

Mechanica, 'common sense' en ervaring

D. van Genderen
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit te Utrecht

Summary

The foregoing article by Freudenthal gives rise to some comments on the similarities and differences between mathematics education and physics education. The PLON group was certainly not opposed to "guided reinvention", based on pupils' experiences and common sense. In the early years of the project, it was thought that 'messaging about' with stimulating material would lead to experiments and to reinvention of physical rules. This approach, however, underestimated the complexity of realistic situations and the difficulty of physical ideas.

In mathematics education you can build upon experience with numbers (prices, distances etc.), figures and graphs. In mechanics, on the contrary, the fundamental idea of force has a very complicated relation to 'force' in everyday experience and common language. The main problem is not in 'proving' rules like $F = ma$ by specially designed experiments, but in 'reinventing' how these rules may be applied in practical contexts, e.g. in the domain of traffic or sports.

1. Inleiding

De redactie vroeg mij te reageren op het voorgaande artikel van Freudenthal. Dat wil ik doen, niet alleen omdat mijn proefschrift mede aanleiding was tot Freudenthal's mijmeringen, maar ook en vooral omdat zijn artikel prikkelt tot nadenken over connecties tussen wiskundendidactiek en natuurkundendidactiek. Het gaat hier speciaal om de verhouding tussen het 'realistische' wiskundeonderwijs van het vroegere IOWO en de tegenwoordige vakgroep OW&OC, en het 'pragmatische' natuurkundeonderwijs¹ van het voormalige PLON en de huidige PLON-vereniging.

Een intrigerende vraag: wat zou er gebeurd zijn als het PLON indertijd te rade was gegaan bij het IOWO of bij OW&OC? Zouden dan de lijnen van Freudenthal's didactische fenomenologie (1983) en van Treffers' driedimensionale doelbeschrijving (1987) zijn doorgetrokken naar het natuurkundeonderwijs? Zou

dan de mechanica in het PLON heel anders gestalte hebben gekregen dan in thema's als 'Bruggen', 'Verkeer en Veiligheid' en 'Verkeer'?

Een realistischer vraag, waartoe ik mij zal beperken: in hoeverre biedt Freudenthal nieuwe gezichtspunten voor de didactiek van de mechanica - nieuw in vergelijking met wat in en om het PLON is gedacht en gedaan?

2. De leerlingen als heruitvinders

"Wiskunde is een kwestie van common sense", stelt Freudenthal, en "natuurkunde is geen common sense". Dat heeft consequenties voor de mate waarin we leerlingen de rol van "heruitvinders" kunnen toebedelen.

Een voor de hand liggende reactie: het maakt nogal verschil of we bij wiskunde denken aan rekenen met natuurlijke getallen of aan analytische meetkunde. En het maakt nogal verschil of we bij natuurkunde denken aan de hefboomwet of aan $F = ma$. De rol van common sense en de mogelijkheid tot heruitvinding zullen we bij elk onderwerp en bij elk onderwijsniveau opnieuw moeten bezien, zowel in de wiskunde als in de natuurkunde.

Wat de wiskunde betreft: ik heb bewondering voor de wijze waarop Wiskobas inspeelt op de 'common sense' van kinderen. En op hun *ervaringen*, want hun leefwereld is rijk aan getallen: op klokken, kalenders, linealen, weegschalen, verpakkingen, prijskaartjes, wegwijzers, snelheidsmeters etc. Belangrijke wiskundige uitvindingen zijn daarin al verwerkt, zoals het getal nul en de decimale notatie. (Zijn die trouwens meermalen uitgevonden?)

Op het eerste gezicht kan ook het beginonderwijs in de natuurkunde mooi aansluiten bij de ervaringskennis van de leerlingen. Bovendien kunnen zij in het practicum allerlei natuurkundige regels herontdekken. Verscheidene Amerikaanse en Engelse moderniseringsprojecten uit de jaren zestig legden de nadruk op 'discovery'; het Nuffield Project noemt de experimenterende leerling 'a scientist for the day'. De beoogde 'physics for all' leek zonder veel problemen te kunnen voortbouwen op leefwereldkennis en 'common sense'.

Teleurstellende ervaringen met het gemoderniseerde natuurkundeonderwijs gaven aanleiding tot kritische bezinning op de uitgangspunten en tot onderzoek zowel naar denkniveaus (b.v. Shayer en Adey 1981) als naar denkbeelden van leerlingen (b.v. Viennot, 1979a, 1979b; Jung, Wiesner & Engelhardt, 1981; Van

Genderen, 1983). Freudenthal's verwijt van "overdreven aandacht voor fouten van leerlingen" is in zijn algemeenheid niet terecht. Het onderzoek naar 'misvattingen' is voor een belangrijk deel voortgekomen uit een streven naar verbetering van onderwijs en opleiding. Ik herinner mij discussies met collega's, omstreeks 1978, over videoregistraties van gesprekken met leerlingen, niet primair bedoeld om over 'misvattingen' te publiceren, maar om studenten in de lerarenopleiding te instrueren.

In het PLON heeft het onderzoek naar misvattingen pas laat meegespeeld, voornamelijk bij de revisie van het thema Verkeer voor 4 havo (PLON, 1983). Het PLON heeft zich vooral in zijn beginjaren sterk op Nuffield georiënteerd: aan de hand van werkbladen konden de leerlingen de rol van heruitvinders spelen; leesteksten waren van ondergeschikte betekenis. De stelling "natuurkunde is geen common sense" zou in het PLON op sterk verzet zijn gestuit en de bewering dat natuurkundeleraren de 'common sense' moeten uitdrijven zou als nonsens zijn bestempeld.

Een belangrijk verschil tussen PLON en oudere projecten, zoals Nuffield, is het accent op toegepaste natuurkunde. Dat komt tot uitdrukking in de keuze en uitwerking van de thema's en in het praktisch werk, bv. het bouwen en beproeven van een modelbrug, het meten van de remweg van een fiets, het onderzoek aan modelauto's in een windtunnel. Daarbij gaat het niet primair om het heruitvinden van natuurkundige regels, zoals relaties tussen fysische grootheden. Het accent ligt op het leggen van relaties, waar mogelijk door heruitvinden, tussen die natuurkundige regels en praktijksituaties in natuur, techniek en onderzoek².

3. Functie en keuze van contexten

Kenmerkend voor realistisch wiskundeonderwijs is volgens Treffers (1987, p. 246) dat de werkelijkheid niet alleen fungeert in toepassingen, maar ook dient als *een bron van begripvorming*. Een voorbeeld uit realistisch rekenonderwijs (Treffers 1990) is het probleem.

Op een ouderavond van de school komen 81 ouders. Aan één tafel kunnen zes ouders zitten. Hoeveel tafels moeten er worden geplaatst?

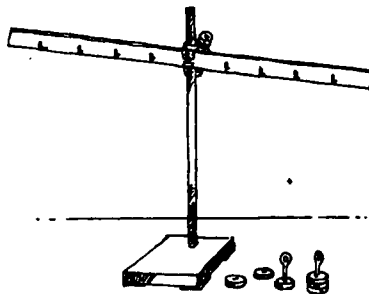
De leerlingen mogen eerst hun eigen oplossingsmethoden ontwikkelen; dat maakt ze ontvankelijk voor de vraag wat de

handigste manier is. De context van de gevonden regels wordt verrijkt door toepassing op andersoortige probleemsituaties.

Het PLON heeft in zijn beginjaren iets dergelijks beproefd. Het thema 'Laten werken' (3 mavo) bv. ging uit van de probleemsituatie: hoe krijg je een zware last omhoog door middel van een kleine kracht? Door eigen constructies te maken met katrollen, tandwielen en andere hulpmiddelen zouden de leerlingen bepaalde praktijkregels vinden; die zouden hen ontvankelijk maken voor de vraag naar een algemene relatie tussen krachten en afstanden. In de schoolpraktijk bleek de beoogde weg van 'aanrømmelen' via doelgericht experimenteren tot opsporen van regels moeilijk³. Te veel leerlingen zagen, al doende, door de bomen het bos niet meer. Daarom werd bij de tweede versie van het thema geadviseerd te beginnen met een 'informatieblok' van drie lessen over hijssystemen.

Dit voorbeeld lijkt me typerend voor een 'realistische' opzet van het natuurkundeonderwijs. Reële situaties in natuur en techniek zijn al gauw te gecompliceerd om er natuurkundige regels in te herontdekken. Een gedeeltelijke oplossing voor dit probleem is bekend uit het gangbare natuurkundeonderwijs: creëer in schoolproeven sterk vereenvoudigde situaties, toegesneden op het heruitvinden van de regels. De 'hefboom' in figuur 1 is een voorbeeld - alleen gebruikt geen zinnig mens zo'n ding als hefboom. De eenvoud is ten koste gegaan van de echtheid.

Figuur 1: Toestel voor de "heruitvinding" van de hefboomwet



Blijft dus het probleem - en dat vooral ging de PLON-groep ter harte - van de relatie tussen fysische regels, zoals de hefboomwet of de gulden regel, en praktijksituaties. Pas door het leggen

van zo'n relatie worden die situaties, ook al zijn ze bekend (ophaalbrug, hijskraan, werktuigen etc.) tot *praktijkcontext* van de natuurkundige regels. Waar nodig dienen vereenvoudigde situaties in proeven en opgaven als *schoolcontext*.

Freudenthal constateert dat in mijn proefschrift nauwelijks de functie en keuze van contexten ter sprake komt. Dat heeft mij aanvankelijk zeer verbaasd, want diverse natuurkundecollega's vonden mijn uiteenzettingen over contexten juist zeer verhelderend. Ik meen het verschil nu te begrijpen: bij Freudenthal gaat het om contexten als *bron* van begripsvorming, terwijl het bij natuurkundendidactici en natuurkundeleraren gaat om contexten als *toepassingsgebied*.

4. Contextgebieden en thema's

Het zojuist geconstateerde verschil werkt vermoedelijk door in de beoordeling van themakeuzen. Freudenthal kiest voor een *rijke verscheidenheid* van contexten, en voor het wiskundeonderwijs lijkt me dat terecht. Het zou bv. dwaas zijn bij het onderwijs in optellen en aftrekken alléén situaties te behandelen met in- en uitstappende busreizigers of alléén situaties met bij- en afschrijvingen van een girorekening. Daarvoor zouden termen als 'keurslijf', 'oogkleppen' en 'systeemdwang' passend zijn.

Een genuanceerder oordeel verdient de keuze, in het PLON-onderwijs, voor thema's als 'Bruggen' en 'Verkeer en Veiligheid' (PLON-vereniging, 1988, 1989). In elk thema is getracht een samenhangend geheel van natuurkundige regels te koppelen aan een samenhangend geheel van praktijksituaties: een contextgebied. In plaats van een rijke verscheidenheid van contexten, die Freudenthal bepleit en die men in het gangbare natuurkundeonderwijs wel enigermate aantreft, kiest het PLON een *rijk contextgebied* - rijk in de zin van interessant en belangrijk in het persoonlijk of maatschappelijk leven, rijk ook aan mogelijkheden om de betekenis van natuurkundige regels en hun belang voor de praktijk te leren inzien.

Het gevaar is zeker niet denkbeeldig dat een thema door leraren en leerlingen als een 'dwangbuis' wordt gevoeld (alweer bruggen? nog steeds bruggen?), maar bij mijn weten is dit in de PLON-proefscholen niet als ernstig probleem gesignaleerd. Uiteraard moet men de inhoud en het aantal lessen verstandig kiezen en variatie betrachten in werkvormen.

Belangrijk is en blijft de vraag naar andere, mogelijk betere

themakeuzen. Het contextgebied 'bruggen' is wellicht niet het meest geschikte voor een eerste kennismaking met de mechanica, nog afgezien van de "te hoge instap" die Freudenthal constateert in het huidige thema Bruggen. Een goed alternatief lijkt me 'Werktuigen' of 'Constructies' (er is een thema van die naam geweest), waarin primair hef- en hijswerktuigen als contexten zouden dienen; ik kom daar straks op terug.

5. Statica en quasi-statica

Freudenthal noemt een aantal contexten waarmee het statische krachtbegrip kan worden ontwikkeld: twee mensen die tegen elkaar duwen, twee die touwtrekken, enz. De gegeven voorbeelden kunnen inderdaad dienen om het natuurkundige begrip kracht toe te lichten, maar ik betwijfel of leerlingen in een derde klas zich hierbij als heruitvinders betrokken zullen voelen. In het onderwijs aan beginners zou ik niet meteen streven naar een *algemeen*, zij het vooralsnog statisch krachtbegrip, maar primair naar een voor leerlingen *functioneel* krachtbegrip.

Een voorbeeld: de door Freudenthal genoemde situatie "een tafel waarop een gewicht wordt geplaatst" roept bij de leerlingen geen nieuwsgierigheid op. "Waar komt ineens de kracht van de tafel vandaan" is niet hun vraag, maar de vraag van een natuurkundige die de evenwichtsvoorwaarde wil generaliseren. De bewering dat de tafel een opwaartse kracht uitoefent is onbegrijpelijk, want 'kracht' heeft in omgangstaal en 'common sense' te maken met actie, met inspanning, met prestatie. En die tafel *doet* toch niets? Van deze 'misvatting' los te komen kan zelfs oudere leerlingen nog veel moeite kosten, zoals o.a. Minstrell (1982) heeft beschreven⁴.

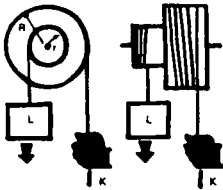
Met Freudenthal ben ik van mening dat de eigen ervaring met trekken en duwen het aangewezen uitgangspunt is voor het natuurkundige begrip kracht. Maar waarom zoveel gedachteproeven en zoveel redeneringen met 'spierkracht'? We kunnen toch 'kracht waarmee je trekt' meten met een veerbalans, net zoals we 'warmte die je voelt' meten met een thermometer? En die 'kracht waarmee je trekt' is niet simpel een kwestie van spieren spannen - je kunt ook je gewicht gebruiken. De touwtrekker wiens partner loslaat wordt niet "door zijn eigen kracht gevelde", maar door de zwaartekracht⁵.

Laten we voorlopig volstaan met een operationele definitie van kracht: kracht is wat je meet met een veerbalans (zoals tempe-

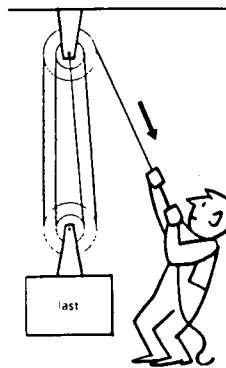
ratuur is wat je meet met een thermometer). Een voor de hand liggende toepassing is de krachten te meten waarmee de aarde verschillende voorwerpen aantrekt: per kilogram materiaal 9,8 newton.

Geschikte contexten zijn vervolgens hef- en hijswerktuigen als windas, takel en krik (Fig. 2, 3 en 4)⁶. Die contexten geven aanleiding de begrippen arbeid en vermogen in te voeren - een essentiële stap in de begripvorming, omdat 'kracht' in de omgangstaal ook arbeid en vermogen omvat. (Wil men nu ook de situatie "een tafel waarop een gewicht wordt geplaatst" behandelen, dan kan men de 'common sense' van de leerlingen honoreren: de tafel 'levert geen kracht' in die zin dat hij geen arbeid verricht.)

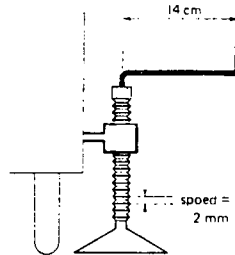
Figuur 2: Windas



Figuur 3: Takel



Figuur 4: Krik

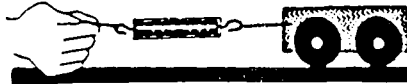


Belangrijk is hier dat de hef- en hijsproeven echt in de klas of op het schoolplein worden uitgevoerd. De echte situatie geeft aanleiding om over wrijving te praten en het begrip wrijvingskracht in te voeren. Verder blijkt het krachtenspel bij eenparige beweging, hier de normale beweging, vrijwel gelijk aan het krachtenspel bij rust - een eerste stap naar de doorbreking van het 'common sense' onderscheid tussen beweging en rust.

Op analoge wijze kunnen we 'rijden met constante snelheid' gebruiken als context. Het eenvoudigste voorbeeld is het gesleepte karretje (Fig. 5) in verschillende varianten: wielen vrij of geblokkeerd, onbelast of belast, op een glad of een ruw oppervlak. Ook hier is het onderscheid tussen kracht, arbeid en

vermogen eenvoudig te maken en functioneel toe te passen. De "te hoge instap" die Freudenthal constateert in het thema Verkeer is te verhelpen door niet met de context 'fietsen' te beginnen, maar met de context 'gesleept voertuig'⁷.

Figuur 5: Model voor de context 'gesleept voertuig'



6. 'Mental objects' en denkbeelden

De zojuist gegeven voorbeelden lijken aardig in de buurt te komen van wat Freudenthal beoogt: ga uit van situaties uit de ervaringswereld en gebruik die als context voor 'mechanisering', analoog aan het 'mathematiseren' in realistisch wiskundeonderwijs.

De vraag is nu hoever deze analogie opgaat. Verhelderend is hier wat Freudenthal in zijn 'Phenomenology' (1983, p. X) zegt over 'mental objects':

Though children learn what is a chair, what is food, what is health, they are not taught the *concepts* of chair, food and health. Mathematics is no different. Children learn what is number, what are circles, what is adding, what is plotting a graph. They grasp them as *mental objects* and carry them out as *mental activities*.

Deze zienswijze is ten dele ook van toepassing op de mechanica. Kinderen kennen 'kracht waarmee je trekt' en 'krachtmeting' als fysieke ervaring. Het meten van krachten met een veerbalans sluit hier goed bij aan; het maakt kracht tot een 'mental object', fungerend in situaties waarin 'actief' getrokken of geduwd wordt.

Maar al snel gaat in de mechanica nog iets anders meespelen, namelijk 'mental images': denkbeelden over bewegingen en krachten, dienend als interpretatie van alledaagse ervaringen, beïnvloed door alledaags taalgebruik en afhankelijk van de situatie. Eén voorbeeld is hierboven al genoemd: de tafel waarop een gewicht wordt geplaatst biedt als het ware lijdelijk verzet, maar oefent geen 'kracht' uit. Iets dergelijks bij het gesleepte

karretje: de wrijving kan opgevat worden als een 'weerstand', die het effect van de trekkracht beïnvloedt, zoals de elektrische weerstand van een lamp het effect van de elektrische spanning ('elektromotorische kracht') beïnvloedt⁸.

Wanneer de leerlingen het begrip wrijvingskracht hebben geaccepteerd, verschijnt een nieuwe, formidabele hindernis. De situatie 'gesleept karretje' roept het beeld op van een strijd, waarin de wrijvingskracht overwonnen wordt: ook bij constante snelheid moet dus de trekkracht groter zijn dan de wrijvingskracht. Bij de situatie 'fietsen met constante snelheid' heeft dit denkbeeld een persoonlijke lading: ik overwin de tegenwerking, dus de voorwaartse kracht is groter dan de tegenwerkende (i.c. rolwrijving en luchtweerstand samen). Uit mijn onderzoek herinner ik mij leerlingen die hierbij spontaan met de hypothese kwamen dat de resulterende kracht evenredig is met de snelheid.

We kunnen de leerlingen laten heruitvinden dat een constante kracht een constante versnelling veroorzaakt, bv. door middel van stroboscopische foto's van vallende kogels of door experimenten met glijders op een luchtkussenbaan. Maar zulke situaties lijken uitzonderlijk, en misschien gelden voor normale situaties: de vallende regendruppel, de gesleepte caravan, de fietser - wel andere regels. Evenals bij de hefboomwet moet bij $F = ma$ de heruitvinding van de natuurkundige regel nog aangevuld worden met de koppeling aan praktijksituaties. Die koppeling blijft vaak achterwege; typerend is het gebruikelijke voorschrift 'verwaarloos de luchtweerstand'.

In de schoolwiskunde zie ik zulke problemen niet; rekenkunde en euclidische meetkunde bv. lijken me nergens in conflict te komen met denkbeelden die leerlingen kunnen ontleen aan hun ervaringen met getallen en figuren.

7. Mechanische begrippen

Freudenthal's artikel bevat een rijke verscheidenheid aan ideeën die stof bieden tot nadenken en discussie. Ik wil mij hier beperken tot een aantal hoofdzaken en daarom aan het voorafgaande niet veel meer toevoegen. Voor de overzichtelijkheid gebruik ik de volgorde waarin de mechanische begrippen gewoonlijk in leerstoflijsten genoemd worden.

Snelheid. Het alledaagse begrip snelheid ('speed' in het Engels) leent zich voor realistisch onderwijs: het sluit aan bij ervaring

en 'common sense'. Er zijn interessante situaties, bv. uit verkeer en sport, die als context kunnen dienen.

Hetzelfde geldt, in een later stadium van het onderwijs, voor snelheid-als-vector ('velocity' in het Engels), wanneer het gaat om een combinatie van twee bewegingen, zoals een schip in stromend water of een vliegtuig in stromende lucht. Anders wordt het wanneer we dit snelheidsbegrip toepassen op een autorace of een schaatswedstrijd en beweren dat de gemiddelde snelheid over iedere ronde nul is.

Versnelling. Op basis van het alledaagse snelheidsbegrip heeft een optrekkende auto een positieve versnelling en een remmende auto een negatieve. Hier liggen begrip en beeld nog dicht bij elkaar. Veel moeilijker wordt het wanneer we uitgaan van snelheid-als-vector en beweren dat onze schaatsenrijder in iedere bocht een versnelling heeft.

Volgens de gangbare vakopbouw volgt uit de definities van snelheid en versnelling als vectorgrootheden dat bij een eenparige cirkelbeweging een centripetale versnelling hoort en dus een centripetale kracht. Didactisch lijkt me de omgekeerde volgorde beter: laat eerst zien dat er een centripetale kracht werkt en hoe die afhangt van massa, snelheid en straal. Daarna kan aan de orde komen hoe we $F = ma$ generaliseren door snelheid en versnelling als vectorgrootheden te definiëren.

Het traagheidsprincipe. Met Freudenthal ben ik van mening dat het slechte didactiek is, het traagheidsprincipe eventjes tussendoor af te leiden uit $F = ma$. Het traagheidsprincipe behoort uitvoerig en zorgvuldig behandeld te worden, gerelateerd aan het relativiteitsprincipe, en voorafgaand aan $F = ma$. Dat is wel gebeurd in het thema Verkeer (4 havo), en in mijn proefschrift heb ik aan de fundamentele betekenis van het traagheidsprincipe - en de moeilijkheid ervan voor leerlingen - uitgebreid aandacht besteed.

$F = ma$. In de gangbare schoolboeken wordt $F = ma$ gewoonlijk afgeleid uit experimenten, bv. met vallende lichamen en met wagentjes; impliciet worden daarbij wel enkele veronderstellingen gemaakt. Freudenthal's afleiding gaat uit van vier expliciete veronderstellingen, maar lijkt me voor leerlingen nogal abstract. Is het niet beter de formule te poneren en aannemelijk te maken

met voorbeelden en experimenten? De belangrijkste vraag is niet "hoe komen we aan die formule", maar "wat kunnen we met die formule doen?"

Sprekender is vaak de vorm $F\Delta t = m\Delta v$ of $F\Delta t = \Delta mv$ (de stoot is gelijk aan de impulsverandering), bv. als het gaat om een autobotsing of het neerkomen na een sprong.

Actie en reactie. In sommige contexten, bv. aarde en maan of twee magneten, zijn de woorden actie en reactie verwarrend: alsof de ene kracht de andere 'oproept'. Maar om de werking van een schepsschroef uit te leggen zeggen we misschien wel: "*doordat* de schroef het water naar achter duwt, duwt het water schroef en schip naar voren". In een causale verklaring - en het begrip kracht is vooral daarvoor uitgevonden - heeft het onderscheid tussen actiekracht en reactiekracht psychologische betekenis, al is er fysisch geen verschil.

Arbeid, vermogen en energie. Freudenthal verwijst herhaaldelijk naar de eeuwenlange strijd en verwarring onder prominente natuurkundigen over 'het' krachtbegrip, dat uiteindelijk opsplitsst werd in verschillende begrippen. De belangrijkste les voor de didactiek lijkt me dat we niet het begrip kracht moeten ontwikkelen zonder daaraan de begrippen arbeid en vermogen te verbinden. Geschikte contextgebieden zijn, zoals hierboven al aangegeven, 'hef- en hijswerktuigen' en 'voertuigen'⁹.

8. De wandelaar

Freudenthal constateert met verontwaardiging dat in 'Verkeer' de voetganger ontbreekt: een symptoom van 'vervreemding'. Zijn verontwaardiging, die nog steeds mijn verbazing wekt¹⁰, houdt wellicht verband met het feit dat hij tijdens zijn wandelingen met Bastiaan veel didactisch interessante gesprekken heeft gevoerd.

Evenzo heeft Aristoteles al wandelend met zijn leerlingen filosofische ideeën ontwikkeld (wat hen de bijnaam 'peripatetische school' bezorgde). Toch heeft dit wandelen Aristoteles niet tot de mechanica gebracht die wij onze leerlingen willen bijbrengen. Ook Galilei, Huygens en Newton baseerden zich niet op hun ervaringen bij het wandelen. De reden ligt voor de hand: het krachtenspel bij het wandelen is heel ingewikkeld en moeilijk te onderzoeken; dat geldt ook voor de relatie tussen kracht,

arbeid en vermogen. Redeneringen op basis van wandelervaring kunnen misleidend zijn, zoals Freudenthal onbedoeld aantoonde met zijn 'verklaring' van het fietsen met tegenwind¹¹.

In mijn proefschrift heb ik bepleit meer aandacht te besteden aan niet-starre lichamen, speciaal het menselijk lichaam, bv. in contexten als 'fietsen' en 'springen'. Maar mijn ervaring en fantasie schiet tekort om 'wandelen' te gebruiken als context voor mechanicaonderwijs aan beginners.

9. Conclusie

Al prikkelde Freudenthal's artikel mij tot diverse kritische opmerkingen, toch overheerste een gevoel van instemming met de strekking, die ik tegen het eind verwoord vind:

Mocht het waar zijn - en het valt nauwelijks te loochenen - dat in het mechanicaonderwijs ervaringen, aan den lijve ondervonden, hinderlijk interfereren met wetenschapsbegrippen, dan is het juist zaak ze niet te onderdrukken, maar ze te erkennen door er leerprocessen mee te laten starten en ze de leerling zelf - onder leiding - te laten omvormen tot hetgeen wetenschappelijk mag heten.

Wel maak ik een voorbehoud bij het "laten starten", niet om principiële, maar om praktische redenen. De weg van ervaring naar mechanica is wezenlijk anders dan de weg van ervaring naar rekenkunde of meetkunde¹². Realistisch wiskundeonderwijs kan een inspiratiebron en een uitdaging vormen voor het mechanicaonderwijs, maar niet een gereed model.

Noten

1. Met 'pragmatisch' wordt hier bedoeld 'gericht op praktijksituaties', d.w.z. situaties in natuur, techniek en onderzoek. Andere benamingen zijn 'werkelijkheidgericht' en 'realiteitsgericht'.
2. In de gangbare schoolboeken worden wel allerlei praktijksituaties genoemd en soms ook afgebeeld, maar ze worden meestal weinig in het onderwijs betrokken. Het PLON is niet de enige, maar wel de duidelijkste exponent van een meer op praktijksituaties georiënteerd onderwijs. Deze oriëntatie komt ook tot uitdrukking in de nieuwe examenprogramma's (WEN 1985, 1987, 1988) en in de voorstellen voor het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming (Hooymayers, Lijnse & De Vos, 1989).
3. In de beginjaren van het PLON wilde men leerprocessen laten beginnen met een 'aanrommelfase' waarin de leerlingen op eigen wijze kennis konden maken met verschijnselen en apparaten. Zo'n aanpak werd ook bepleit in

- sommige Amerikaanse en Engelse projecten; daar sprak men van 'messing about'.
4. Minstrell beschrijft zijn ervaringen als leraar in de hoogste klas van een Amerikaanse highschool. De helft van de leerlingen vindt dat de tafel geen kracht uitoefent en laat zich niet gemakkelijk overtuigen. De situatie 'boek op tafel' is voor leerlingen niet vanzelfsprekend analoog aan 'boek op je hand' of 'boek aan een veer opgehangen'.
 5. Met termen als 'eigen kracht' en 'spierkracht' roepen we onnodige problemen op. Bijvoorbeeld: oefen ik spierkracht uit op de vloer wanneer ik opspring? En als ik neerkom? En als ik stilsta, of zit?
 6. Deze figuren zijn ontleend aan Jardine (z.j.).
 7. Deze verbetering heb ik voorgesteld naar aanleiding van mijn onderzoek op proefscholen; ze is in een VWO-versie van het thema Verkeer verwerkt.
 8. Zie Dijksterhuis (1950) p. 32; hij noemt als eigenaardigheid van het Aristotelische denken "de neiging om alles wat als weerstand kan worden opgevat te delen op de bewegende kracht en nooit daarvan af te trekken".
 9. Deze contextgebieden kunnen heel goed de mechanica vertegenwoordigen in het vak natuur- en scheikunde in de basisvorming. Tot mijn genoegen zie ik dat het advies van de Commissie Herziening Eindtermen (1990) in deze richting gaat. Daar wordt gesproken van een domein "krachten en veiligheid" met als subdomeinen "soorten en eigenschappen" (met o.a. hefboomwet en gulden regel) en "verkeer en veiligheid" (met o.a. rolwrijving en luchtweerstand).
 10. Deze verbazing geldt ook de uitspraak "de fiets mag nog net van de ontwerpers..." In het thema Verkeer neemt de fiets juist een zeer prominente plaats in. Misschien doelt Freudenthal op 'Verkeer en veiligheid', maar ook daar is de fiets geen marginaal verschijnsel.
 11. Fietsen met 20 km/h bij een tegenwind van 36 km/h komt overeen met 56 km/h bij windstil weer. Dat lijkt niet meer op "een rustige wandelaar" die "een hollend kind aankan".
 12. Lijnse (1990, p. 138 e.v.) maakt een soortgelijk voorbehoud ten aanzien van de toepasbaarheid van Treffers' "framework for instruction theory" voor het natuurkundeonderwijs.

Literatuur

- Commissie Herziening Eindtermen (1990) *Advies kerndoelen voor de basisvorming in basisonderwijs en voortgezet onderwijs*. 's Gravenhage: DOP.
- Dijksterhuis, E.J. (1950) *De mechanisering van het wereldbeeld*, Amsterdam: Meulenhoff.

- Freudenthal, H. (1983) *Didactical Phenomenology of Mathematical Structures*, Dordrecht: Reidel.
- Freudenthal, H. (1990) Mijmeringen over mechanica-onderwijs, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 8, 222-248.
- Genderen, D. van (1983) Kracht en tegenkracht, actie en reactie, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 1, 48-61.
- Genderen, D. van (1989) *Mechanica - onderwijs in beweging*. Utrecht: WCC.
- Hooymayers, H.P., P.L. Lijnse & W. de Vos (1989) *Basisvorming natuur/scheikunde*. Leiden: Martinus Nijhoff.
- Jardine, J. (z.j.) *Natuurkunde...Doen!* deel 1HV, 3HV (Ned. bewerking van Physics is Fun, book 1, 3) Kampen: Kok.
- Jung, W., H. Wiesner & P. Engelhardt (1981) *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik*, Bad Salzdetfurth: Franzbecker.
- Lijnse, P.L. (1990) Natuurkunde-didactiek vanuit β -didactisch perspectief. In: P.L. Lijnse & W. de Vos (Eds.), *Didactiek in perspectief*. Utrecht: CD- β -Press.
- Minstrell, J. (1982) Explaining the 'at rest' condition of an object, *The physics teacher*, 20, 10-14.
- PLON (1983) *Verkeer*, Utrecht: Vakgroep Natuurkunde-Didactiek, R.U. te Utrecht.
- PLON-vereniging (1988, 1989) *Natuurkunde in thema's*, Zeist: NIB.
- Shayer, M. & P. Adey (1981) *Towards a science of science teaching*, London: Heinemann.
- Treffers, A. (1987) *Three Dimensions*. Dordrecht: Reidel.
- Treffers, A. (1990) Wiskunde-onderwijstheorie of β -onderwijstheorie. In: P.L. Lijnse & W. de Vos (Red.), *Didactiek in perspectief*. Utrecht: CD- β -Press.
- Viennot, L. (1979a) *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. (Proefschrift 1977, Université de Paris VII), Paris: Hermann.
- Viennot, L. (1979b) Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.
- WEN (1985) Werkgroep Examenprogramma's Natuurkunde, *Examenprogramma natuurkunde C- en D-niveau*. advies aan de Minister van Onderwijs en Wetenschappen, Enschede: ACLO-natuurkunde.
- WEN (1987, 1988) *Examenprogramma natuurkunde VWO en HAVO*, Enschede: secretariaat WEN.