wel proberen flexibel te blijven zonder daardoor het overzicht kwijt te raken. Want hoe beter het overzicht, hoe zekerder ik me voel." Zo verricht ze ieder jaar bergen werk om de conferentie goed te laten verlopen. Hoewel het aantal deelnemers in de afgelopen twintig jaar ongeveer is verdubbeld, probeert ze zo veel mogelijk de klus alleen te klaren. De laatste 2 jaar werkt ze overigens prima samen met Koos Kortland, die keurig uitgewerkte overzichten van zowel werkgroepen, 'markt', sprekers e.d. maakt en zoveel mogelijk meedenkt. "In de weekeinden vlak voor de conferentie ben ik thuis vaak bezig om zaken, waar ik op het lab niet aan toekom, te ordenen en te verwerken. Want je ervaring

leert je dat je niets maar dan ook niets voor je uit moet schuiven. Dus vooral niet denken dat doe ik morgen of volgende week wel, want daar ga je het schip mee in.

Ook in de weken na december ben ik nog met de conferentie bezig. Sprekers en werkgroepeliders moeten verleid worden om hun artikelen en stukjes in te leveren voor het Woudschotenverslag en dat moet dan vervolgens worden gelayout en drukklaar worden gemaakt, voorzien van foto's e.d. Een mooi verslag is uiteindelijk het visitekaartje van de werkgroep."

Wat is jouw indruk van de voorzitters van de afgelopen twintig jaar

"De werkgroep heeft altijd ijzersterke voorzitters gehad. Herman (Hooymayers), die in juni overigens met emeritaat gaat en waar ik nu bijna 20 jaar voor heb gewerkt, heb ik 7 jaar meege maakt als voorzitter. Van hem heb ik o.a. geleerd dat je zaken meteen moet afhandelen en niet op de lange baan moet schuiven. Verder is het iemand die zich geweldig inleeft in waar hij mee bezig is. Hij verdiept zich dan in alle details en is enorm betrokken bij de klus. Daarna werd Theo Wubbels voorzitter. Hij was jonger en op een andere manier sprankelend. Hij liet mij meer mijn werk doen, bemoeide zich daar niet mee. Tijdens het voorzitterschap van Theo zijn de aantallen deelnemers ook flink gestegen. Na 7 jaar nam Harrie Eijkelhof het voorzitterschap over. Qua stijl hebben Harrie en Theo veel met elkaar gemeen. Harrie heeft het lef om met wat wildere onderwerpen te komen: Natuurkunde en Kunst, Natuurkunde en Sport. Gezien het stijgende aantal deelnemers worden deze onderwerpen zeer op prijs gesteld. De oude garde komt uiteraard nog steeds trouw maar er komen veel meer jonge natuurkundeleraren en studenten op af en dat lijkt mij een goede zaak."

Onkreukbaar?

Een zo populaire conferentie kent ook haar keerzijde. Soms is er onvoldoende plaats voor iedereen. Als mensen dan op het laatste moment beslissen dat ze willen komen, kan dat niet altijd meer. Vroeger was dat door het kleinere aantal deelnemers niet zo'n probleem, nu kan het soms echt niet. Jenny vindt nee zeggen vervelend, maar heeft het intussen wel geleerd. Ze vindt dat ze het niet kan maken om tien mensen af te zeggen en dan de elfde wel toe te laten. Toch lukt het haar om niet altijd consequent te blijven, gezien het volgende verhaal.

"Enkele jaren geleden vergat een docent van een lerarenopleiding enkele van zijn studenten op te geven. Hij belde of er nog iets aan te doen was. Nu dat kon gelukkig nog net. Als dank nam hij een doosje overheerlijke bonbons mee. Afgelopen december belde een studente op met de vraag of ze nog ingeschreven kon worden. Het was zo goed als vol en alleen leden van de werkgroep werden nog toegelaten en de inschrijftermijn was gesloten. Even later belde haar docent, diezelfde van twee jaar geleden: kon het echt niet, hij was weer vergeten haar op te geven. Afgesproken werd dat de studente opnieuw zou bellen. Toen ze opnieuw belde en ik haar gegevens had genoteerd vroeg ik haar tegen haar docent te zeggen dat één doosje wel voldoende was. Ze snapte er niets van maar zou het doorgeven. En ja hoor, tijdens de conferentie ontving ik weer zo'n heerlijk doosje bonbons."

Twintig jaar bij de vakgroep

Jenny heeft indertijd MULO-A met wiskunde gedaan. "Ik had lage cijfers, ik vond het niet leuk, maar ik moest en vervolgens stuurde m'n vader me naar de MEO. Daar ben ik hem in ieder geval dankbaar voor. Vooral ook omdat ik de MEO heel leuk vond en daar met hoge cijfers ben geslaagd. In die tijd was een baan krijgen niet moeilijk en ik kreeg een baan als secretaresse op de Landbouwhoge-

school in Wageningen, daarna heb ik een aantal jaren gewerkt bij het Instituut Ontwikkeling Wiskunde Onderwijs in Utrecht en sinds 1974 bij de Vakgroep Natuurkunde-Didactiek." Het werk op de vakgroep bevalt haar nog steeds erg goed. Haar zelfstandigheid en grote vrijheid maken het werken daar zeer aangenaam.

Persoonlijke gegevens

Burgerlijke staat:

"Na 20 jaar samenwonen nu sinds één jaar getrouwd. Dit vooral uit zakelijk oogpunt, om m'n pensioen veilig te stellen. Dus even snel: om half elf stapten we het gemeentehuis binnen en om vijf over elf stond we weer buiten. Snel en zonder flauwekul."

Hobby's

"Aan conditietraining doe ik uit pure noodzaak en ik tennis 's zomers en 's winters. Daarnaast ga ik graag naar een concert en de schouwburg en heb daar een abonnement op omdat het er anders altijd weer bij inschiet. Naast het onderhouden van de sociale contacten ben ik druk met m'n tuin, de net aangeleg-

de vijver en m'n huis waar altijd wel wat aan op te knappen is. Wat ik ook erg graag mag doen is koken en sinds een paar weken hebben wij onze handen vol aan de opvoeding van ons Newfoundland puppy, dus genoeg te doen naast een fulltime baan."

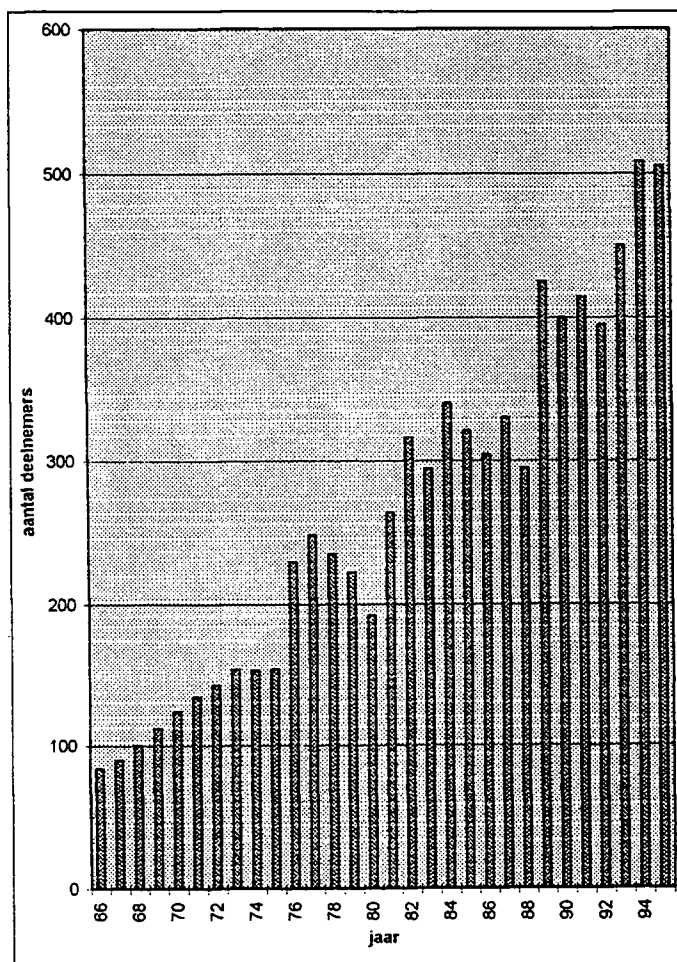
Interview

Jenny een interview afnemen is een makkie. Per vraag kan ze zo een kwartier lang levendig verhalen vertellen. Ze vertelt makkelijk en is een markante persoonlijkheid. Tegen Herman (Prof. Hooymayers) die haar uitnodigt voor de vakgroep-DB zegt ze dat ze niet kan vanwege dit interview en ze vraagt hem vervolgens of iemand anders de notulen kan maken.

Op andere momenten loopt ze weer het vuur uit de sloffen voor de goede zaak maar ze claimt wel haar zelfstandigheid en vrijheid.

Van mensen om zich heen geniet ze en ze vindt gezeur aan haar hoofd nu eenmaal leuk. Natuurkundeleraren mogen blij zijn met zo'n bekwame organisatrice.

Ineke Frederik



Deelnemersaantallen 'Woudschoten conferenties'.



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 materiaal-lijsten 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

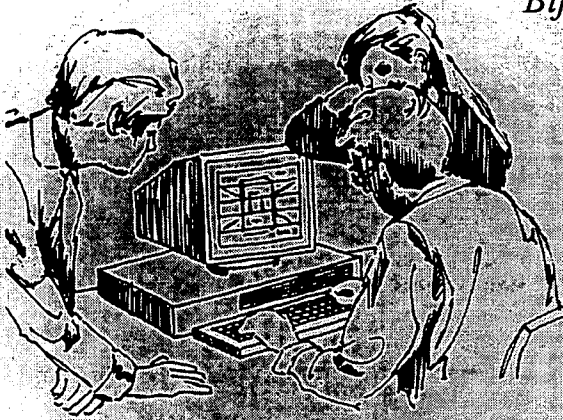
besturings-techniek
elektronica
gereedschap
demonstratie-modellen
pneumatiek

"Kwaliteit kent grenzen!"

De klant van **Ingenieursbureau J.L. Schagen** legt zijn grenzen zeer hoog

Onze klant zoekt:

- een A-merk personal computer.
- een betrouwbare leverancier met brede ervaring in de automatiseringswereld.



Bij **Ingenieursbureau J.L. Schagen** geven wij persoonlijk advies.

Uiteraard beschikken wij over alle configuraties van **Tulip computers & digital**

Ook zijn wij leverancier van **MICROSOFT, EXACT, NOVELL** en standaard software.

Ons assortiment randapparatuur bevat o.a.:



En ook na de verkoop kan de klant van **Ingenieursbureau J.L. Schagen** op een professionele after-sales rekenen.

digital

NOVELL

Tulip[®] computers

Digital computers zijn speciaal ontwikkeld voor tekstverwerking, spreadsheets, E-mail, EDI en andere verwerkings en communicatietaken. U vindt dan ook beslist geen krachtiger werkstation in dezelfde lage prijsklasse!

U heeft bij aanschaf bovendien een garantie van 3 jaar, waarvan voor desktop modellen een on-site garantie van 1 jaar van toepassing is.

Digital HiNote Ultra DX2-50
486dx2-50 Mhz notebook
8Mb RAM, 1,44 fdd + 350Mb
TFT color screen (3 jaar gar. carry-in)
3190,-

Digital HiNote VP 5-75
Pentium 75 Mhz notebook
8Mb RAM, 1,44 fdd + 540Mb
STN color screen (1 jaar gar. carry-in)
4399,-

De kwaliteit van **Ingenieursbureau J.L. Schagen** uit zich onder andere in:

- Een bewezen klantvriendelijkheid met bijbehorende service.
- Mondeling of schriftelijk vrijblijvende informatie en advies.
- Specialisatie en bewezen ervaring in netwerken en PC-prive projecten.
- Een ruim assortiment met een goede prijs/prestatie verhouding.
- Onafhankelijk netwerk-advies.
- Levering van alle netwerk componenten.
- Bouwen van infra-structuur.
- Detachering van supervisors.
- Oplossen van connectiviteitsproblemen.
- Aanleggen van Lan to Lan.

Bel voor de laagste prijs en vraag naar onze laatste aanbiedingen!

Prijzen zijn
inclusief BTW
en onder voorbehoud!

Tulip Compact
486dx2-66 PCI Multi-media pc
8Mb RAM, 1,44 fdd + 540Mb hdd
CD-rom drive + geluidskaart
Speakerset + microfoon
Dos 6.22 + Windows 3.11
14" XVGA monitor
2225,-

Tulip DX4-100
486dx4-100 Mhz desktop pc
8Mb RAM, 1,44 fdd + 630Mb hdd
UTP netwerk adapter
Dos 6.22 + Windows 3.11
14" XVGA monitor
2199,-

Tulip DT-75
Pentium 75 Mhz desktop pc
8Mb RAM, 1,44 fdd + 630Mb hdd
UTP netwerk adapter
Dos 6.22 + Windows 3.11+ Win 95
14" XVGA monitor
2669,-



