

lerarenhandleiding apparatuurgids

Verkeer



Een lessenserie waarin de leerlingen

- een natuurkundig begrippenkader aanleren ten aanzien van bewegingen, krachten en energieomzettingen in het verkeer
- onderzoek doen zowel aan echte verkeersmiddelen en -situaties als aan modellen
- belangrijke natuurkundige en technische aspecten leren kennen van veiligheid en zuinigheid in het verkeer

Experimentele uitgave voor de vierde klas HAVO



© 1985 Rijksuniversiteit Utrecht
tweede (herziene) druk

Deze handleiding maakt deel uit van experimenteel lesmateriaal.
Overname of referentie uitsluitend na toestemming van de medewerkers
van het PLON, Lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht,
tel. 030-532717.

Voorwoord	3
A. PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA	
1. Plaats van het thema in de cursus	4
2. Toelichting en verantwoording van de themakeuze	4
3. De mechanica in "Verkeer"	5
4. Globale opzet	6
5. Ervaringen met "Verkeer"	7
B. HET LEERPLAN IN VERKEER	
1. Beginsituatie: het straatbeeld	8
2. Kernpunten in de leerstof	10
3. Vaardigheden	13
4. Lessenplan; Werkvormen	14
5. Hulpmiddelen	17
C. OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK	
1. Oriëntatie	18
2. Bewegingen en krachten in het verkeer	19
3. Veilig rijden	28
4. Zuinig rijden	32
5. Prestaties	36
6. Bewegingstheorie	40
7. Opgaven	44
8. Verkeersonderzoek naar keuze	46
D. BIJLAGEN	
1. Samenvatting thema "Verkeer"	48
2. Verkeer in het EPEP	52
3. Kracht en tegenkracht, actie en reactie	55
4. Uitbreidingen bij het thema	62
5. Voorbeeld van een lesschema	69
I. AANVULLENDE INFORMATIE	
1. Letselpreventie in het wegverkeer	72
2. De efficiënte fiets	80
3. Statistische gegevens	81
Literatuur	84
Apparatuurgids	85

Deze lerarenhandleiding is in de eerste plaats geschreven voor de leraren, die met het thema "Verkeer" willen werken in de bovenbouw van het HAVO en eventueel ook het VWO. Daarom bevat deze handleiding naast een verantwoording van het thema, suggesties voor het werken ermee in de klas. Ook wordt informatie gegeven over onderwerpen die nieuw of ongebruikelijk zijn.

Daarnaast kan deze handleiding dienen als toelichting op het thema voor leden van begeleidingscommissies, inspecteurs, andere leerplanontwikkelaars en leraren, lerarenopleiders en andere belangstellenden. Voor hen zullen vooral de gedeelten A en B van belang zijn, omdat daarin de overwegingen zijn uiteengezet die hebben geleid tot de keuze en invulling van het thema.

In de tweede druk van deze handleiding zijn ervaringen verwerkt met het gebruik van "Verkeer" in de klas tijdens de schooljaren 1983/84 en 1984/85.

De PLON-groep
Lab. Vaste Stof
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht

juli 1985

A PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

1. PLAATS VAN HET THEMA IN DE KURSUS

A.1. PLAATS VAN HET THEMA IN DE KURSUS

De PLON-kursus voor 4 en 5 HAVO bestaat uit tien thema's.

"Verkeer" is bedoeld als vierde thema in klas 4. Het beslaat ongeveer 6 weken bij vier lessen per week.

PLON-thema's 4 HAVO

- Vergelijken
- Weersveranderingen
- Muziek
- Verkeer
- Elektrische Machines
- Energie en Kwaliteit

PLON-thema's 5 HAVO

- Materie
- Lichtbronnen
- Ioniserende Straling
- Elektronica
- en een boekje "Examen doen"

De aangegeven plaats van "Verkeer" berust op drie overwegingen:

- o "Verkeer" stelt hogere eisen aan de leerlingen, zowel in de theorie als in de experimenten, dan "Weersveranderingen" en "Muziek";
- o MAVO-instromers krijgen eerst enkele nieuwe onderwerpen voordat ze geconfronteerd worden met de gedeeltelijk bekende leerstof in "Verkeer";
- o meer dan tussen andere 4-HAVO thema's zijn inhoudelijke verbanden te leggen tussen "Verkeer", "Elektrische Machines" en "Energie en Kwaliteit".

Een praktisch nadeel van de aangegeven volgorde kan zijn dat "Verkeer" in de wintermaanden valt, hetgeen bezwaren kan opleveren voor het uitvoeren van proeven buiten de school. Wellicht staat daar als voordeel tegenover dat veilig rijden juist 's winters extra aandacht vraagt.

A.2. TOELICHTING EN VERANTWOORDING VAN DE THEMAKEUZE

Een korte karakteristiek is al gegeven op de omslag van deze AVOL:

"Verkeer" is een lessenserie waarin de leerlingen

- a. een natuurkundig begrippenkader aanleren ten aanzien van bewegingen, krachten en energieomzettingen in het verkeer;
- b. onderzoek doen zowel aan echte verkeersmiddelen en -situaties als aan modellen;
- c. belangrijke natuurkundige en technische aspecten leren kennen van veiligheid en zuinigheid in het verkeer.

We zullen elk van deze punten wat nader toelichten.

Ad a: begrippenkader. Het thema verkeer biedt de mogelijkheid om de basisbegrippen en -wetten van de klassieke mechanica te behandelen in een context die voor de leerlingen ook praktisch relevant is. Inzicht in de relaties tussen bewegingen en krachten is van belang voor veilig gedrag in het verkeer: met aangepaste snelheid rijden, afstand houden, tijdig remmen, gebruik maken van bromfietshelm en veiligheidsgordel. Inzicht in de aard van de tegenwerkende krachten is van belang met het oog op energiegebruik.

De keuze van het thema "Verkeer" geeft ook de mogelijkheid om in te gaan op de eigen denkbeelden van de leerlingen: denkbeelden over bewegingen en krachten die sterk kunnen afwijken van de op school onderwezen theorie. Verkeer is daarom ook uit didactische overwegingen een geschikte context om de leerlingen te helpen bij de moeilijke overgang van "straatbeeld" naar "schoolbeeld". (Zie verder B.1. en B.2.)

A PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

2. TOELICHTING EN VERANTWOORDING VAN DE THEMAKEUZE

Ad b: onderzoek. In het thema "Verkeer" worden de alledaagse ervaringen van de leerlingen niet alleen via leesteksten en opgaven aan de orde gesteld, maar ook via eigen onderzoek met behulp van fietsen. Het gaat daarin niet alleen om het verkrijgen van bepaalde gegevens over remwegen of tegenwerkende krachten, maar ook om het leren interpreteren van de onderzochte situaties in het kader van het "schoolbeeld". De gebruikelijke schoolapparatuur -lucht-kussenbaan, wagentjes en tijdtikker- doet nu dienst voor modelonderzoek in de context van "Verkeer".

Ad c: veiligheid en zuinigheid. In het thema "Verkeer" gaat het niet alleen om de aloude wetten van Newton, maar ook om actuele technische ontwikkelingen waarbij natuurkundige kennis en natuurkundige methoden te pas komen. Wat bijv. over kreukzones en C_w -waarden wordt gezegd in nieuws en reclame, kan in de lessen worden betrokken. Aan veiligheid gekoppeld zijn ook wettelijke voorschriften t.a.v. remvertraging en voorzieningen als verkeerslichten. Door de behandeling van zulke aspecten van verkeer geeft het thema ook zicht op relaties tussen natuurkunde, techniek en maatschappij.

ALGEMENE OVERWEGINGEN

De keuze en uitwerking van het thema "Verkeer" past in een visie op natuurkunde-onderwijs voor leerlingen in HAVO-bovenbouw, die elders uitvoeriger is beschreven en verantwoord¹⁾. We volstaan hier met twee citaten:

"De natuurkunde houdt zich bezig met een aspect van de wereld, niet los van velerlei andere aspecten: technische, ecologische, economische, sociale, esthetische en ethische. Denk bijvoorbeeld aan verkeer, aan bewapening, aan energievoorziening, aan elektriciteitsbedrijven enz. Voor natuurkundigen in het technisch onderwijs en in het bedrijfsleven was dat allang duidelijk."

"...de aangeboden natuurkunde is verweven met en ontleend aan een zingevende ruimere context, met als belangrijk doel op die manier te komen tot beter functionerend en zinvoller onderwijs."

A.3. DE MECHANICA IN "VERKEER"

Alle drie de basisprincipes van de klassieke mechanica -het traagheidsprincipe, $F = ma$ en het actie-reactieprincipe komen in het thema aan de orde, alsook de relaties tussen stoot en impuls en die tussen arbeid en kinetische energie. Niet alleen het aanleren van deze begrippen en regels gebeurt in de context van verkeer, ook de toepassingen blijven binnen diezelfde context. Deze opzet verschilt duidelijk van de gangbare schoolnatuurkunde, waarin vanuit het begrippenschema door de keuze van proeven en opgaven een aparte schoolcontext wordt geschapen. Die context omvat naast rijdende wagentjes ook horizontaal weggeworpen stenen, van hellingen glijdende blokjes en elastisch botsende kogels. De veelheid van oefensituaties zal bedoeld zijn om de algemene geldigheid van de theorie te illustreren, maar draagt ook bij tot de omvang en moeilijkheid van de mechanica. Beperking in omvang (ongeveer 24 lessen) was een randvoorwaarde bij de invulling van het thema "Verkeer"; beperking in moeilijkheid hebben we getracht door een zorgvuldige opbouw te bereiken. Wat de kinematica betreft konden we vrijwel volstaan met twee soorten rechtlijnige beweging: eenparig bij normaal rijden en eenparig vertraagd bij remmen tot stilstand. Daar staan uitbreidingen in de dynamica tegenover, met name de behandeling van de luchtweerstand.

¹⁾ Zie de handleiding bij het thema "Vergelijken" bijlage I₁ (Natuurkunde - schematisch of thematisch, door Dik van Genderen) en bijlage I₂ (Blikken naar een nieuwe cursus, door Piet Lijnse).

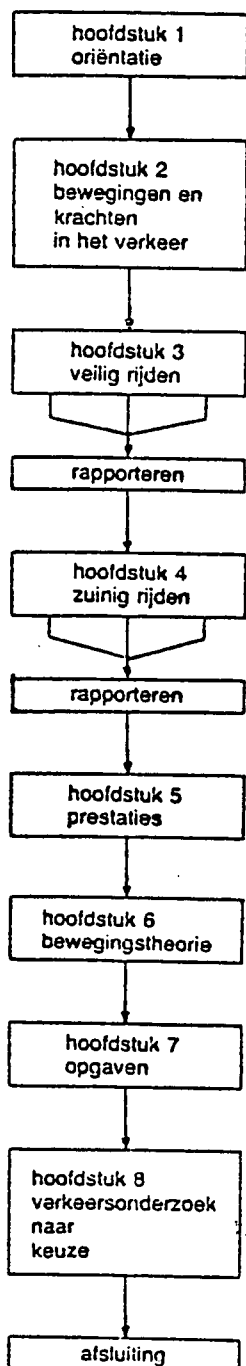
A PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

3. DE MECHANICA IN "VERKEER"

Verkeer is zeker niet de enige context waarin kennis van de mechanica zinvol kan functioneren. Sommige leerlingen zouden zich misschien meer interesseren voor de bewegingen en krachten in de sport of in de ruimtevaart. Die onderwerpen zijn echter naar onze mening minder geschikt voor beginners in de mechanica. Inmiddels is wel voor 5 VWO een thema "Sport" ontwikkeld en voor 6 VWO een thema "Satellieten".

A.4. GLOBALE OPZET

De structuur van het thema 'Verkeer'.



Hoofdstuk 1 dient om de leerlingen te oriënteren op de context waarbinnen de natuurkundelessen in de komende weken zullen staan. Een schets van de historische ontwikkeling van het verkeer laat iets zien van de wisselwerking tussen veranderingen in wetenschap, techniek en maatschappij. De hoofdlijnen van het thema worden gemarkeerd door drie vragen:

- Welke factoren zijn van belang voor veiligheid in het verkeer?
- Welke factoren zijn van belang voor zuinigheid in het verkeer?
- Welke krachten beheersen de bewegingen in het verkeer?

In hoofdstuk 2 werken we aan vraag c, om de belangrijkste begrippen en regels te introduceren en daarmee ook een basis te leggen voor het onderzoek omtrent de vragen a en b. De kinematica houden we zeer beknopt; het gaat hier vooral om introductie van enkele meetmethoden en om de begrippen snelheid en remvertraging. De ongebruikelijke manier waarop we de dynamica behandelen is geïnspireerd zowel door de themakeuze als door vakdidactisch onderzoek omtrent straatbeeld en schoolbeeld; we zullen dit verderop toelichten (zie B.1. en B.2.).

Hoofdstuk 3 geeft de leerlingen instructies voor onderzoek naar reactietijden, remwegen en botsingen. Voorzover de proeven buiten de school uitgevoerd worden, met fietsen, zullen de leerlingen veel minder reproduceerbare en nauwkeurige resultaten boeken dan bij de binnenproeven; daarom stellen we hier nadrukkelijk het begrip meetonzekerheid aan de orde. De instructies zijn tamelijk gedetailleerd en gesloten, omdat het gaat om vier variabelen -remweg, beginsnelheid, remkracht en massa- waarvan er telkens twee constant gehouden moeten worden. Het onderzoek over botsingen omvat zowel eigen experimenten als experimenten die door TNO zijn gedaan. In hoofdstuk 4 doen de leerlingen onderzoek over het aspect zuinigheid in het verkeer, toegespitst op metingen van de tegenwerkende krachten bij verschillende snelheden.

De leerlingen kunnen kiezen tussen onderzoek met fietsen, bromfietsen, modellen van auto's in een windtunnel en scheepsmodellen in een sleeptank. De onderzoeksvragen zijn zeker niet moeilijker dan in hoofdstuk 3, maar de instructies zijn minder gesloten en de leerlingen krijgen te maken met diverse praktische complicaties. Hoofdstuk 5 introduceert, aansluitend op het onderzoek naar tegenwerkende krachten, het begrip arbeid. Aan arbeid worden gekoppeld de begrippen vermogen, rendement en (in verband met remmen en optrekken) kinetische energie. Voorbeelden en opgaven worden o.a. ontleend aan een testrapport van een auto. Een belangrijk technisch aspect, aansluitend bij de begrippen arbeid en vermogen, is de functie van de "versnellingen" op een fiets.

A PLAATS EN KARAKTER VAN HET THEMA

4. GLOBALE OPZET

In hoofdstuk 6 ronden we de theorie af, waarbij we nog de begrippen stoot en impuls toevoegen. Hierbij laten we de leerlingen controleren hoe goed of slecht de resultaten van hun proeven uit hoofdstuk 3 overeenstemmen met

$$F = ma \quad \text{en} \quad W = \Delta E_k$$

Hoofdstuk 7 is, ongebruikelijk voor een PLON-thema, een verzameling opgaven. Deze opgaven zijn niet alleen bedoeld voor herhaling en oefening, maar dienen ook om aan de leerlingen nieuwe situaties te laten zien waarin de geleerde regels geldig en bruikbaar zijn. Wel blijven we ook hier duidelijk binnen de context werken -deze verzameling opgaven is niet bedoeld als aanvulling bij de vraagstukken uit de gangbare schoolmechanica, maar als vervanging.

Hoofdstuk 8 tenslotte geeft de leerlingen suggesties voor de invulling van de keuzeperiode. Omdat in de hoofdstukken 3 en 4 veel nadruk is gelegd op systematisch voorbereiden, uitvoeren en uitwerken van experimenten, willen we in de afsluitende activiteiten hierop terugkomen.

A.5. ERVARINGEN MET "VERKEER"

Over ervaringen met het thema zijn we ingelicht zowel door leraren - via een vragenlijst, rapportages op vergaderingen, lesbezoek en interviews - als door leerlingen: 26 leerlingen, verspreid over 7 scholen, hebben een "logboek" bijgehouden over hun ervaringen in de les en bij het huiswerk. Het globale beeld is gunstig: er is goed met het thema te werken; het is pittig maar niet te moeilijk en het belang van wat je leert is duidelijk.

De leraren signaleren als belangrijkste probleem gebrek aan tijd; zij bezuinigen vooral op de keuzeperiode aan het eind, omdat er in hoofdstuk 3 en 4 al redelijk veel tijd is besteed aan experimenten. Vooral bij de experimenten doen leraren soms verschillende keuzen, in verband met de omstandigheden op school of eigen ervaringen en voorkeur. (Hierover meer in B4.)

Van de logboeken van leerlingen hebben we gebruik gemaakt bij de herziening van deel C van deze handleiding; hier en daar hebben we opmerkingen geciteerd, tussen * *. Er is natuurlijk nogal verschil tussen leerlingen in wat ze al of niet interessant, duidelijk of moeilijk vinden. Gelukkig kwamen we naast kritiek ook waardering tegen, zoals de opmerking waarmee een meisje haar logboek besluit:

Dit onderwerp "Verkeer" vond ik heel erg leuk en interessant, vooral omdat we hier zelf dagelijks mee te maken krijgen. Dit thema vond ik ook erg goed opgezet; niet al te moeilijk.

B HET LEERPLAN IN VERKEER

1. BEGINSITUATIE: HET STRAATBEELD

B.1. BEGINSITUATIE: HET STRAATBEELD

Het thema "Verkeer" vereist geen speciale voorkennis van de leerlingen. Daarmee is echter de vraag naar de beginsituatie niet afgedaan: de leerlingen hebben zo'n 15 jaar dagelijkse ervaring met bewegingen en krachten en uit deze ervaringskennis kunnen gemakkelijk denkbeelden voortkomen die strijdig zijn met het traagheidsprincipe, $F = ma$ en het actie-reactieprincipe. Naar deze tegenstelling tussen straatbeeld en schoolbeeld is in de laatste jaren vrij veel onderzoek gedaan in diverse landen.¹⁾ De misverstanden die in zulk onderzoek aan het licht komen zijn grotendeels wel bekend uit de onderwijspraktijk, maar de hardnekkigheid ervan wordt ook door ervaren leraren nog sterk onderschat. Zeker wanneer we willen aansluiten bij de leefwereld van de leerlingen, zoals in het thema "Verkeer", is het van belang na te denken over de samenhang tussen alledaagse ervaring, omgangstaal en straatbeeld.

Een sleutelwoord is "kracht", dat in de omgangstaal een breed spectrum van betekenissen heeft. Een deel daarvan heeft betrekking op verschijnselen in natuur en techniek, bijv. groeikracht, geneeskracht, waskracht, motorkracht. Bij "natuurkrachten" en het gebruik daarvan wordt meestal gedacht aan eigenschappen die bepaalde stoffen, voorwerpen of organismen in zich hebben. In de natuurkunde daarentegen kunnen dingen wel impuls, energie of vermogen hebben, maar kracht nu juist niet. Wanneer in de omgangstaal sprake is van een karwei dat "kracht kost" of van "met kracht" wegschoppen van een bal kan het even goed gaan over arbeid of impuls als over kracht in de natuurkundige betekenis.

Fundamenteel voor het straatbeeld is de ervaring dat je "kracht" nodig hebt om dingen in beweging te brengen en in beweging te houden. Bij het fietsen ervaren de leerlingen steeds weer dat voor een grotere snelheid meer "kracht" nodig is in de zin van grotere inspanning.

De associatie van "kracht" met inspanning maakt het al niet vanzelfsprekend om gewicht, wrijving en andere vormen van "passief verzet", als kracht te accepteren. Vervolgens blijft toch het gevoel dat je bij het optillen van een koffer of het verschuiven van een tafel de tegenwerkende krachten moet "overwinnen" door een kracht die groter moet zijn. Ook bij het fietsen is dat gevoel overheersend; bovendien kan hier gemakkelijk het misverstand optreden dat de lucht alleen een kracht uitoefent wanneer het waait en niet bij windstil weer. Wat de voorwaartse kracht betreft bij het fietsen blijft in het vage waar en hoe die werkt: er wordt "kracht geleverd" door de fietser en in het straatbeeld is "kracht" niet noodzakelijk een grootheid met een bepaalde richting en een bepaald aangrijpingspunt.

¹⁾ Zie bijv. P.L. Lijnse. 1981. Schoolbeeld of straatbeeld: over onderzoek naar begripsmoeilijkheden van leerlingen bij het leren van mechanica. Verslag van de konferentie Woudschoten, Werkgroep Natuurkunde-Didaktiek.
D. van Genderen. 1983. Kracht en tegenkracht, actie en reactie, een onderzoek naar denkbeelden van leerlingen. Tijdschrift voor didaktiek der natuurwetenschappen, 1, p. 48. Dit artikel is als bijlage D3 in deze handleiding opgenomen.

B HET LEERPLAN IN VERKEER

1. BEGINSITUATIE: HET STRAATBEELD

PRINCIPIËLE VERSCHILLEN TUSSEN SCHOOLBEELD EN STRAATBEELD

Om het contrast tussen schoolbeeld en straatbeeld aan te geven, kunnen we tegenover de drie basisprincipes van de mechanica drie ervaringsregels stellen:

1. Tegenover het traagheidsprincipe staat: als ik op een voorwerp geen kracht uitoefen, blijft het voorwerp in rust of het komt tot rust.
Voor een constante snelheid moet ik een constante kracht uitoefenen.
2. Tegenover $F = ma$ staat: $\vec{v} \sim \vec{F}$, d.w.z. de snelheid van een voorwerp is groter naarmate ik er een grotere kracht op uitoefen; de beweging gebeurt in de richting van de kracht.
3. Tegenover het actie-reactieprincipe: als ik op een voorwerp een kracht uitoefen, dan kunnen er tegenwerkende reactiekrachten optreden. Om het voorwerp te laten bewegen moet ik die reactiekrachten overwinnen.

Deze ervaringsregels zijn niet eenvoudig te weerleggen door enkele demonstratieproeven, waarin bijv. aangetoond wordt dat een constante kracht een constante versnelling veroorzaakt. Zulke proeven kunnen voor de leerling de spreekwoordelijke uitzonderingen (speciale opstellingen en apparatuur) duidelijk suggereren dat slechts in bijzondere gevallen de ervaringsregel niet opgaat.

CONFRONTATIE

De mechanica in de vierde klas HAVO vereist van de leerlingen een omwenteling in het denken over bewegingen en krachten, die in sommige opzichten te vergelijken is met de historische omwenteling van "aristotelische" naar "newtonse" theorie. De confrontatie met het schoolbeeld kan bij de leerlingen verschillende effecten teweegbrengen, zoals

- afwijzing: de leerling blijft in het straatbeeld gevangen en vindt de leerstof niet te snappen;
- vervorming: elementen uit het schoolbeeld worden vermengd met voorstellingen uit het straatbeeld. Na verloop van tijd krijgt dan vaak het straatbeeld weer de overhand;
- systeemscheiding: het schoolbeeld wordt geleerd en toegepast in de context van schoolproeven en schoolopgaven; in de leefwereld blijft het straatbeeld overheersen.

In het thema "Verkeer" trachten we deze effecten zo veel mogelijk te voorkomen door niet aparte schoolbeeldsituaties te creëren, maar het schoolbeeld juist daar te ontwikkelen waar de invloed van het straatbeeld het grootst is: bewegingen en krachten in alledaagse situaties.

Een belangrijk hulpmiddel bij de confrontatie tussen straatbeeld en schoolbeeld is de videoband "Krachten", die ontwikkeld is voor gebruik bij hoofdstuk 2. Zie hierover verder B.5. (blz. 17) en C.2.4. (blz. 23).

B HET LEERPLAN IN VERKEER

2. KERNPUNTEN IN DE LEERSTOF

B.2. KERNPUNTEN IN DE LEERSTOF

De eenparige rechtlijnige beweging en het traagheidsprincipe

Situaties in het verkeer lenen zich heel goed voor het leren van het traagheidsprincipe. De ervaringen van de leerlingen in optrekkende en remmende voertuigen laten zich als traagheidseffecten interpreteren. Maar evenzeer belangrijk is het te wijzen op de ervaring dat je bij een eenparige rechtlijnige beweging, hoe snel ook, niets bijzonders voelt. Het traagheidsprincipe is ook zo nog steeds niet te bewijzen, maar wel aannemelijk te maken.

Om didactische redenen hebben we de vrijheid genomen om in het traagheidsprincipe ook op te nemen de logische uitbreiding: *als een voorwerp met constante snelheid recht door beweegt, is de netto kracht nul*. We gaan dus niet eerst de gebruikelijke moeilijke weg naar $F = ma$ om dan daaruit af te leiden dat bij constante snelheid de kracht nul moet zijn. Voor het inzicht in de dynamica van de eenparig rechtlijnige beweging lijkt ons de koppeling met het traagheidsprincipe beter.

Het (uitgebreide) traagheidsprincipe vormt het uitgangspunt voor het meten van tegenwerkende krachten in hoofdstuk 4 (zuinig rijden) en voor berekeningen over arbeid en vermogen bij rijden met constante snelheid.

De voortstuwing en het actie-reactieprincipe

In het thema "Verkeer" gaat het niet alleen om "het" krachtbegrip, maar ook om begrip van de verschillende soorten krachten die de voortbeweging hinderen of helpen. De tegenwerkende krachten krijgen a.h.w. een eigen "gezicht" door het onderzoek naar de factoren die erin meespelen: onze tegenstanders rolwrijving en luchtweerstand blijken zich bijv. bij snelheidstoename verschillend te gedragen. Om krachten te "zien" zijn voor beginners zichtbare effecten van belang: vervorming en slijtage van een band, de opstuwing van water voor de boeg van een schip.

Tegenwerkende krachten worden uitgeoefend door weg, water en lucht; dat dit ook geldt voor de voortstuwende krachten is moeilijker te begrijpen.

In het straatbeeld wordt beweging "op eigen kracht" - "spierkracht" of "motorkracht" - geaccepteerd als gewoon verschijnsel, dat geen nadere verklaring behoeft. Ook hier kan een zichtbaar effect - het achterwaarts stuwen van water door een schepsschroef - helpen om de krachtwerking te "zien". Bovendien is in dit voorbeeld duidelijk dat een grotere actie gepaard gaat met een grotere reactie, al is daarmee nog niet aangetoond dat de wederzijdse krachten even groot moeten zijn.

Maken de leerlingen zich de voorstelling eigen dat ook de voorwaartse krachten tot stand komen door *wisselwerking* met de omgeving, dan hebben ze opnieuw een belangrijke stap gedaan in de overgang van straatbeeld naar schoolbeeld.

Als krachtwerking altijd wisselwerking is en als de grootte van beide krachten afhangt van de relatie tussen de twee partners, dan gaat het duidelijk niet meer over dingen die "kracht hebben".

Remvertraging en $F = ma$

In het thema "Verkeer" ligt het voor de hand de behandeling van de eenparig veranderlijke beweging toe te spitsen op het afremmen tot rust.

Gebruik makend van deze voor de leerlingen duidelijke context voeren we via een getallenvoorbeeld het begrip remvertraging in. Het feit dat vertragingen en versnellingen soms in g worden uitgedrukt geeft ons aanleiding om ook even de vrije val te bespreken.

B HET LEERPLAN IN VERKEER

2. KERNPUNTEN IN DE LEERSTOF

Bij de remproeven in hoofdstuk 3 hebben we ervoor gekozen niet de vraag te stellen naar het verband tussen kracht, massa en vertraging, maar te vragen naar de wijze waarop de remweg afhangt van de beginsnelheid, de massa en de kracht. Later brengen we de resultaten nog wel in verband met $F = ma$, maar in deze vorm gebruiken we dit principe toch maar sporadisch. Bij botsingen vinden we $F \Delta t = m \Delta v$ geschikter en bij remwegen $F \Delta s = \Delta (\frac{1}{2} mv^2)$. De formule $s = \frac{1}{2} at^2$ hebben we niet ingevoerd omdat we bij remwegen het werken met de gemiddelde snelheid leerzamer achten.

Fietsen, arbeid en energie

In de context van verkeer zijn de begrippen arbeid en energie goed te koppelen aan de ervaringen van de leerlingen bij het fietsen. De definitie "kracht x weg" zal geen probleem opleveren; we koppelen daaraan het begrip vermogen en voor het geleverde vermogen bij eenparige beweging de formule $P = F \cdot v$

De ervaring met op- en afrijden van hellingen geeft aanleiding om de tegenwerking of meewerking van de zwaartekracht uit te drukken in een bedrag $mg \Delta h$ aan arbeid. De ervaring met uitrijden en vaart zetten leidt tot het begrip kinetische energie als "geïnvesteerde arbeid".

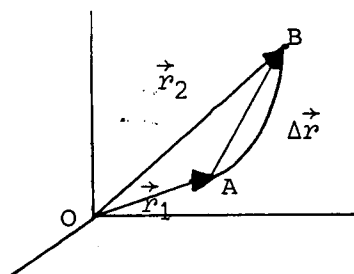
Afgelegde weg, snelheid en versnelling

In de context van verkeer heeft het geen zin de kinematica te baseren op verplaatsing als vector. In de praktijk gaat het steeds om de afstand die je moet afleggen om van A naar B te komen, dus om de afgelegde weg Δs en niet om de verplaatsingsvector $\Delta \vec{r}$. De grootte s correspondeert met de hectometer- en kilometerpaaltjes langs de weg en met de aanwijzing van de kilometer-teller op een fiets of in een auto. De grootte $\vec{r}$ is de plaatsvector vanuit een geschikt gekozen oorsprong O; door de keuze van een assenstelsel kan de plaats van een punt ook aangegeven worden door coördinaten x , y en z .

"Systeem s " is in de natuurkunde niet zo algemeen toepasbaar als "systeem $\vec{r}$ ", maar het heeft ook op wetenschappelijk niveau wel degelijk een functie.

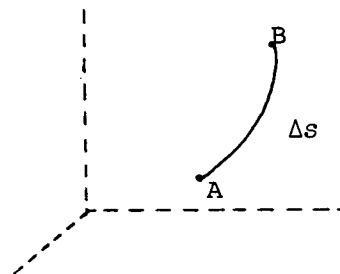
De arbeidsdefinitie in de vorm $\int \vec{F}_s \cdot d\vec{s}$ kan bijv. soms bruikbaar zijn dan $\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$ of $\int F_x dx + \int F_y dy + \int F_z dz$. Omdat in schoolboeken de twee systemen of de notaties soms door elkaar gehaald worden, zetten we ze hier naast elkaar.

"Systeem $\vec{r}$ ", uitgaande van plaatsvector $\vec{r}$ of coördinaten x , y , z .



$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \text{ of } v_x = \frac{dx}{dt} \text{ enz.}$$

"Systeem s ", uitgaande van gevolgde baan en daarop afgelegde weg s .



$$v = \frac{ds}{dt}, \text{ dus altijd positief}$$

B HET LEERPLAN IN VERKEER

2. KERNPUNTEN IN DE LEERSTOF

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ of } a_x = \frac{dv_x}{dt} \text{ enz.}$$

met afspraken over positieve en negatieve asrichtingen

$$\vec{F} = m\vec{a} \text{ of } F_x = ma_x \text{ enz.}$$

$$W = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F} d\vec{r} \text{ of } \int_{x_1}^{x_2} F_x dx + \text{enz.}$$

$$a = \frac{dv}{dt}, \text{ dus positief als } v \text{ toeneemt, negatief als } v \text{ afneemt}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_s = ma \\ W = \int_{s_1}^{s_2} F_s ds \end{array} \right\} \text{ met } F_s \text{ de netto kracht in de bewegingsrichting}$$

Onze keuze voor "systeem s" brengt met zich mee dat we het begrip centripetale versnelling en de bijbehorende formule niet kunnen afleiden uit de definitie. Uit de schoolpraktijk is echter wel bekend, dat die afleiding in "systeem $\vec{r}$ " bij de meeste leerlingen veel meer verwarring dan verheldering schept. Ons lijkt het beter op experimentele gronden aannemelijk te maken dat voor een eenparige cirkelbeweging een centripetale kracht ter grootte $\frac{mv^2}{r}$ nodig is. Om praktische redenen -de beperkte tijd- hebben we

de cirkelbeweging niet in het thema opgenomen, behoudens één opgave in hoofdstuk 7.

Voor leraren die het thema "Verkeer" willen gebruiken buiten het kader van de complete PLON-kursus voor HAVO-bovenbouw geven we in bijlage D4 aan, hoe vanuit de context van verkeer de in "systeem s" behandelde begrippen aangevuld kunnen worden in de richting van "systeem $\vec{r}$ ".

B.3. VAARDIGHEDEN

Onderzoeksvaardigheden

Een belangrijk doel in "Verkeer" is het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden. In het voorstel voor een Experimenteel PLON Examen Programma (EPEP) worden die vaardigheden als volgt gespecificeerd.

- A1: experiment voorbereiden: A11 hypothese stellen
A12 onderzoeksvraag (werkvraag) formuleren
A13 experiment ontwerpen
- apparatuur kiezen
- werkplan maken
- resultatenverwerking voorbereiden
- A2: experiment uitvoeren: A21 apparatuur correct tot opstelling formeren
A22 metingen correct uitvoeren
- aflezen van instrumenten
- meetgrenzen vastleggen
A23 meetresultaten overzichtelijk opslaan
- A3: experiment evalueren: A31 meetresultaten verwerken tot relaties
- kwalitatief, kwantitatief
A32 gevonden resultaten relateren aan hypothesen
A33 conclusies trekken.

Twee vaardigheden die hierboven niet expliciet genoemd zijn krijgen speciale aandacht, nl. het schatten van de meetonzekerheid en het zoeken van evenredigheden.

Werken met formules en diagrammen

In vergelijking met de gangbare schoolmechanica hebben we het gebruik van formules en diagrammen voor afgelegde weg en snelheid bij eenparig veranderlijke bewegingen sterk beperkt. De formules

$s(t) = s(0) + v(0)t + \frac{1}{2}at^2$ en $v(t) = v(0) + at$ komen niet in het thema voor,

zelfs niet $s = \frac{1}{2}at^2$ en $v = at$. Remwegproblemen behandelen we met

$$s_{\text{rem}} = \bar{v}t_{\text{rem}}, \quad \bar{v} = \frac{1}{2}v_{\text{begin}} \quad \text{en} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Wel gebruiken we herhaaldelijk v - t diagrammen.

Tegenover deze beperking staat als belangrijkste uitbreiding het werken met de formule voor de luchtweerstand (die de leerlingen niet uit het hoofd hoeven te leren): $F_1 = c_w A \frac{\rho}{2} v^2$

en bijbehorende grafieken van F tegen v , alsook grafieken voor de totale tegenwerkende kracht -luchtweerstand + rolwrijving- en voor het benodigde vermogen.

B HET LEERPLAN IN VERKEER

4. LESSENPLAN; WERKVORMEN

B.4. LESSENPLAN; WERKVORMEN

Bij het ontwikkelen van "Verkeer" zijn we uitgegaan van de urenverdeling die hieronder in kolom A staat. In de praktijk wordt tot nu toe de keuzeperiode weggelaten of met de keuzeperiode van een ander thema gecombineerd. Misschien wordt de tijdskrapte minder als leraren wat langer ervaring hebben met het thema, maar voorlopig lijkt een urenverdeling als in kolom B realistisch. In hoofdstuk C - opmerkingen per hoofdstuk - hebben we het schema van kolom A aangehouden, met de 4 uren voor hoofdstuk 8 als reserve.

	A	B	C
Hoofdstuk 1 Oriëntatie	1	1	1
Hoofdstuk 2 Bewegingen en krachten in het verkeer	4	5	4
Hoofdstuk 3 Veilig rijden	4	4	4
Hoofdstuk 4 Zuinig rijden	3	3	3
Hoofdstuk 5 Prestaties	2	3	2
Hoofdstuk 6 Bewegingstheorie	2	2	2
Hoofdstuk 7 Opgaven 1)	3	4	3
Hoofdstuk 8 Verkeersonderzoek naar keuze	4	-	res.4
Toets(en)	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>
Totaal	24	24	24

- 1) Het is ook mogelijk de opgaven van hoofdstuk 7, of een deel ervan, te behandelen bij de hoofdstukken waar ze het meest op aansluiten. De opgaven 1 t/m 5 bijv. kunnen gedaan worden na hoofdstuk 3.

In de praktijk blijkt de "reserve" die ontstaat door weglating van de keuzeperiode nogal verschillend besteed te worden; zo varieert bijv. het aantal uren voor hoofdstuk 2 van vier tot zes, voor hoofdstuk 5 van twee tot vier.

Behalve in de urenverdeling zijn er ook andere variaties in de wijze van werken met het thema. Enkele van die variaties noemen we hieronder, niet als adviezen ter navolging, maar als suggesties ter overweging. "Een leraar" betekent hier steeds: "minstens één leraar of lerares".

Lessenplan voor de leerlingen.

Sommige leraren reiken bij de oriëntatie aan hun leerlingen een lessenplan uit, voorzien van nadere gegevens over de activiteiten in de les en over het huiswerk. Een voorbeeld is gegeven in bijlage D5.

Doelstellingen.

Een leraar vertelt bij bepaalde paragrafen wat de doelstellingen zijn, bijv. definitie kunnen geven van eenparig versnelde beweging, v-t diagram kunnen tekenen met een tikkerstrook, soorten wrijving kunnen noemen en waar elke soort van afhangt. De leerlingen maken hierbij aantekeningen en gebruiken die als controle bij het leren.

Formulekaart.

Een leraar laat de leerlingen een formulekaart maken, die ze bij toetsen en proefwerken mogen raadplegen. De kaart wordt ook gebruikt in de gewone les bij het maken van vraagstukken en kan dienen als hulpmiddel om systematisch te werken,

B HET LEERPLAN IN VERKEER

4. LESSENPLAN; WERKVORMEN

Antwoorden bij opgaven.

Sommige leraren geven een lijst met antwoorden of laten leerlingen tijdens de les hun antwoorden controleren in de lerarenhandleiding.

Oplossingsstrategie.

Een leraar laat de leerlingen werken met een "stamboom": schrijf de gevraagde grootheid op, de te gebruiken formule ernaast, onderstreep de grootheden

v ($\underline{s} = v \cdot \underline{t}$) die je nodig hebt en schrijf ze eronder enz. totdat je uitkomt bij grootheden die gegeven zijn.

```

      v
     / \
    /   \
   t     s

```

Tussentoetsen.

Een leraar geeft na elk van de theoriehoofdstukken - 2, 5 en 6 - een toets. "Dit geeft de noodzakelijke druk op leerlingen om regelmatig te werken. Het kost wel ongeveer 1 lesuur per toets, inclusief het nabespreken." Op een andere school wordt een tussentijds proefwerk gegeven over de eerste drie hoofdstukken en enkele opgaven uit hoofdstuk 7.

Gemeenschappelijke proef.

Een leraar laat, als gemeenschappelijk begin van de onderzoeken in hoofdstuk 3, alle leerlingen (tegelijkertijd) de eerste onderzoeksvraag van 3.4 doen (remweg en beginsnelheid van een karretje; er waren 8 karretjes en 8 tikkers beschikbaar). De meetrapporten worden direct nabesproken; daarna begonnen de leerlingen aan een tweede onderzoek naar keuze.

Keuze van experimenten.

Bij de onderzoeken in de hoofdstukken 3 en 4 wordt vaak aan leerlingen de mogelijkheid geboden om een eerste en tweede voorkeur aan te geven. Soms moet daarvan afgeweken worden omdat bepaalde hulpmiddelen niet in zoveelvoud aanwezig zijn en omdat men de vorming van te grote groepen vermijden wil. Op een school worden de experimenten van de hoofdstukken 3 en 4 parallel gedaan. Op een andere school wordt het materiaalprobleem ondervangen doordat de leerlingen naar keuze in of buiten de natuurkundeles werken; ze moeten eventueel materiaal reserveren bij de amanuensis.

Rapportages.

Leerlingen hebben vaak moeite om de hoofdzaken uit hun onderzoek kort en duidelijk aan de klas te presenteren; enige sturing bij de voorbereiding blijkt vaak nodig. Een leraar laat de hoofdzaken - werkvraag, meettabel, grafiek, conclusie - samenvatten op een transparant, die door een lid van de groep wordt toegelicht.

Bij hoofdstuk 4 wordt soms gerapporteerd d.m.v. flappen die in de klas worden opgehangen. Een leraar laat elke groep een vraagstuk opstellen, gebaseerd op het eigen onderzoek.

Enkele leraren laten de onderzoeksresultaten door de hele klas bestuderen, door middel van een korte samenvatting op stencil.

Beoordeling onderzoek.

Enkele leraren laten de klas deelnemen aan de beoordeling van de rapportage. Bij de beoordeling van het onderzoek als geheel wordt soms uitgegaan van een vaste indeling, bijvoorbeeld:

a) is de werkvraag correct	3 punten
b) zijn er voldoende metingen (minimaal 4x4)	3 "
c) is de meetonzekerheid correct bepaald	3 "
d) zijn de metingen correct in een grafiek verwerkt	3 "

B HET LEERPLAN IN VERKEER

4. LESSENPLAN; WERKVORMEN

- e) is een juiste conclusie getrokken
- f) is de transparant netjes

3 punten
3 "

Eindbeoordeling

Ook bij de eindbeoordeling wordt soms een bepaalde indeling gehanteerd, bijvoorbeeld een indeling in drie delen, met gelijk gewicht:

- a) toetsen en meetrapporten
- b) proefwerk
- c) praktisch proefwerk

B HET LEERPLAN IN VERKEER

5. HULPMIDDELEN

B.5. HULPMIDDELEN

Apparatuur

Het thema vereist niet veel speciale hulpmiddelen. *Wagentjes en tijdtickers* zijn al op veel scholen in gebruik. Voor de remproeven en de botsingsproeven in hoofdstuk 3 zijn enkele vrij eenvoudige hulpconstructies nodig.

De *luchtkussenbaan* is ook op veel scholen aanwezig; men kan eventueel volstaan met een eenvoudig, zelfgemaakt exemplaar omdat er geen kwantitatief onderzoek mee gedaan hoeft te worden.

Nieuw is de *windtunnel*, belangrijk in verband met de behandeling van de luchtweerstand. Gegevens over de constructie zijn verderop in deze handleiding vermeld (blz.99).

Audiovisueel materiaal

Bij hoofdstuk 2 is een videoband "KRACHTEN" ontwikkeld, waarin opnamen van een fietsend meisje worden begeleid door uitleg over de voorwaartse en tegenwerkende krachten. Op drie plaatsen wordt een vraag gesteld, met de suggestie om de band te stoppen en over de vraag te discussiëren alvorens verder te gaan. De speelduur van de band is 20 minuten, exclusief discussiepauzes. Nadere bijzonderheden over de inhoud en het gebruik van de band worden gegeven bij de bespreking van paragraaf 2.4 (blz.22).

De videoband "KRACHTEN" is te verkrijgen bij het Onderwijs media instituut van de Rijksuniversiteit Utrecht (adres: Video-Universiteit, Postbus 3508 TC Utrecht. Tel. 030-531314). De prijs zal ongeveer f 60,- bedragen.

Documentatie

Het lijkt ons van belang dat tijdens de behandeling van het thema een aantal boeken, tijdschriftartikelen, folders e.d. in de klas beschikbaar zijn.

Een aantal voorbeelden geven we verderop in deze handleiding (blz.84).

Tijdens de behandeling van "Verkeer" kan de collectie door de leerlingen uitgebreid worden met artikelen uit kranten en tijdschriften.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

1. ORIËNTATIE

C.1. ORIENTATIE

Bedoeling

Dit hoofdstuk dient om de leerlingen te oriënteren op de context van de lessen in de komende weken (par. 1.1 en 1.4). In 1.2 en 1.3 wordt een schets gegeven van de historische ontwikkeling van het verkeer om de leerlingen iets te laten zien van de wisselwerking tussen veranderingen in wetenschap techniek en maatschappij. De hoofdlijnen van het thema worden in 1.4 aangegeven door drie vragen:

- welke factoren zijn van belang voor veiligheid in het verkeer?
- welke factoren zijn van belang voor zuinigheid in het verkeer?
- welke krachten beheersen de bewegingen in het verkeer?

Lessenplan

Voor hoofdstuk 1 is één lesuur uitgetrokken. We denken aan een oriënterend klasseggesprek over (on)veiligheid en (on)zuinigheid in het verkeer: wat weten we ervan, wat interesseert ons, wat komt er in het thema aan de orde? Het is van belang ook de beperkingen aan te geven. Sterk in motortechneek geïnteresseerden moeten we teleurstellen: zover gaat het thema niet. De suggesties links bovenaan blz. 9 zijn vooral persoonlijk bedoeld - klassikaal kunnen we niet veel aandacht besteden aan "verkeersnieuws".

Aanvullende gegevens

Om het belang van de aandachtspunten veiligheid en zuinigheid te accentueren kan het nuttig zijn de leerlingen wat cijfermateriaal te laten zien over het verkeer in Nederland. In bijlage I₃ geven we enkele voorbeelden, die bijv. door middel van transparanten gepresenteerd kunnen worden.

Ervaringen

Sommige leraren laten hoofdstuk 1 van te voren doorlezen en besteden er in de les weinig tijd aan. Waar er wel een lesuur aan besteed werd, verliep dat plezierig; op een school gaf het historische stukje aanleiding tot het maken van een tijdbalk op het bord, in samenspraak met de klas.

De commentaren van leerlingen variëren sterk: *had ik gisteren al gelezen en ik had het interessant gevonden*, *over dit hoofdstuk moet je toch niks weten*, *eigenlijk overbodig*, *wel leuk want dan weet je tenminste waar je de dingen die je doet op toe kunt passen*.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

C.2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

Bedoeling

In dit hoofdstuk willen we de leerlingen op een grotendeels nieuwe en voor hen eerst nog vreemde manier leren kijken naar bewegingen. Het gaat hier om de confrontatie tussen straatbeeld en schoolbeeld (zie B.1. en B.2.) toegespitst vooral op het traagheidsprincipe, de relativiteit van rust en beweging en het samengaan van actie en reactie. We mogen van de leerlingen geen snelle en volledige "bekering" verwachten, maar we trachten een heroriëntatie op gang te brengen die doorwerkt bij het eigen onderzoek in de hoofdstukken 3 en 4. Later, in hoofdstuk 6, komen we op de in hoofdstuk 2 geïntroduceerde principes terug. Het kan goed zijn de leerlingen op de voorlopigheid van deze introductie te wijzen: het gaat om moeilijke begrippen en regels, waaraan je nog moet wennen door er in het vervolg van het thema mee te werken.

Lessenplan

We denken aan een besteding van 4 lesuren, ongeveer als volgt te verdelen:

- een les over snelheid en snelheidsmetingen (2.1 en 2.2), met demonstratie van een tijdtikker;
- een les over vertraging en versnelling (2.3) met eventueel een valtijdmeting;
- een les over de krachten in het verkeer (2.4, 2.5 en 2.6) met een demonstratie over actie en reactie. Bij deze les is de videoband "krachten" goed te gebruiken; meer hierover na 2.4 (blz. 23).
- een les over het traagheidsprincipe (2.7 en 2.8) met demonstratie van de luchtkussenbaan, en een zeer voorlopige introductie van $F = m \cdot a$ als "rekenregel" voor de kracht bij remmen (2.9).

Ervaringen

Bovenstaand lessenplan blijkt haalbaar, als leerlingen een redelijke tijd (20 á 30 minuten) aan hun huiswerk besteden. Sommige leraren laten wat meer opgaven in de klas maken of behandelen 2.4 t/m 2.9 uitvoeriger, waardoor het benodigde aantal lesuren kan oplopen tot 5 of 6.

Over het algemeen vinden leerlingen dit hoofdstuk interessant en redelijk duidelijk. Moeilijke punten zullen we bij de afzonderlijke paragrafen bespreken.

2.1 AFSTAND, TIJD EN SNELHEID

Deze paragraaf biedt de leerlingen een eenvoudige instap in het hoofdstuk. Ze moeten wat rekenen en ook wel nadenken, maar op een praktische manier. In de opgaven komen op informele wijze kwesties van meetonzekerheid en afronding aan de orde, waarmee de leerlingen bij hun eigen onderzoek in hoofdstuk 3 en 4 nog wel meer te maken krijgen.

Opmerkingen bij de vragen

1. De gemiddelde snelheden zijn, aangenomen dat de stoptijden in Delft, Tilburg en Helmond 1 minuut bedragen: Den Haag CS-HS 0, HS-Delft 90, Delft-Rotterdam 76, Rotterdam-Dordrecht 86, Dordrecht-Breda 90, Breda-Tilburg 97, Tilburg-Eindhoven 97, Eindhoven-Helmond 87 en Helmond-Venlo 102 km/h. Het is de leerlingen hopelijk duidelijk dat deze resultaten vrij ruw zijn, vooral bij kleine afstanden en tijden.

Met s - t diagrammen zullen we in het thema verder niet werken, maar wel met v - t diagrammen, waarin de leerling ook een meer of minder snelle aangroei van een grootte ziet weergegeven in het meer of minder steil oplopen van een

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

lijn.

2. 50 km/h = 13,9 m/s. Uit een oogpunt van veiligheid: dit komt ongeveer overeen met drie autolengten of twee straatbreedten per seconde.

3. 330 m/s = 1188 km/h, in de luchtvaart ook wel aangeduid als 1 mach.

4.a. Extra afstand die de Fiat moet afleggen is $20 + 10 + 2 \times 5$ meter; relatieve snelheid 20/3,6 m/s, dus inhaaltijd 7,2 s.

b. Afgelegde afstand $100/3,6$ m/s $\times 7,2$ s = 200 m.

c. Tweemaal de afstand in b, dus 400 m. Laat de leerlingen op weg naar huis eens bekijken hoever zo'n 400 meter is.

5. Het eenvoudigst is een ijking m.b.v. kilometer- en hectometerpaaltjes langs de weg. Je kunt ook de fiets op zijn kop zetten, een aantal omwentelingen aftellen en vermenigvuldigen met $2\pi r$.

6. Bij een profielafslijting van 2 mm en een buitendiameter van 70 cm wordt de afwijking 0,6%, overeenkomend met ongeveer 6 meter per kilometer.

Een soortgelijke afwijking kan veroorzaakt worden door een zachte band.

Verder maakt het uit op welk wiel de teller is gemonteerd: je voorwiel legt als gevolg van de onvermijdelijke kleine slingeren een wat langere weg af.

Ervaringen

Vraag 1 vergt vaak meer tijd dan verwacht was. Enkele aanwijzingen vooraf blijken nuttig: "traject" is de weg tussen op opeenvolgende stations; neem aan dat de trein in Delft, Tilburg en Helmond 1 minuut stilstaat; zet de tijd horizontaal met 1 cm voor 10 minuten: 8.40, 8.50 en 9.00 enz.; de afgelegde weg verticaal met 1 cm voor 10 km. Schets eventueel een stukje op het bord. Bij vraag 4 worden vaak de lengten van de auto's vergeten. De uitkomst van 4.c. is leerzaam: *dit had ik niet verwacht en ik denk dat een hoop automobilisten dit ook niet weten*. Sommige leerlingen hadden onverwacht veel moeite met "relatieve snelheid".

Bij vraag 6 hebben veel leerlingen moeite met de combinatie: zelf iets schatten en werken met percentages. Nuttig is een aanwijzing vooraf: schat de afslijting en druk die uit in een percentage van de straal (of neem de dubbele afslijting als percentage van de middellijn); de omtrek vermindert met hetzelfde percentage.

2.2 SNELHEIDSMETINGEN

Belangrijk is hier vooral de kennismaking met de tijdtikker en de uitwerking van een tikkerband. Leerlingen zullen hier gebruik van maken bij hun onderzoek in hoofdstuk 3. Daarnaast besteden we aandacht aan meetonzekerheid, zoals we ook in 2.1 al deden.

Opmerkingen bij de vragen

1.a. $\bar{v} = 20$ m/s = 72 km/h;

b. Tussen 19,6 en 20,4 m/s ofwel tussen 70,6 en 73,4 km/h;

c. Een meetonzekerheid van 0,01 s in de tijd komt overeen met een meetverschil van 20 cm in de afstand; een decimeter afwijking is nog acceptabel.

Ook bij fietsproeven in hoofdstuk 3 zal de afstandmeting niet heel nauwkeurig hoeven te zijn.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

2. Bij 54 km/h werkelijke snelheid is de afwijking ook relatief het grootst, nl. 11%. De snelheidsmeters van (brom)fietsen, die de leerlingen in hoofdstuk 3 en 4 gebruiken, kunnen overeenkomstige afwijkingen vertonen.

3. De foto is helaas nogal sterk verkleind. De lengte van de lat is vrijwel gelijk aan de afstand die de speelgoedauto in 6 tussentijden aflegt; snelheid dus $0,5/0,6 = 0,83$ m/s.

4. De gemiddelde snelheden (aangenomen dat de tikkerfrequentie 50 Hz is): 15; 32; 48; 81; 97; 112 en 127 cm/s; de verschillen variëren van 15 tot 17 cm/s.

Ervaringen

Bij vraag 1 is het nuttig vooraf te zeggen dat c los staat van a en b. Bij vraag 4 moet gewezen worden op het ontbrekende gegeven, anders nemen leerlingen soms 0,10 s aan als tijd tussen twee stippen. Sommige leraren laten een tabel maken van $\Delta s / \Delta t / \bar{v}$. Leerlingen vinden het wel leuk om zelf een strook te maken en die uit te werken. Bij het maken van een stroboscopische foto kunnen sommige leerlingen zich moeilijk iets voorstellen. Op een enkele school wordt dat gedemonstreerd, maar het kan ook al nuttig en leuk zijn om stroboscopische belichting van een bewegend voorwerp te laten zien.

2.3 VERTRAGING EN VERSNELLING

Zoals eerder uiteengezet (zie blz 10-12) willen we de kinematica zo beperkt en functioneel mogelijk houden. Voor een bepaald soort opgaven over remvertraging en remweg zou de formule $v^2 = 2as$ handig zijn, maar we prefereren een methode waarbij de leerling zich moet realiseren wat er gebeurt en dan enkele denkstappen moet combineren.

Bij de valbeweging is eventueel een demonstratie uit te voeren van valtijdmetingen met behulp van een elektrische of elektronische tijdmeteter.

Registratie met een tijdtikker is ook mogelijk; als gevolg van wrijving levert deze methode wat te lage waarden voor g .

Opmerkingen bij de vragen

1. Zowel de gemiddelde snelheid als de remtijd is nu tweemaal zo groot, dus de remweg wordt $15 \times 5 = 75$ m.

$$\left. \begin{array}{l} 2. \ v_0 = 15 \text{ m/s} \\ a = 6,2 \text{ m/s}^2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \longrightarrow \bar{v} = 7,5 \text{ m/s} \\ \longrightarrow t = 15/6,2 = 2,42 \text{ s} \end{array} \longrightarrow s_{\text{rem}} = 18 \text{ m}$$

3. Beginsnelheid, remtijd en gemiddelde snelheid voor de drie proeven

27,8 m/s	3,56 s	14,0 m/s	(remweg 50 m)
27,8 m/s	3,97 s	13,9 m/s	(remweg 55 m)
11,1 m/s	3,09 s	5,5 m/s	(remweg 17 m)

4.a. Uit het diagram afgelezen waarden van Δv resp. 80 km/h = 22,2 m/s; 30 km/h = 8,3 m/s en 14 km/h = 3,9 m/s; de gemiddelde versnellingen bedragen dus 2,22 m/s², 0,83 m/s² en 0,39 m/s².

b. Beter dan $(v_0 + v_{30}) : 2$ is $(v_0 + v_{10} + v_{20} + v_{30}) : 4$ enz.

c. Een ruwe schatting van de gemiddelde snelheid, $(v_0 + v_{10}) : 2$; zou geven 111 m; een al iets betere benadering, $(v_0 + v_5 + v_{10}) : 3$, geeft 120 m.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

De orde van grootte is belangrijk voor een automobilist die vanuit stilstand een weg wil oprijden waar een ander nadert met 80 km/h.

5. De gemiddelde snelheid is 2,0 m/s, de eindsnelheid 4,0 m/s; dit geeft $g = 10 \text{ m/s}^2$. Bij de proef met de vallende lat in 3.1 kan hiernaar terugverwezen worden.

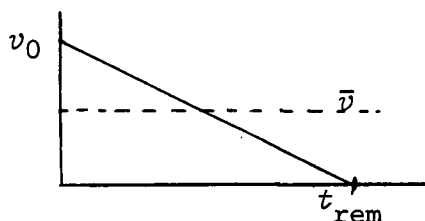
6. Dit is een lastige opgave die misschien maar het best als puzzel voor de slimmerds gepresenteerd kan worden. Volgens onze metingen zijn de opeenvolgende lengten 0,93; 1,05; 1,16; 1,27; 1,43; 1,59; 1,63; 1,80; 1,93; 2,02 en 2,18 cm. 150 cm op de lineaal is op de foto 17,7 cm. De omrekening van trajectlengte naar snelheid gebeurt met een factor 150/17,5 voor de schaal en een factor 30 voor de tijd. Dan nog het staafdiagram en de toepassing van

$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} \dots\dots\dots$$

Merkwaardig is dat de aangroei van de trajecten op de foto vooral bij de nummers 6 en 7 wat onregelmatig is.

Ervaringen

De stap van het voorbeeld naar de vragen is voor veel leerlingen nogal groot; als tussenstap kunnen enkele vragen dienen als "een fietser remt in 2 s van 18 km/h tot stilstand, eenparig vertraagd - hoe groot is de vertraging en hoe lang is de remweg", "een trein remt van 30 m/s tot stilstand met constante vertraging 1 m/s^2 - bereken de remtijd en de remweg. Bij zulke vragen is het steeds nuttig het v - t diagram te schetsen, met de formules erbij:



$$s_{\text{rem}} = \bar{v} \cdot t_{\text{rem}}$$

$$\bar{v} = \frac{1}{2} v_0$$

$$a = \frac{v_0}{t_{\text{rem}}}$$

Bij vraag 3 veroorzaakt het opschrift boven de figuur soms vergissingen: bij de derde proef is de snelheid niet 100, maar 40 km/h.

2.4 TEGENWERKENDE KRACHTEN

Deze paragraaf is een eerste kennismaking met de krachten die de leerlingen verderop telkens weer zullen tegenkomen. De leerlingen zullen wel even moeten wennen aan de dubbele rol van de kracht die het wegdek uitoefent op het voorwiel van je fiets: deze kracht werkt met de draaiing mee, maar tegen de beweging van de fiets als geheel in.

Opmerkelijk, haast onwaarschijnlijk, is de manier waarop de luchtweerstand afhangt van de vorm van een hindernis. Een interessante kwestie dus voor onderzoek met de windtunnel in hoofdstuk 4.

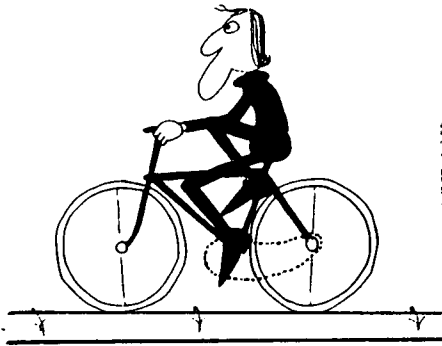
Opmerkingen bij de vragen

1 en 2. Een auto met geblokkeerde wielen is onbestuurbaar. Door pompenderemmen wordt dit voorkomen, terwijl de gemiddelde remmende kracht toch niet veel kleiner wordt. Bovendien laat men zo de remlichten aan en uit flitsen.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

BIJ 2.4 t/m 2.9: DE VIDEOBAND "KRACHTEN".



De videoband is bedoeld als inleiding op wat in de paragrafen 2.4 t/m 2.9 behandeld wordt. Het gaat om de aard van de voortstuwende en tegenwerkende krachten bij het fietsen, de factoren waar de grootte van die krachten van afhangt en vooral ook om het "evenwicht" tussen de krachten bij constante snelheid. De commentaartekst sluit grotendeels aan bij de spreektaal, met uitdrukkingen als "kracht zetten" en "de lucht opzij duwen".

Driemaal wordt een vraag gesteld, waarbij op het scherm het teken "stop de band" verschijnt.

De eerste vraag komt na de bespreking van de voortstuwende kracht, uitgeoefend door het wegdek, en de effecten die een tegenwerkende kracht opleveren; deze vraag gaat over het fietsen met constante snelheid:

I. Wat denk je: is de voortstuwende kracht veel groter dan de tegenwerkende kracht....of misschien een beetje groter....of zijn de krachten even groot?

De tweede vraag gaat over wat er gebeurt als je het evenwicht verbreekt door de voortstuwende kracht te vergroten:

II. De snelheid wordt groter en groter, maar op een gegeven moment neemt die snelheid niet meer toe. Hoe verklaar je dat?

De derde vraag betreft een meisje en een jongen die naast elkaar fietsen:

III. Wat gebeurt er als je met een ander gelijk op fietst? Zijn dan de tegenwerkende krachten voor beide fietsers even groot? Moet je allebei evenveel kracht zetten?

Misschien is het interessant om de band al direct na het begin stil te zetten, als het fietsende meisje heel even in beeld is geweest, en de leerlingen te vragen of ze zich iets kunnen voorstellen bij "tegenwerkende krachten" en "voortstuwende kracht".

Ervaringen

Doordat de band pas laat gereed kwam (jan '85) is hij nog maar op enkele scholen op de bedoelde manier gebruikt. Sommige leerlingen vinden de video te simpel of te lang, maar de meeste reacties waren positief: *hartstikke leuk*, *erg duidelijk*, *heel verduidelijkend*, *snap nu beter wat tegenwerkende krachten zijn*.

De speelduur van de band is 20 minuten; met de onderbrekingen voor discussie komt men op 30 à 40 minuten. Het is van belang elke vraag even te herhalen of in verkorte vorm op het bord te zetten. Bij vraag II is het de bedoeling dat de voortstuwende kracht constant wordt gehouden. In de uitleg na vraag II wordt echter gesuggereerd dat je die kracht zo ver mogelijk opvoert (top-snelheid - je kan niet harder trappen). Het is daarom goed in de discussie ook die situatie te betrekken. De uitdrukking "harder trappen" kan geassocieerd worden met "meer kracht" of ook met "meer snelheid"; dat kan verwarrend zijn. Het punt dat benadrukt moet worden is de toename van de luchtweerstand waardoor een nieuw evenwicht ontstaat.

Bij vraag III komen leerlingen soms met opmerkingen over achter elkaar fietsen of het feit dat de ene fiets zwaarder trapt dan de andere. De vraag moet dan toegespitst worden op de situatie uit de video: in hoeverre maakt het uit dat de jongen zwaarder en groter is?

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

2.5 VOORTSTUWENDE KRACHT

In deze paragraaf gaat het om het "zich afzetten" van schip, vliegtuig en fiets tegen resp. water, lucht en wegdek. Dat actie- en reactiekracht even groot moeten zijn komt pas in 6.3 aan de orde; hier wordt alleen aangegeven dat ze altijd samengaan en dat de reactiekracht voor de voortstuwing zorgt. Bij het schip is dat het best "invoelbaar" door het zichtbare achteruitslaan van het water door de schroef. Een demonstratie met een speelgoedbootje kan hierbij nuttig zijn. Het proefje bij vraag 3 is een nuttige demonstratie; de kraaltjes zijn in de tekening nogal groot uitgevallen.

Opmerkingen bij de vragen

1 en 2. De propeller werkt net als de scheepsschroef, wordt ook wel schroef genoemd. De naar achteren "geslagen" lucht oefent een reactiekracht uit naar voren. Een straalmotor stoot achterwaarts een straal verbrandingsgassen uit; deze gasstraal oefent de voorwaartse reactiekracht uit. Een propellervliegtuig heeft de omringende lucht nodig om zich tegen af te zetten, een straalvliegtuig niet. Wel gebruikt het straalvliegtuig lucht uit de omgeving voor de verbranding.

3. De actiekracht duwt het karton naar achteren, de reactiekracht duwt de auto naar voren. Het proefje kan associaties oproepen aan wat er gebeurt als een auto accelereert op een wegdek met los grint.

Ervaringen

Leerlingen vinden deze paragraaf moeilijk, maar wel de moeite waard: *ik vind het wel onwaarschijnlijk dat een propellervliegtuig vooruit gaat door lucht naar achteren te duwen en dat die lucht terug duwt waardoor het vliegtuig vooruit gaat*, *ik zou wel eens wat meer willen weten over de schroef van een boot, de propeller en straalmotor*.

2.6 DE INVLOED VAN DE ZWAARTEKRACHT

De volgorde vliegen, varen, rijden, is gekozen omdat de noodzaak van een dragende kracht het meest aanspreekt bij een vliegtuig. Dat ook een wegdek niet "passief" is, maar een dragende kracht moet uitoefenen is voor sommige leerlingen niet vanzelfsprekend, omdat het wegdek immers "niets doet". Dit heeft te maken met een intuïtieve koppeling van "kracht" met inspanning in het straatbeeld (zie blz. 8).

Bij het hellend vlak past het werken met het hellingspercentage goed in de context; bij sommige verkeerswegen staan borden die dit percentage aangeven. Bij de demonstratie met een wagentje op een hellende plank is het goed te wijzen op de extra meetonzekerheid die ontstaat als je een veerbalans niet verticaal houdt; dit in verband met latere proeven door de leerlingen zelf. De "hellingregel" zullen we verderop in het thema herhaaldelijk gebruiken.

Opmerkingen bij de vragen

1. De rotor van een helicopter slaat lucht naar beneden; deze lucht oefent een omhoog gerichte reactiekracht uit. Eventueel kan dit later in het thema nog gespecificeerd worden: volgens $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ moet de massa van de per seconde omlaag geslagen lucht maal de snelheidsverandering van deze lucht gelijk zijn aan het gewicht van de helicopter.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

Ervaringen

Sommige leerlingen hebben moeite met de eerste alinea. Die is ook wat moeilijk opgesteld; het gaat hier om een "praktijkregel" (los van de theoretische achtergrond): als je een voorwerp van 1 kg aan een veerbalans hangt, wijst die 9,8 newton aan, bij 2 kg $2 \times 9,8$ newton enz.

Bij de laatste alinea missen sommige leerlingen een meer algemene formulering in de trant van: " $p\%$ helling = p meter hoogteverschil per 100 meter rijden" en "helling $p\% \rightarrow$ extra kracht = $p\%$ van de zwaartekracht".

2.7 TRAAGHEIDSEFFECTEN

In verband met het straatbeeld (zie blz. 8 en 9) en passend bij de context koppelen we hier traagheid aan *blijven bewegen*. Het lijkt ons riskant om traagheid te omschrijven als verzet tegen snelheidsverandering. Vanuit het straatbeeld zou dit vervormd kunnen worden tot "verzet tegen beweging"; ook kan gedacht worden aan een tegenwerkende "kracht" waarmee het voorwerp zelf de verandering tegenwerkt. Met het oog op zulke misverstanden noemen we hier ook niet de op zichzelf aardige traagheidsproefjes waarbij stilstaande voorwerpen in rust blijven (bijv. snel wegtrekken van een boek uit een stapeltje).

Belangrijk is de demonstratie met de luchtkussenbaan. Het vele malen heen en weer glijden van een sleetje tussen elastische buffers (elastiek, stalen veren of afstotende magneten) is voor leerlingen die het niet eerder hebben gezien zeer verrassend. Door die verrassing kunnen de leerlingen ontvankelijk worden voor een herziening van schijnbaar vanzelfsprekende denkbeelden over het "vanzelf" tot stilstand komen van bewegende voorwerpen. De voorafgaande bespreking van de tegenwerkende krachten, in 2.4, heeft deze heroriëntatie al enigszins voorbereid.

Opmerkingen bij de vragen

1. Deze vraag kan eventueel aanleiding zijn voor een kleine demonstratie: een wagentje met een "passagier" erop, waar een sneller rijdend wagentje van achteren tegenaan botst.

Ervaringen

Verschillende traagheidseffecten zijn voor leerlingen herkenbaar: *zoiets als vraag 2.7.1 zie je ook wel eens op T.V. of merk je zelf in een auto wel, het tegengestelde dan bij remmen*.

2.8 KRACHTEN BIJ EENPARIGE RECHTLIJNIGE BEWEGING

Een verantwoording van de wijze waarop we in "Verkeer" het traagheidsprincipe gebruiken is gegeven op blz. 10. Het traagheidsprincipe is hier niet beperkt tot een theoretische uitspraak over een in de praktijk onmogelijke situatie, maar uitgebreid tot een werkprincipe dat bruikbaar is in heel alledaagse situaties. Door de voorafgaande bespreking van de tegenwerkende en de voortstuwende krachten in 2.4 en 2.5 kan de leerling zich bij F_{mee} en F_{tegen} iets voorstellen.

We hebben niet de illusie dat deze behandeling van het traagheidsprincipe als een injectie werkt die de leerlingen eens en vooral geneest van het straatbeeld. Leerlingen zullen geleidelijk het denkbeeld moeten ontwennen dat de voortstuwende kracht de tegenwerkende overwint en dus groter is.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

Het zal nodig zijn van tijd tot tijd te herhalen: als we de tegenwerking konden uitschakelen zouden we geen voortstuwing nodig hebben - denk aan het sleetje op de luchtkussenbaan.

Ervaringen

Verschillende leraren valt het op dat de leerlingen het uitgebreide traagheidsprincipe zo vlot accepteren, maar dan later, bij opgaven en proeven, weer dingen zeggen die in strijd met dit principe zijn. "Het is echt heel eenvoudig om ze ervan te overtuigen dat bij constante snelheid de voorwaartse kracht gelijk is aan de tegenkrachten. Maar uit zichzelf redeneren ze anders. Iedere keer wéér moet je stap voor stap de hele redenering opzetten en iedere keer wéér vinden ze die simpel. Maar iedere keer wéér zijn ze verbaasd over de uitkomst". Een voorbeeld: bij de sleepproef met een scheepsmodel (4.6) zegt een leerling: "het gewichtje was 10 gram, dus de wrijvingskracht moet in ieder geval minder zijn geweest. Hoe moet je die wrijvingskracht nu eigenlijk meten?"

Een leraar demonstreert bij deze paragraaf de beweging op een luchtkussenbaan van een sleetje waar van weerskanten, d.m.v. gelijke gewichtjes, even grote krachten op werken. Bij niet te kleine gewichten, i.v.m. katrolwrijving, en een niet te kleine beginsnelheid is geen verandering van snelheid te zien.

Stappen in een leerproces

Om het zicht op mogelijke begripsproblemen voor leerlingen te verscherpen kan het goed zijn het leerproces met betrekking tot de alledaagse beweging "fietsen" in een aantal stappen te onderscheiden:

- het wegdek oefent een tegenwerkende kracht uit op je voorwiel;
- de lucht oefent een tegenwerkende kracht uit, ook als het niet waait;
- hoe groter je snelheid, des te groter de luchtweerstand;
- om vooruit te komen moet je je ergens tegen afzetten;
- door te trappen laat je het wegdek een voorwaartse kracht uitoefenen op je achterwiel;
- de voorwaartse kracht hangt sterk af van de tegenkrachten;
- zonder tegenwerkende krachten zou er geen voorwaartse kracht nodig zijn;
- bij constante snelheid is de voorwaartse kracht gelijk aan de tegenwerkende krachten;
- de totale tegenkracht kun je meten door je met constante snelheid te laten voortslepen.

Al deze punten zijn behandeld in 2.4 t/m 2.8 en, met uitzondering van i, ook in de videoband. Naar het oordeel van de meeste leraren (gevraagd in 1983-84) zijn de stappen a, b en c vrij eenvoudig, d wat moeilijker, e heel moeilijk, f niet zo moeilijk, g, h, i heel moeilijk.

2.9 REMVERTRAGING EN REMMENDE KRACHT

Deze paragraaf is vooral bedoeld om de leerlingen vóór het eigen onderzoek in hoofdstuk 3 te attenderen op de rol van de massa bij remmen. We maken geen formeel onderscheid tussen "zware massa" en "trage massa"; voor een leerling in de vierde klas kunnen we volstaan met massa als "de hoeveelheid materiaal waaruit een voorwerp is opgebouwd". Waar het hier om gaat is naast de relatie tussen massa en gewicht een relatie te leggen tussen massa en benodigde remkracht (bij gegeven remvertraging).

Een tweede belangrijk punt met het oog op de remproeven in hoofdstuk 3 is de relatie tussen de maximale remmende kracht en het gewicht van het voertuig.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK
2. BEWEGINGEN EN KRACHTEN IN HET VERKEER

Voorwaarde daarbij is dat het remsysteem van het voertuig het mogelijk moet maken om de maximale wrijving tussen banden en wegdek ook inderdaad te benutten.

Deze kwesties hoeven hier nog niet volledig doorgepraat te worden; we kunnen erop terugkomen bij de rapportage aan het eind van hoofdstuk 3, nadat er remproeven met fietsen zijn uitgevoerd;

Opmerkingen bij de vragen

1. De leerlingen kunnen deze vraag beantwoorden vanuit 2.3 met gebruik van $F = m \cdot a$ als "rekenregel": een zesmaal zo kleine kracht F geeft een zesmaal zo kleine remvertraging a . Volgens $a = \Delta v / \Delta t$ is nu de benodigde remtijd zesmaal zo groot. De gemiddelde snelheid tijdens het remmen blijft gelijk aan de helft van de beginsnelheid; volgens $s_{\text{rem}} = \bar{v} \cdot t_{\text{rem}}$ is nu de remweg zesmaal zo groot.

Deze vraag kan eventueel, als de weersomstandigheden "gunstig" zijn, bij de uitvoering van remproeven op de fiets betrokken worden.

Ervaringen

Sommige leerlingen hebben de vraag snel door, maar anderen proberen tevergeefs remwegen te berekenen: *ik dacht dat het een echte som was met getallen, maar ik kon die getallen nergens vandaan halen*.

Het laatste stukje is voor velen moeilijk: *na 4x lezen begin ik het te begripen*.

Gelukkig is het niet alleen maar moeilijk: *het lezen van 2.4 t/m 2.9 vond ik interessant. Met zulke vragen heb je zelf ook te maken maar je weet eigenlijk helemaal niet wat er precies gebeurt. Je moet wel goed opletten met wat je leest, want het is wel moeilijk met al die natuurkundige termen*.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

3. VEILIG RIJDEN

c.3. VEILIG RIJDEN

Bedoeling

In dit hoofdstuk gaat het om veiligheidsaspecten: menselijke, natuurkundige en technische factoren die van belang zijn bij remmen en botsen. Deze aspecten kunnen ook via leesteksten en opgaven aan de orde gesteld worden, maar door zelf te experimenteren worden de leerlingen veel directer geconfronteerd met de realiteit van grootheden als remweg, beginsnelheid, kracht en massa, met de relaties tussen die grootheden en met de functie van veiligheidsgordel en kreukzone.

Wat natuurkundige *begripsvorming* betreft, gaat het vooral om het functioneren van de begrippen en regels, behandeld in hoofdstuk 2, in praktijkcontexten. De mogelijkheden voor onderzoek in praktijksituaties zijn beperkt; daarom dienen de modelproeven in 3.4. en 3.6 als "schoolcontext": vereenvoudigde situaties waarin dezelfde begrippen en regels aan de orde komen. Een belangrijk doel is ook het (verder) ontwikkelen van de *onderzoeksvaardigheden*, genoemd in B.3. (blz. 13). Daarbij wordt aangesloten op het thema "Vergelijken"; in 3.2 worden de leerlingen herinnerd aan het belang van een meetplan en aan de kwestie van meetonzekerheid.

De situaties zijn vrij complex; in 3.3 en 3.4 b.v. gaat het om vier variabelen: remweg, beginsnelheid, kracht en massa. De instructies zijn daarom tamelijk gesloten; in hoofdstuk 4 zal dat minder het geval zijn.

Lessenplan

Voor hoofdstuk 3 hebben we vier lesuren uitgetrokken. We stellen voor dat de leerlingen in parallelle groepen werken aan de onderzoeken in 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 (1 en 2) en 3.6 (3). De korte proefjes in 3.1 kunnen op geschikte momenten tussendoor worden gedaan. Paragraaf 3.2 functioneert het best als de leerlingen er tijdens hun onderzoek herhaaldelijk in lezen, zowel bij de voorbereiding als in de uitvoeringsfase en bij de uitwerking.

Vanuit deze overwegingen komen we tot de volgende indeling:

- een uur voorbereiding en enkele verkennende metingen om te zien wat de praktische mogelijkheden en beperkingen zijn;
- een uur uitvoering, met schatting van meetonzekerheden en voorlopige ordening van meetresultaten;
- een uur uitwerking, met eventueel controle van enkele metingen, en voorbereiding van een korte rapportage;
- rapportage van de verschillende groepen.

Eventueel kan men hierna of tussen de rapportages door een uur besteden aan de behandeling van enkele opgaven uit hoofdstuk 7, om een koppeling te leggen tussen de uitgevoerde onderzoeken en toepassing in andere situaties, voordat de leerlingen aan het onderzoek in hoofdstuk 4 beginnen.

Ervaringen

De experimenten worden over het algemeen met animo en met redelijke resultaten uitgevoerd, ongeveer volgens het bovenstaande lessenplan. Vaak worden 3.3 en 3.4 onderverdeeld: een groepje leerlingen onderzoekt het verband tussen remweg en beginsnelheid, een ander groepje het verband tussen remweg en remkracht enz. Soms wordt een experiment (3.4-1) klassikaal gedaan; ook worden de fotoseries (3.5-1 en 3.5-2) soms als opgaven voor de hele klas gebruikt. Zie voor variaties in werkwijze ook B.4.

Een belangrijk punt blijkt de controle op het meetplan; leerlingen hebben vaak de neiging om meteen aan het meten te gaan en kunnen dan later niet goed wijs uit de resultaten.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

3. VEILIG RIJDEN

Rapportages

Over de rapportages zijn in B.4. al enkele opmerkingen gemaakt. Vooral wanneer er veel groepen zijn is het van belang dat de rapportages kort en kernachtig zijn. Een korte samenvatting op een flap of een transparant is een goed hulpmiddel hierbij. Willen de leerlingen een tekening of grafiek op het bord maken dan is het raadzaam om ze eerst een keer te laten oefenen.

3.1 DE MENS IN HET VERKEER

Het meten van reactietijden vinden de leerlingen leuk en ook het resultaat interesseert ze: * bij mij was de snelste 0,17 s en de langzaamste 0,39*. Bij onverwachte situaties in het verkeer wordt dat allicht langer, b.v. 0,7 of 0,9 s.

Bij de proef met een personenweegschaal is een waarschuwing niet overbodig: ga voorzichtig met zo'n ding om. Sommige leerlingen interesseert zo'n krachtproef wel: *hier had ik met de handen 115 kg en met de voeten 135*, maar het aantal leerlingen dat de proef thuis uitvoert valt vaak wat tegen.

3.2 ONDERZOEK EN MEETONZEKERHEID

De ervaring leert dat de algemene richtlijnen in deze paragraaf de leerlingen weinig houvast geven in hun onderzoek. Elke proef levert een aantal specifieke problemen op, deels van school tot school verschillend - samenhangend met beschikbare apparatuur, experimenteerruimten en plaats voor de buitenproeven. Het best lijkt het als de leraar de punten "voorbereiding, uitvoering en uitwerking" bij elke proef wat nader omschrijft op een instructieblad. Daarin kan ook iets gezegd worden over het meetplan, tussentijdse controle en voorbereiding van de rapportage.

Sommige leraren vinden dat de "meetrechthoekjes" niet goed begrepen worden. Misschien helpt het om, zoals een leraar doet, bij blz. 27 een aanvullend voorbeeld te geven op het gebied van verkeer:

"Stel dat je de remweg wilt weten bij beginsnelheid 20 km/h. Je doet vier metingen; de snelheden zijn 20; 21; 20 en 20 km/h; de bijbehorende remwegen 10; 11; 10,5 en 9,8 meter". Volgt een tabel, berekening van gemiddelden en meetonzekerheden, uitkomsten in een diagram van remweg tegen beginsnelheid. Zo'n voorbeeld dient meteen om aan te geven dat het van belang is elke meting enkele malen te herhalen.

3.3 REMMEN OP DE FIETS

De ervaring heeft geleerd dat leerlingen de fietsproeven erg leuk en leersaam vinden. Er moet wel gelet worden op veilige uitvoeringsomstandigheden en gezorgd dat vooraf voldoende duidelijk is, wat er tijdens de proeven moet worden gedaan en wat er dient te worden gemeten.

Alle punten door dezelfde groep(en) laten doen is wel teveel van het goede; de aardigheid gaat eraf en de resultaten raken door elkaar.

Leerlingen prefereren de versie met de snelheidsmeter; deze geeft ook betere resultaten doordat de snelheid een aantal keren "ingesteld" kan worden op een bepaalde waarde en de gekozen waarden op een geschikte manier gespreid kunnen worden. Wel bleek op een school dat de snelheidsmeters nogal eens kapot gingen, waarschijnlijk door slordigheid bij het monteren en demonteren

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

3. VEILIG RIJDEN

op de verschillende fietsen. Hier en daar is de proef ook met een brommer gedaan: *omdat de school geen kilometerteller heeft en het op een andere manier niet zo goed gaat*.

Bij het variëren van de massa (punt 3) is het gunstig als de leerlingen flink in massa verschillen; zo niet, dan is er misschien iets met ballast te doen.

3.4 REMMEN IN EEN "LABORATORIUMSITUATIE"

Ondanks de bespreking van de tijdtikker in 2.2 en de daarbij gemaakte opgave, hebben veel leerlingen eerst nogal moeite met de methode. Ze zijn vaak een hele tijd bezig voordat er echt gemeten kan worden. Ook hier kan het beter zijn een goede uitvoering te vragen van één onderdeel van de proef dan een oppervlakkige uitvoering van alle onderdelen.

Wat betreft de reminrichting die op de karretjes moet worden aangebracht verwijzen we naar blz. 90. Op een school, waar men aangewezen was op geleende karretjes zonder rem, werd de proef gewijzigd in een "uitrijproef", waarbij d.m.v. een strook tapijt gezorgd werd voor een flinke wrijving; het variëren van de kracht gebeurde d.m.v. verschillende soorten tapijt.

Bij punt 3 moeten de leerlingen wel controleren of het karretje na wijziging van de massa wel weer dezelfde beginsnelheid krijgt bij het afrijden van de helling. (De potentiële energie neemt bij gegeven hoogte wel evenredig toe met de massa, de rolwrijving ongeveer ook, maar de wrijving in de tikker en het effect van de rotatie van de wielen niet).

Het is mogelijk de proef zonder helling uit te laten voeren: de leerlingen brengen het wagentje met een flinke zet in beweging, laten het remmen en zoeken naderhand op de tikkerstrook een stukje waar het wagentje een geschikte beginsnelheid had; van daaraf wordt de "remweg" gemeten. Voor leerlingen doet zo iets echter gauw wat gekunsteld aan; de versie in het boek lijkt meer op de echte situatie die in 3.3 wordt onderzocht en die er in de rapportage mee kan worden vergeleken.

3.5 TNO-BOTSINGSONDERZOEK

Het uitwerken van de fotoseries geeft nogal problemen: *moeilijk omdat je niet precies wist wanneer de bestuurder stil stond. Is dat wanneer de gordel maximaal is uitgerekt of wanneer hij niet meer beweegt?*. Er is nogal wat uitleg nodig; sommige leraren geven dan ook de voorkeur aan een klassikale behandeling van dit gedeelte.

Uitwerking eerste fotoserie. Na de vierde foto gaat de auto langzaam terug; laten we aannemen dat hij net op de vierde foto tot snelheid 0 was afgeremd. De afremming duurde dus $3 \times 1/64$ s. De afstand die de auto in die tijd aflegde komt naar schatting overeen met 1,3 muurtegel = 39 cm; de extra afstand waarover de bestuurder vooruitschoof is ongeveer 15 cm. De totale remweg is dan 54 cm. De uitkomst voor de gemiddelde kracht is, afhankelijk van de gebruikte formule, 22,2 kN of 13,4 kN. Dat is 20 à 30 maal het gewicht van de "bestuurder".

Deze uitkomst in combinatie met de eigen krachtmeting uit 3.1, alsook het verschil tussen de twee fotoseries, geeft duidelijk het belang van veiligheidsgordels aan. *Dankzij ons onderzoek heb ik nu de echte werking van autogordels geleerd en dat is het verlengen van de tijd waarin je lichaam tot stilstand komt en hierdoor wordt de kracht op je lichaam (die toch al erg groot is) kleiner*.

3.6 BOTSSEN IN EEN "LABORATORIUMSITUATIE"

De punten 1 en 2 geven weinig problemen. (Eenmaal gebruikte een leerling een veerbalans als kreukzone.) Bij 1 is het goed erop te wijzen dat al bij betrekkelijk lage snelheid, in verhouding tot autosnelheden, de maximale afremkracht gelijk wordt aan het gewicht van de pop. Dit punt komt minder tot zijn recht als men een blokje gebruikt in plaats van een pop. Bij punt 2 gaat het erom een goede tussenvorm te vinden tussen constructies die te gemakkelijk en constructies die te moeilijk meegeven.

Voor punt 3 is nog geen echt bevredigende oplossing gevonden. Op blz. 91 zijn bijzonderheden gegeven over een eenvoudige krachtopnemer; een probleem blijft echter dat het oppervlak onder de $F-t$ grafiek nogal verschillend uitvalt, ondanks gelijke impuls, en dat de apparatuur moeilijk hanteerbaar is voor leerlingen.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

4. ZUINIG RIJDEN

C.4. ZUINIG RIJDEN

Bedoeling

In dit hoofdstuk gaat het om zuinigheidsaspecten: menselijke, natuurkundige en technische factoren die van invloed zijn op het verbruik van voedsel of brandstof bij het rijden of varen. Het ligt voor de hand dat het energieverbruik, bij gegeven afstand, afhankelijk is van de grootte van de tegenwerkende krachten. Daarom onderzoeken we hier hoofdzakelijk die tegenwerkende krachten.

Wat natuurkundige *begripsvorming* betreft, gaat het enerzijds om het voorbereiden van de behandeling van arbeid en energie in hoofdstuk 5, anderzijds om het toepassen van de begrippen en regels uit hoofdstuk 2. Bij dit laatste staat het (uitgebreide) traagheidsprincipe centraal, omdat we voornamelijk meten bij constante snelheden.

Wat de *onderzoeksvaardigheden* betreft gaan we wat verder dan in hoofdstuk 3, in die zin dat de instructies meer ruimte laten voor eigen initiatief. De leerlingen formuleren zelf onderzoeksvragen, kunnen eigen varianten bedenken en eigen oplossingen voor de praktische problemen die ze tegenkomen.

Belangrijk is ook hier dat de leerlingen een goed meetplan maken en dat de leraar het controleert.

Lessenplan

Voor hoofdstuk 4 zijn drie lesuren bestemd, als volgt te verdelen:

- een uur voorbereiding en verkennende metingen; 4.1 raadplegen om een idee te krijgen van de te onderzoeken krachten;
- een uur uitvoering, met schatting van meetonzekerheden en voorlopige ordening van meetresultaten;
- een uur uitwerking, waarbij elke groep enkele belangrijke punten op een flap schrijft; informele uitwisseling op een 'markt' waar de leerlingen elkaar informeren over wat ze gedaan hebben.

Als de uitwisseling in het gedrang komt, kunnen we bij de behandeling van hoofdstuk 5 aan de hand van de flappen op de onderzoeksresultaten terugkomen.

Ervaringen

In het algemeen verloopt deze periode wel goed, maar er zijn aanzienlijke verschillen in de kwaliteit van het werk en de waardering door de leerlingen. Ten dele zal dit samenhangen met het feit dat sommige leerlingen een zekere vrijheid van werken prettig vinden, terwijl anderen maar liefst volgens duidelijk recept een gegeven taak afwerken. Daarnaast kunnen ook de voorzieningen op school en geschikte omstandigheden voor buitenproeven een belangrijke rol spelen. Een voorbeeld: aan de windtunnelproef wordt veelal met enthousiasme gewerkt, maar de proef kan erg tegenvallen als er b.v. een groep van 7 leerlingen aan wordt gezet: *één van ons draaide aan een knop en een ander schreef de getallen van het resultaat op. Dus er was eigenlijk geheel niets boeiends aan*.

Zoals bij 2.8 al is opgemerkt, verdient ook de theoretische basis nog wel de nodige aandacht. Bij de proeven waar iets met constante snelheid wordt voortgetrokken hebben leerlingen nog sterk de neiging om te denken dat de voorwaartse kracht groter moet zijn dan de tegenwerkende.

4.1 ROLWRIJVING EN LUCHTWEERSTAND

In hoofdstuk 2 zijn de tegenwerkende krachten al kort besproken; hier gaat het om een precisering vooral van het verband tussen tegenkrachten en snelheid.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

4. ZUINIG RIJDEN

Ook na hoofdstuk 4 zullen we hier herhaaldelijk op terugkomen.

Voor de leerlingen kan het prettig zijn enkele hoofdpunten in de tekst op blz. 42 te markeren of samen te vatten:

- rolwrijving praktisch onafhankelijk van de snelheid
- luchtweerstand neemt toe met kwadraat van de snelheid
- rolwrijving evenredig met het gewicht mg
- rolwrijvingscoëfficiënt = $\frac{\text{rolwrijving}}{\text{gewicht}}$

4.2 ROLWRIJVING BIJ FIETSEN

Het hoogteverschil Δh is de afstand waarover het zwaartepunt van het systeem fietser + fiets daalt. Het begrip zwaartepunt wordt in "Verkeer" niet gebruikt en een bepaling van het zwaartepunt zou hier ook niet eenvoudig zijn (iets met twee personenweegschalen; onder elk wiel één?). Maar de leerlingen zullen het niet onredelijk vinden om uit te gaan van "midden tussen de wielen".

Het hellingverhaal wordt door veel leerlingen moeilijk gevonden. Een leraar laat de leerlingen met een lage snelheid aanfietsen en dan uitrijden; de rolwrijving is dan te bepalen uit de vertraging.

De sleepmethode leent zich het gemakkelijkst voor allerlei varianten. *Onze onderzoeksvragen waren: ^{1/} de invloed van het gewicht op de rolwrijving, ^{2/} de invloed van het wegdek, ^{3/} de invloed van harde/zachte banden.....drie verschillende ondergronden: tegels, gras(nat), zand(nat). * Ook wordt soms nagegaan hoeveel effect het inschakelen van de dynamo heeft.

4.3 TOTALE WEERSTAND BIJ FIETSEN

Het principe van dit onderzoek is eenvoudig, maar er kunnen diverse complicaties optreden, vooral door wind. De windsnelheidsmeter uit "Weersveranderingen" kan hier goede diensten bewijzen.

De leerlingen moeten een keus maken voor de lengte van het sleeptouw; is de afstand tussen de fietsen klein, dan rijdt de gesleepte fietser in de "wind-schaduw" van degene die sleept.

Behalve de invloed van de snelheid op de weerstand kunnen de leerlingen ook de invloed van het frontale oppervlak onderzoeken door de gesleepte fietser de ene keer rechtop te laten zitten en de andere keer voorovergebogen.

Belangrijk is hier dat de leerlingen ook metingen doen bij een snelheid in de buurt van 0; anders zijn ze geneigd aan te nemen dat de weerstand nul wordt, dus dat de grafiek door de oorsprong moet gaan.

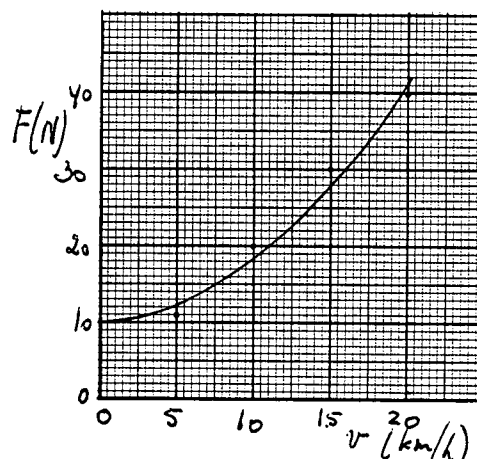
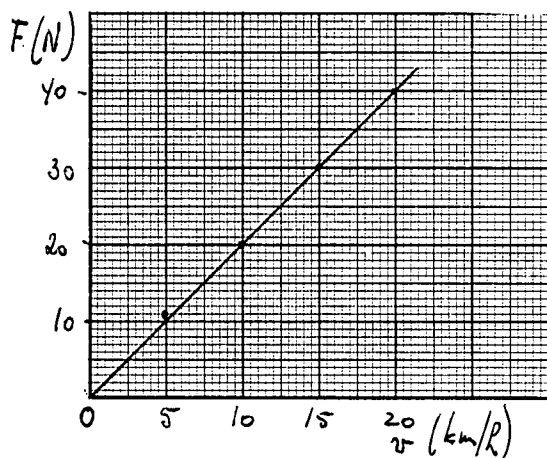
C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

4. ZUINIG RIJDEN

Een praktijkvoorbeeld:

snelheid	weerstand
5 km/h	11 N
10 "	20 N
15 "	30 N
20 "	40 N

Hieronder links de grafiek van de leerlingen; rechts een grafiek op basis van een constante rolwrijving en kwadratisch met de snelheid toenemende luchtweerstand.



Een leraar vervangt de sleepproef door een uitrijproef, waarbij het verloop van de snelheid als functie van de tijd wordt bepaald en de totale tegenwerkende kracht wordt afgeleid uit de vertraging. Volgens zijn ervaringen kunnen de leerlingen na enige uitleg deze methode behoorlijk toepassen; bovendien is op deze manier ook de totale weerstand bij een brommer of een auto te bepalen.

4.4 BENZINEVERBRUIK VAN EEN BROMFIETS

Ook bij deze proef kan de wind voor complicaties zorgen. Daarnaast moet de leerling die rijdt zich strikt houden aan veiligheidsvoorschriften. Behalve de invloed van de snelheid kan ook onderzocht worden, hoeveel extra benzine het kost als je een aantal malen afremt tot (bijna) stilstand en daarna weer optrekt.

We zijn met een brommer naar een fietspad gegaan waar om de 100 meter een paaltje staat. De rijder had een plank op de rug met daarop een rubberslang met een maatverdeling in cm^3 . Het meten gaf wat moeilijkheden omdat we een damesbrommer hadden zodat (als je achterop zat) je moeilijk af kon lezen. Verder leverde dit onderzoek geen problemen op. (De "rubberslang" zal wel van plastic geweest zijn.)

Opmerkelijk is dat volgens de metingen van diverse groepen de snelheid maar weinig invloed heeft op het benzineverbruik. Vermoedelijk is dit toe te schrijven aan een hoger rendement van de motor bij hogere snelheden of ook aan kleinere overbrengingsverliezen bij het rijden in een hogere versnelling.

Een duidelijk en voor leerlingen vaak verrassend verschil wordt wel gevonden tussen rijden met constante snelheid en met sterk wisselende snelheid. Ook wordt een duidelijke toename van het verbruik geconstateerd bij het rijden over gras of met halflege banden.

4.5 LUCHTWEERSTAND BIJ EEN AUTO

De eigen windtunnel, ontwikkeld door de PLON-technici, blijkt in de praktijk uitstekend te functioneren. Bij nauwkeurig meten komt het verband tussen kracht en snelheid er behoorlijk uit en de gevonden c_w -waarden voor de modellen komen aardig overeen met die voor de originele auto's. De associatie met echte auto's en met echt laboratoriumonderzoek werkt motiverend. Het bezig zijn met professioneler materiaal, zegt een leraar, leidt ook tot een serieuzere houding. Leerlingen komen ook hier met eigen varianten: invloed van bagage op het dak, portier open, verandering van de vorm m.b.v. plasticine. Ook wordt wel, in verband met het behandelde in 2.4, gemeten aan vlakke plaat, hele en halve bol e.d. Zie verder de apparatuurgids (blz 99)

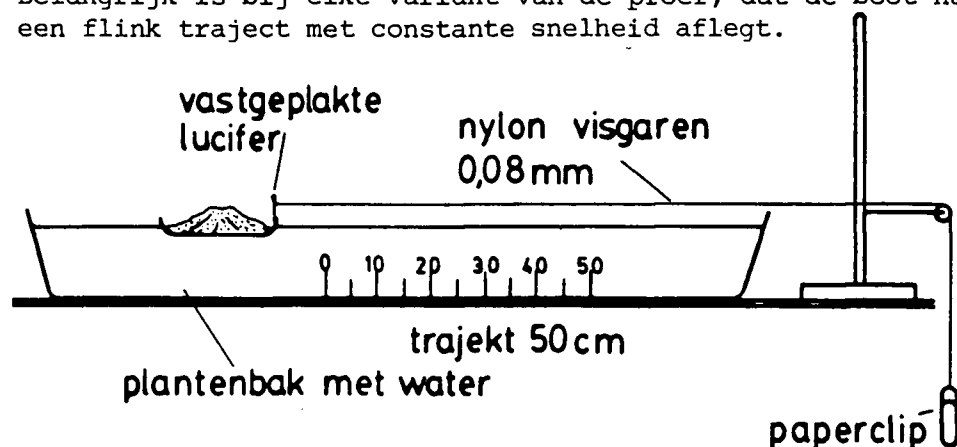
4.6 STROMINGSWEERSTAND BIJ EEN SCHIP

De tegenwerkende kracht die water uitoefent op een bepaald schip hangt af van de diepgang en van de snelheid. Bij vergelijking van schepen of modellen onderling blijkt de invloed van de vorm en de grootte van het onderwaterschip. Er is geen eenvoudige formule te geven voor de kracht; vooral de vorming van golven brengt allerlei complicaties met zich mee. Voor een model-onderzeeboot zou de situatie eenvoudiger zijn. Een complicatie blijft ook dan dat de stroming zowel laminair als turbulent kan zijn, afhankelijk van vorm en snelheid. Ook maakt het uit of het model gesleept wordt in een wijde of nauwe goot. Maar al zulke complicaties doen zich in de praktijk van de scheepvaart ook voor. De leerlingen kunnen hier verschillende keuzes doen, b.v.:

- invloed van de diepgang (belading van de boot) op de snelheid, bij constante trekkracht
- invloed van de trekkracht op de snelheid, bij vaste belading
- vergelijking van verschillende rompvormen met gelijk frontaal oppervlak, door vergelijking van de snelheden bij gelijke trekkracht of door vergelijking van de krachten nodig voor eenzelfde snelheid.

Voor a. en b. is recent een geschikte methode beschreven ¹⁾ waarbij een plastic plantenbak werd gebruikt als sleeptank, een plastic fritesbakje als boot en droog zilverzand als lading. De trekkracht werd in stappen van 5 mN opgevoerd d.m.v. paperclips. Bij vaste belading werd met behoorlijke nauwkeurigheid gevonden: $v^2 \sim F$.

Belangrijk is bij elke variant van de proef, dat de boot na het versnellen nog een flink traject met constante snelheid aflegt.



¹⁾ H. Joosten, Onderzoek naar de relatie tussen stuwkracht en vaarsnelheid, NVON-maandblad, 10-3, p. 29 (1985). (Zie blz. 107 en 108 van deze hand-leiding.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

5. PRESTATIES

C.5. PRESTATIES

Bedoeling

In het voorafgaande hebben we het begrip kracht gehanteerd als sleutel voor het onderzoek naar veiligheid en zuinigheid in het verkeer. In dit hoofdstuk gaan we nog een tweede sleutelbegrip hanteren: energie. De koppeling tussen kracht en energie brengen we aan via het begrip arbeid.

Deze uitbreiding van het natuurkundige begrippenkader dient mede om praktische informatie over motorvermogen, brandstofverbruik e.d. te interpreteren.

In het thema "Elektrische Machines" komen begrippen als vermogen en rendement opnieuw aan de orde en in "Energie en Kwaliteit" zullen we energieomzettingen in een breder kader behandelen.

Wat de begripsvorming betreft: de begrippen arbeid, vermogen en kinetische energie maken deel uit van het conglomeraat "kracht" in het straatbeeld. Sporen daarvan zijn nog lang in de vaktaal aanwezig gebleven, bijv. in de "paardekracht" als eenheid van vermogen en in de naam "levende kracht" voor kinetische energie. De behandeling van deze begrippen in een context van bekende verschijnselen zal, hopen we, de leerlingen helpen bij het leren onderscheiden van "kracht" in kracht die wordt uitgeoefend, arbeid die wordt verricht en vermogen dat wordt geleverd, en energie die wordt omgezet.

Lessenplan

Voor dit hoofdstuk zijn twee lesuren beschikbaar, als volgt te verdelen:

- een lesuur voor 5.1, met een koppeling aan onderzoeksresultaten in hoofdstuk 4, gevolgd door 5.2 en 5.3;
- een lesuur voor 5.4, met een eventuele terugkoppeling naar 4.4, en 5.5.

Ervaringen

De leerlingen vinden dit een moeilijk hoofdstuk: *erg moeilijk en veel omvattend*, *veel formules te leren*. Eventueel kan 5.3 overgeslagen worden, omdat dit niet tot het verplichte programma behoort, maar ook dan is een behandeling in 2 lesuren nauwelijks haalbaar. In de praktijk wordt er een lesuur extra, of zelfs twee, uit de "reserve" (zie B.4) aan besteed.

Op sommige scholen werken de leerlingen in groepen dit hoofdstuk door; groepsleden spreken onderling af wat ze als huiswerk zullen doen; in de klas kunnen groepen ook bij elkaar te rade gaan.

5.1 DE VERRICHTE ARBEID.

We beperken ons hier voorlopig tot arbeid verricht door voorwaartse krachten; in 5.5 resp. 6.5 breiden we de definitie uit tot tegenwerkende en dwarse krachten. In eerste instantie verbinden we de uitdrukking $m \cdot g \cdot \Delta h$ nog alleen met de benodigde extra kracht bij het oprijden van een helling; over arbeid verricht door de zwaartekracht spreken we pas in 6.5.

Door deze beperking en door de koppeling vooral met de fietssleepproeven vergemakkelijken we de introductie van het begrip arbeid aanzienlijk en ook de hierna volgende invoering van het begrip vermogen.

Opmerkingen bij de vragen

1, 2 en 3. Deze vragen zijn bedoeld om de ervaring van geleverde prestatie

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

5. PRESTATIES

Bij het fietsen te verbinden met metingen en schattingen van de verrichte arbeid in natuurkundige zin.

4. De door de leerlingen zelf verkregen resultaten kunnen nogal uiteenlopen; daarom werken we hier met een geïdealiseerd proefresultaat ($F = 5 + 0,3 v^2$). Uitkomsten a. 5,0 kJ per km; b. 5,3 kJ per km, 9,3 kJ per km en, door extrapolatie, 14,5 kJ per km.

Ervaringen

Het begrip arbeid is niet echt moeilijk, maar leerlingen moeten er wel aan wennen; vooral opgave 3 wordt in eerste instantie lastig gevonden. De verbinding met eigen ervaring wordt wel gewaardeerd: *leuke opgaven omdat het betrekking tot jezelf heeft*, *erg interessant om te weten hoeveel arbeid je verricht als je een helling opgaat of gewoon op een vlakke weg*.

5.2 HET BENODIGDE VERMOGEN

De leerlingen zijn het begrip vermogen en de eenheid watt eerder tegengekomen in de context van elektrische apparaten. De toepassing op de prestatie die je zelf levert bij het fietsen zal voor de meesten nieuw zijn en wat de getalwaarden betreft ook wel verrassend.

Opmerkingen bij de vragen

1. De vermelding van de 'paardekracht' past wel in de context verkeer, echter niet de toepassing van het traagheidsprincipe op het ophijsen van een last. Prijs de leerlingen die bedenken dat de hijskracht precies gelijk moet zijn aan $m \cdot g$.
2. Doel van deze vraag is vooral aan te geven dat 'een constante kracht uitoefenen' nog niet betekent 'een constant vermogen leveren'.
3. De besparing zit vermoedelijk meer in luchtweerstand dan in de rolwrijving, misschien iets om uit te zoeken in de keuzeperiode (zie blz. 72 themaboek).

Ervaringen

Jammer dat hier niet wat eenvoudige "vingeroefeningen" gegeven worden om de leerlingen aan de nieuwe regels te laten wennen.

Suggestie: laat de leerlingen in de volgende tabel arbeid en vermogen berekenen van een fietser. De gegevens komen overeen met die bij opgave 4 van 5.1; de uitkomsten voor het vermogen zijn terug te vinden in het diagram bij vraag 2. Ook is in de ingevulde tabel te zien dat de berekening met $W/\Delta t$ hetzelfde resultaat oplevert als met $F \cdot v$.

snelheid (m/s)	benodigde kracht (N)	arbeid per km (J)	benodigde tijd (s)	vermogen (W)
2	6,2	$6,2 \cdot 10^3$	500	12,4
3	7,7			
4	9,8			
5	12,5			
6	15,8			

5.3 DE OVERBRENGING VAN SNELHEID EN KRACHT

Deze paragraaf vestigt de aandacht op een belangrijk technisch aspect van

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

5. PRESTATIES

verkeer, dat eventueel in de keuzeperiode nader kan worden onderzocht (blz. 73, themaboek). Ook wordt hier duidelijk dat de voorwaartse kracht wel tot stand komt door de kracht waarmee je trapt, maar niet eraan gelijk is.

Opmerkingen bij de vragen

1. Uitkomst: 19 km/h. Een vraag als deze kan wellicht leerlingen stimuleren om tijdens het naar huis fietsen nog wat practicum te doen.

Ervaringen

Deze paragraaf is erg compact en moeilijk, maar voor sommige leerlingen heel interessant: *ik vind het ontzettend leuk te weten wat de versnelling inhoudt, wat de nadelen zijn van een fiets zonder versnelling en te weten hoe een versnellingsbak van een auto in elkaar zit en als je van de ene naar de andere versnelling overschakelt wat er dan gebeurt*.

Suggestie: als deze paragraaf niet verplicht wordt gesteld, laat dan toch even zien, m.b.v. een model van een overbrengingssysteem of met een echte fiets, waar het om gaat: langzamer draaien met meer kracht of sneller met minder kracht. Wat je wint met het ene, verlies je met het andere: er komt evenveel vermogen uit (afgezien van wrijvingsverlies) als je er in stopt.

5.4 BRANDSTOFVERBRUIK EN RENDEMENT

In krantenartikelen en advertenties kunnen de leerlingen regelmatig getallen vinden voor het brandstofverbruik van auto's. Voor wie het weten wil: de gegevens in deze paragraaf en ook elders zijn ontleend aan een testrapport uit 1979 voor een Citroën Visa Super.

De belangrijkste oorzaak van het stijgende benzineverbruik bij toenemende snelheid is al besproken in 4.1: de luchtweerstand neemt kwadratisch met de snelheid toe. Daarnaast heeft ook het motorrendement, dat afhangt van het toerental, invloed op de relatie tussen verbruik en snelheid.

Opmerkingen bij de vragen

1. Uitkomsten. a/ 344 kJ; 410 kJ; 489 kJ; 600 kJ; 750 kJ.

b/ 344 N enz.

3.a. 16%. Maximaal kan een mens, goed getraind, bij een gunstige manier van werken ongeveer 25% bereiken.

b. De tegenwerkende kracht is hier de wrijving die het touw uitoefent op het wiel; deze kracht is gelijk aan het verschil tussen het gewicht van het zakje ballast en de kracht die de veerunster uitoefent. De afstand is gelijk aan het aantal omwentelingen maal de omtrek.

Geïnteresseerde leerlingen kunnen hierop verder doorgaan in de keuzeperiode (blz. 72, themaboek).

4. Het antwoord hangt nogal af van de tegenwerkende kracht, dus o.a. van de gekozen snelheid. Gaan we uit van het diagram in 5.1 en een snelheid van 18 km/h, dan komen we op ongeveer 700 gram brood.

Ervaringen

Bij vraag 4 is het veel leerlingen niet duidelijk (dat ze zelf een schatting mogen maken van de snelheid en de bijbehorende kracht: *geen flauw idee hoe ik dat moet uitrekenen*). Deze vraag kan beter facultatief gesteld worden of van een aanwijzing voorzien.

Vraag 2 kan beter weggelaten worden als de bromfietsproeven moeilijk interpreteerbare resultaten hebben opgeleverd. Vraag 3 wordt wel leuk gevonden,

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

5. PRESTATIES

maar bij het tweede deel kunnen de leerlingen zich moeilijk de situatie voorstellen. Het is dus nuttig het principe ervan te demonstreren.

5.5 ACCELERATIEVERMOGEN EN REMVERMOGEN

Aansluitend bij ervaringen van leerlingen met vaart zetten en uitrijden op een fiets introduceren we kinetische energie als 'geïnvesteerde arbeid'. De leerlingen hoeven de formule niet te kunnen afleiden; maar bij vraag 4 kunnen ze verifiëren dat de verrichte arbeid gelijk is aan de verandering van de kinetische energie. In 6.5 komen we op dit verband terug.

Opmerkingen bij de vragen

2. 125 kJ; 20 kW en 26 kW. (Dit laatste volgens de tabel rechtsonder.)
3. 0,019 liter. Volgens de gegevens uit het testrapport op blz. 53 zou deze hoeveelheid benzine toereikend zijn voor een afstand van ongeveer 400 meter bij een constante snelheid van 60 km/h.
- 4.a, b. De vermindering van de kinetische energie bedraagt 347 kJ; dit komt goed overeen met remkracht maal remweg: $900 \times 7,8 \times 50 = 351 \text{ kJ}$.
- c. 97 kW als het remsysteem alle energie opneemt.
- d. Als de kracht, die opgegeven wordt als '25 kg' over een afstand van ongeveer 5 cm werkt: ongeveer 10 J.

Ervaringen

Het is goed om te benadrukken dat je kinetische energie hebt en niet steeds moet leveren. Leerlingen hebben hier soms problemen mee, misschien samenhangend met het "straatbeeld" dat beweging "kracht kost" ook afgezien van de tegenwerking.

Vraag 2 is moeilijk omdat de leerlingen het verband tussen arbeid en (verandering van) kinetische energie zelf moeten expliciteren: *snapte ik niets van, bij stip een staat dat je de arbeid moet uitrekenen en dan heb je lijkt me de formule $F \cdot \Delta s$ nodig, maar als ik er nu naar kijk begrijp ik het misschien toch als energie (bewegings) en arbeid 't zelfde is....*. Hier zou een inleidend voorbeeld nuttig zijn of een aanwijzing vooraf: de arbeid die het kost om een ding met massa m een snelheid v te geven is $\frac{1}{2}mv^2$.

Bij vraag 4 volgt het antwoord op b direct uit a, maar het is nuttig om ook kracht $\times$ weg uit te rekenen, ter bevestiging van het verband tussen arbeid en kinetische energie.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

6. BEWEGINGSTHEORIE

C.6. BEWEGINGSTHEORIE

Bedoeling

Dit hoofdstuk geeft een afronding van de theorie. De drie basisprincipes, geïntroduceerd in hoofdstuk 2, zetten we in de gebruikelijke volgorde. Bij de bespreking van $F = m \cdot a$ komen we nog even terug op de remproeven uit hoofdstuk 3. Dat doen we eveneens bij de afrondende bespreking van arbeid en kinetische energie. $F = m \cdot a$ en het actie-reactieprincipe vormen het uitgangspunt voor de invoering van de nieuwe begrippen stoot en impuls; daarbij komen we terug op botsingsonderzoek dat eerder ter sprake kwam in 3.5.

Het overzicht van begrippen en relaties aan het eind is slechts bedoeld als samenvatting van de basistheorie. Een samenvatting van het thema als geheel kan beter uitgaan van herkenbare verkeerssituaties, zoals "rijden met constante snelheid" i.p.v. "eenparige rechtlijnige beweging". Een voorbeeld van zo'n samenvatting geven we in bijlage D.1.

Lessenplan

Aan dit hoofdstuk zijn twee lesuren toebedeeld; we denken aan de volgende verdeling:

- een lesuur voor 6.1 t/m 6.4;
- een lesuur voor 6.5 en 6.6 en enkele vragen uit het voorafgaande.

Ervaringen

Dit hoofdstuk is in twee lesuren wel te doen, maar op diverse scholen gaat er een half of heel uur meer in zitten. Het nog eens op een rijtje zetten van de theorie voorziet in een duidelijke behoefte bij de leerlingen.

6.1 HET TRAAGHEIDSPRINCIPE

Dit principe is in 2.7 en 2.8 al besproken en bij het onderzoek in hoofdstuk 4 gebruikt. Bij vraag 1 moet wel gezegd worden dat het vliegtuig horizontaal beweegt. De voorwaartse kracht wordt uitgeoefend door het gas dat de straalmotoren naar achteren uitstoten. Wat er in 2.5 niet is bijverteld, maar wat de leerlingen misschien wel kunnen bedenken is, dat de grootte van de kracht afhangt van de per seconde uitgestoten hoeveelheid gas en de snelheid van dit gas.

6.2 HET VERSNELLINGSPRINCIPE

De gebruikelijke proeven ter invoering van $F = m \cdot a$ hebben we slechts even aangeduid; in de context verkeer is er eigenlijk geen aanleiding om de eenparig versnelde beweging te onderzoeken. Veel belangrijker is hier de vertraagde beweging bij remmen, die vaak in goede benadering eenparig vertraagd is.

Opmerkingen bij de vragen

1. Bij de fietsremproeven kunnen grote verschillen optreden tussen berekende en gemeten kracht. Een belangrijke oorzaak is waarschijnlijk dat ondanks het gebruik van een blokje tussen remhandel en stuur (foto blz. 29) de remkracht nog aanmerkelijk kan afhangen van meer of minder hard knijpen. Deze opgave kan misschien beter vervangen worden door een voorbeeld: stel

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

6. BEWEGINGSTHEORIE

dat je bij een fietsproef gemeten hebt...., dan kun je als volgt de kracht berekenen....

2.a. 7,4 kN; b. 0,80.

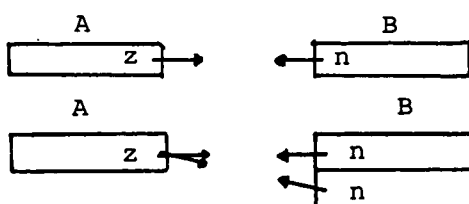
3.a. gemiddelde vertraging 250 m/s^2 ; b. 17,5 kN (gemiddeld); dat is 25 maal zijn lichaamsgewicht.

Ervaringen

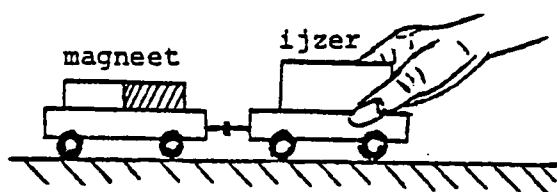
Bij vraag 2 en 3 blijken leerlingen soms gewicht te interpreteren als massa. Voor sommige leerlingen is de grootte van de krachten bij een botsing niet eerder zo duidelijk geworden als bij vraag 3: *erg interessant en leuk, een veiligheidsgordel is wel erg belangrijk*.

6.3 HET ACTIE-REACTIEPRINCIPE

Een nieuw aspect is hier dat actie en reactie even groot zijn. Vanuit het straatbeeld ligt het voor de hand te denken dat de ene magneet "meer kracht heeft" dan de andere en dat dus de aantrekking of afstoting van B door A best kan verschillen van de kracht die B op A uitoefent. Een nuttig voorbeeld om aannemelijk te maken dat ook bij ongelijke partners de krachten gelijk zijn is het volgende. Ga uit van twee identieke magneten A en B; de krachten zijn even groot. Plak nu tegen B, met de gelijksoortige polen naast elkaar, een identieke magneet. Zowel de aantrekking van A door B als die van B door A is nu verdubbeld.



In verband met vraag 1 kan ook een experimentele controle van het actie-reactieprincipe uitgevoerd worden met twee aan elkaar gekoppelde karretjes; vraag de leerlingen wat er zal gebeuren na loslaten.



6.4 STOOT EN IMPULS

Evenals de gelijkheid van actie en reactie kan de gelijkheid van de wederzijdse stoot bij een botsing de leerlingen vreemd voorkomen. Bij een situatie als weergegeven op de foto op blz. 60 kan vanuit het schema "sterk-zwak" gedacht worden dat de grote auto een grotere stoot geeft dan de kleine. Een verhelderende vraag is misschien: wat zou er gebeurd zijn als de grote auto precies zo'n "neus" had als de kleine?

Een andere denkmoeilijkheid kan voorkomen bij de botsing van een rijdende auto op een stilstaande: de ene auto is "actief" en de ander "passief" en dat lijkt verschil te kunnen maken. Een goede aanleiding om nog eens op de relativiteit van rust en beweging te wijzen.

Het lijkt ons nuttig een en ander in de les te illustreren met behulp van sleetjes op een luchtkussenbaan of wagentjes, voorzien van een kreukzone om het effect van de wederzijdse stoot te laten zien. Met behulp van klitteband zijn volkomen inelastische botsingen goed te demonstreren. Experimenten

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

6. BEWEGINGSTHEORIE

over impulsbehoud en al of niet behoud van kinetische energie voeren hier te ver; wel kan dit iets zijn voor de keuzeperiodes (blz. 74 themaboek).

Opmerkingen bij de vragen

1. Deze vraag vestigt de aandacht op twee belangrijke aspecten van veiligheidsvoorzieningen: de stoot moet niet alleen worden "uitgesmeerd" over een zo lang mogelijke tijd, maar ook zo glad mogelijk uitgesmeerd. Vanuit het globale beeld "hoe breder, hoe lager" kunnen de leerlingen op het idee komen dat de grootte van de stoot overeenkomt met het oppervlak onder de grafiek.

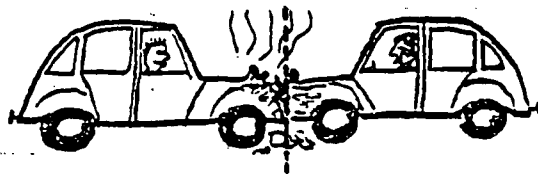
Het "afleiden dat" de stoot bij de vier proeven even groot was kan beter vervangen worden door "nagaan of", want de oppervlakken zijn, door ons onbekende oorzaken, niet even groot.

Een aardige bijzonderheid: kokospalmen bereiken hoogten van 20 meter en meer; een kokosnoot die van 20 meter hoogte valt heeft bij het neerkomen een snelheid van ongeveer 70 km/h.

2. Deze proef is in hoofdstuk 3 (blz. 34, 35) aan de orde geweest. De gemiddelde kracht is 17,5 kN, 24 maal het gewicht van de pop.

3. De wet van behoud van impuls is wel niet besproken, maar in dit eenvoudige geval zullen de leerlingen wel inzien dat de snelheid 25 km/h wordt omdat de impuls van de auto's in de eindsituatie gelijk is en de ene auto evenveel impuls krijgt als de andere kwijtraakte.

4. Zet in gedachten een wand op de plaats waar in het tweede geval de



auto's op elkaar botsen; uit de symmetrie volgt dat deze wand op zijn plaats blijft; het verloop van de botsing is dus precies zo als in het eerste geval.

Ervaringen

Deze paragraaf is moeilijk, maar demonstratie met de luchtkussenbaan helpt aanzienlijk. *We hebben nog een keer de stofzuigerbaan gezien omdat het daardoor een stuk makkelijker wordt*. Bij vraag 4 kan een peiling van de meningen de betrokkenheid stimuleren; *uitslag "stemming": muur 8, auto 6, maakt niets uit 10. Met behulp van de luchtkussenbaan word uitgelegd dat het niets uitmaakte*.

Bij de bespreking van vraag 1 kunnen ook andere functies van de valhelm aan de orde komen, zoals het "uitsmeren" van de kracht over een groter oppervlak (zie ook opgave 11 van hoofdstuk 7).

6.5 ARBEID EN KINETISCHE ENERGIE

Deze paragraaf geeft een afronding van het behandelde in 5.5. De afleiding van $W = \Delta E_k$ uit $F = m \cdot a$ geven we ook hier niet, maar bij vraag 1 kunnen de leerlingen nagaan dat beide formules tot praktisch dezelfde uitkomsten leiden. Kleine verschillen kunnen toegeschreven worden aan onzekerheid in de aflezing van de remweg. De uitkomsten zijn bij de eerste proef 6,9 en 7,0 kN, bij de tweede 6,3 en 6,3 kN, bij de derde 3,3 en 3,2 kN, als voor de remweg achtereenvolgens 50 m, 55 m en 17 m wordt afgelezen.

In vraag 2 gaat het om uitwerking van dezelfde meetresultaten als in 6.2 vraag 1, maar nu met $W = \Delta E_k$ in plaats van $F = m \cdot a$.

6.6 OVERZICHT VAN BEGRIPPEN EN RELATIES

Deze paragraaf voorziet duidelijk in een behoefte bij de leerlingen.

Het overzicht is wel makkelijk, dat ontbrak nogal vaak bij andere thema's.

Prima!

Misschien is het goed onder "zwaartekracht" ook de regel te vermelden voor de werking van de zwaartekracht langs een helling. Verder zouden nog de regels voor rolwrijving en luchtweerstand uit 4.1 genoemd kunnen worden.

Een uitvoeriger samenvatting is gegeven in bijlage D1 van deze handleiding. Voor het repeteren in klas 5 is ook een samenvatting beschikbaar, alsmede een verzameling oefenopgaven.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

7. OPGAVEN

c.7. opgaven

Bedoeling

Deze opgaven dienen ter herhaling en oefening van het geleerde; ook laten we hier en daar de leerlingen nieuwe situaties zien waarin de geleerde regels geldig en bruikbaar zijn. We blijven steeds binnen de context verkeer en trachten in deze opgaven zo goed mogelijk aan te sluiten bij de themalijnen veiligheid en zuinigheid. Voorzover deze opgaven nieuwe informatie bevatten is die niet bedoeld als extra leerstof.

Aan de leerlingen willen we op deze manier duidelijkheid bieden over soorten opgaven die in proefwerken kunnen voorkomen, al zijn er natuurlijk nog allerlei variaties te verzinnen. Voor leraren, en eventueel voor geïnteresseerde ouders en anderen, willen we met deze verzameling opgaven ook duidelijk het verschil aangeven met de gangbare schoolmechanica. De keuze van "Verkeer" als thema brengt met zich mee dat we geen vraagstukken maken over bijv. blokjes die van hellingen glijden of voorwerpen die aan draden heen en weer slingeren, ook al zouden zulke vraagstukken met de in het thema behandelde regels op te lossen zijn.

Lessenplan

We hebben voor dit hoofdstuk drie lesuren uitgetrokken, waarin een deel van de opgaven compleet behandeld zou kunnen worden en van de rest alleen de uitkomsten ter controle gegeven. Het is ook mogelijk een aantal opgaven eerder te maken, bijv. aansluitend op hoofdstuk 3 de opgaven 1 t/m 6. We zouden er niet voor zijn om alle opgaven en de daarvoor bestemde drie lesuren te spreiden over voorafgaande hoofdstukken; de herhalingsfunctie zou daardoor verloren gaan.

Antwoorden en toelichting

1. a. 62 m; b. 16 m; c. $4,4 \text{ m/s}^2$.

2. a. 19 m; b. De afstand die B aflegt alvorens te remmen is groter dan de oorspronkelijke tussenruimte; dat moet dus misgaan; c. Na 2 s heeft A 18 m afgelegd en B 27 m; er is dan nog 1 m tussenruimte.

Wie wil weten wanneer B op A botst kan de berekening voortzetten met stapjes van 0,1 s; de uitkomst ligt tussen 2,1 en 2,2 s.

Eventuele aanwijzingen. Bij b: bereken de totale stopafstand (reactieafstand + remafstand) van B. Bij c: bereken van beide auto's de afgelegde weg na 2 seconden.

3. a. 0,7 s; b. $5,2 \text{ m/s}^2$.

Eventuele aanwijzing. Bij c: kies een snelheid, bereken de stopafstand met de vuistregel en vergelijk die afstand met de stopafstand in het diagram. Doe dit ook voor twee andere waarden van de snelheid.

4. a. De reactieafstand is 9,7 m, de remafstand 19,3 m. b. De af te leggen afstand is 49 m plus een autolengte, de tijd 3,9 s.

5. Deze gegevens zijn ontleend aan een verslag van leerlingen in 4 HAVO.

a. 3,0 m/s; 4,6 m/s; 5,6 m/s; 4,6 m/s. b. remweg: remtijd achtereenvolgens 1,67 m/s; 2,33 m/s; 2,83 m/s; 2,22 m/s. c. 0,43; 0,71; 0,79; en 0,58 m/s^2 . d. 140 kg uit de eerste en 103 kg uit de vierde meting wijst op forse onnauwkeurigheden; 85 kg uit de tweede meting en 76 kg uit de derde zijn geloofwaardiger.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

7. OPGAVEN

Eventuele aanwijzing. Maak een tabel met naast elkaar: tijd voor 9,6 m (gegeven), beginsnelheid (vraag a), remtijd (gegeven), remweg (gegeven), gemiddelde snelheid (vraag b), remvertraging (vraag c), remkracht (gegeven) en massa (vraag d).

6. b. 2 m/s^2 ; 48 m.

Eventuele aanwijzing. Wrijvingscoëfficiënt 0,9 betekent: maximale wrijvingskracht = $0,9 \times \text{gewicht auto} = 0,9 \text{ mg}$. De maximale remvertraging vind je door de remmende kracht te delen door de massa: die vertraging is dus in dit voorbeeld $0,9 \text{ g} = 8,8 \text{ m/s}^2$.

7. b. 5 kN.

8. a. 250 kg m/s; c. 0,13 s; d. Als de versnelling van de gesleepte auto constant zou zijn (maar de kracht neemt toe), zou de gemiddelde snelheid tijdens het versnellen 0,25 m/s bedragen; de voorste auto legt 3 cm meer af en de kabel moet 3 cm rekken.

Eventuele aanwijzing. Bij d: hoe groot zijn de afstanden die de twee auto's in deze tijd hebben afgelegd?

9. a. 2kN; b. 0.036 s.

10. a. 16,5 kN. b. 13,7 kN. De uitkomsten a en b zijn niet gelijk doordat de beweging niet eenparig vertraagd is. In beide berekeningen gaat het dus om een gemiddelde, maar in a om een gemiddelde over de tijd en in b om een gemiddelde over de weg. Wat minder moeilijk voor leerlingen: uit $F \cdot \Delta s = \frac{1}{2} m v_0^2$ en $F \cdot \Delta t = m v_0$ volgt (door delen) dat $\bar{v} = \frac{1}{2} v_0$ en dat hoeft niet te gelden als de $v-t$ grafiek niet recht is, d.w.z. als de beweging niet eenparig vertraagd is.
c. 19,3 kN (gemiddeld over de remweg).

11. a. Men onderscheidt vier functies: verdeling van een op één plek uitgeoefende kracht over een groter oppervlak; uitsmeren van de stoot; weerstand tegen samendrukken bijv. als je onder een wiel van een auto komt; bescherming tegen schaafwonden bij glijden over de weg.

13. a. 4,1 m/s ofwel 15 km/h; b. $0,14 \text{ m/s}^2$; $0,056 \text{ m/s}^2$.

14. a. 0,88 kJ; b. 42 W; c. 1,6%.

15. b. 29 W; 98 W en 233 W (1,69 maal zo groot als in de eerste situatie).
c. Alle waarden 0,64 maal de oorspronkelijke.

16. a. 2,2 MW; 36 MW; b. Bij een geschatte afstand van 7000 km, verbrandingswarmte van de stookolie $40 \cdot 10^6 \text{ J/l}$ en een rendement van 20% komen we op omstreeks een kwartmiljoen liter.

17. Bij de genoemde voertuigen is uitgegaan van een volledige bezetting; in de praktijk zal het energieverbruik meestal hoger liggen.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK

8. VERKEERSONDERZOEK NAAR KEUZE

C.8. VERKEERSONDERZOEK NAAR KEUZE

Bedoeling

In het voorstel voor het EPEP-HAVO wordt ook ingegaan op het kenmerk van differentiatie via keuze-lestijd in de cursus. Argumenten die worden aangedragen om een deel van de lestijd (15 à 20%) te vullen met activiteiten naar de "vrije" keuze van leerlingen zijn:

1. Het helpt leerlingen die op een verschillende manier leren, die verschillende activiteiten plezierig vinden en die een verschillend tempo hebben, om zo goed mogelijk de leerwinst uit de basisperiode te consolideren en te verwerken (didaktisch argument).
2. Het geeft leerlingen de mogelijkheid in te spelen op eigen interesses en probleemstellingen (motivatie argument).
3. Door een zinnige invulling in de richting van een oriëntatie op activiteiten, zoals ze in vervolgoopleidingen voorkomen, kan een betere aansluiting daarop gerealiseerd worden (doorstromingsargument).
4. Het stimuleert leerlingen meer zicht te krijgen op zichzelf, op eigen kunnen en onvermogens en op de manieren, waarop ze met anderen kunnen omgaan (pedagogisch argument).
5. Een aantal vaardigheden, zoals rapporteren en het opzetten van een onderzoek, die belangrijk genoeg zijn om aandacht aan te besteden, kunnen beter geoefend worden in een gedifferentieerde opzet (doelstellingen argument).

Nu is een bekend probleem dat dergelijke keuze-periodes nogal eens in de verdrukking komen; ze worden opgeofferd aan de "basis" van het thema of worden gebruikt voor oneigenlijke doelen, als repeteeractiviteiten, examentraining e.d.

Wil je landelijk gezien een kans maken tot een substantiële reductie van de leerstoflijst te komen, juist om keuzeactiviteiten mogelijk te maken, dan zal moeten worden geprobeerd op de proefscholen om aan dergelijke periodes een zinvolle invulling te geven.

Dat heeft enkele konsekwenties voor de mate van "vrijheid" van de leerlingen in deze keuzeperiode.

Wij gaan van 5 "principes" uit:

- de onderwerpkeuze valt binnen de thematische context van het thema, of sluit daar direkt bij aan;
- het onderwerp bevat natuurkundige aspecten, ook al is het vrij te kiezen uit samenleving, techniek of wetenschappelijke natuurkunde;
- in elke keuze-periode bij een thema staat één bepaalde vaardigheid centraal;
- er vindt een beoordeling plaats van de prestaties van de leerlingen;
- er is geen "harde" uitwisseling van de onderwerpen die onderzocht zijn, dat wil zeggen dat de leerlingen inhoudelijk van elkaars onderwerpen niet hoeven te leren.

Voorlopig gelden deze punten voor de 4e klas HAVO, de 5e klas keuze-activiteiten zijn qua vorm en doelen nog volop in discussie.

De keuzeperiode bij het thema Verkeer is de derde "vrije" keuze voor leerlingen in 4 HAVO. Bij "Weersveranderingen" stond de vaardigheid *omgaan met informatie* centraal, bij "Muziek" *schriftelijk rapporteren*. In deze keuzeperiode gaat het om de vaardigheid *experimenteren*, zelfstandig een experiment voorbereiden, uitvoeren en uitwerken.

C OPMERKINGEN PER HOOFDSTUK
8. VERKEERSONDERZOEK NAAR KEUZE

Lessenplan

Het lessenplan zou er als volgt uit kunnen zien:

- 1e les - bespreken van de bedoeling van de keuzeperiode.
 - aanwijzingen voor een verslag (zie ook themaboek Muziek, blz 68, 69)
 - leerlingen een onderwerp laten kiezen en een opzet voor het onderzoek laten maken: werkvraag, benodigdheden, tijdsplanning, taakverdeling.
- 2e/3e les- uitvoeren van het onderzoek. Met elk groepje de voortgang bespreken.
- 4e les - leerlingen beginnen aan het verslag en maken het thuis af.

Opmerkingen

Omdat de vaardigheid experimenteren centraal is gesteld, zal hier ook het accent moeten liggen bij de beoordeling. Hebben de leerlingen bijv. gelet op reproduceerbaarheid van metingen, meetonzekerheden aangegeven, suggesties gedaan voor mogelijke verbeteringen?

D BIJLAGEN

1. SAMENVATTING THEMA "VERKEER"

D.1. SAMENVATTING THEMA "VERKEER"

THEMAVRAGEN

Het verband tussen verkeer en natuurkunde is bestudeerd vanuit drie vragen.
 Welke factoren zijn van belang voor veiligheid in het verkeer?
 Welke factoren zijn van belang voor zuinigheid in het verkeer?
 Welke krachten beheersen de bewegingen in het verkeer?

BEGRIPPEN EN RELATIES

Een overzicht van de belangrijkste basisbegrippen en -regels is gegeven in paragraaf 6.6 van het themaboek (blz 62 en 63).

SITUATIES

Hieronder geven we een samenvatting van het thema door uit te gaan van de bestudeerde soorten situaties. We volgen dus niet het boek.

a/ FIETSEN MET CONSTATE SNELHEID (vlakke weg; windstil weer)

De krachten. Verticaal werken twee even grote krachten:

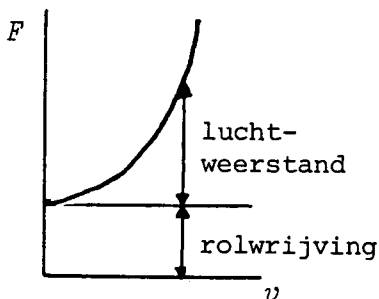
- de zwaartekracht mg met m de massa van fietser + fiets en g de valversnelling;
- de dragende kracht, die het wegdek uitoefent op de banden.

Horizontaal werken drie krachten:

- de luchtweerstand, waarvoor geldt $F_c = c_w A \frac{\rho}{2} v^2$ met c_w de luchtweerstandscoefficiënt, A het frontale oppervlak van fietser en fiets, ρ de dichtheid van lucht en v de snelheid. c_w en A zijn afhankelijk van de houding van de fietser.
- de rolwrijving, uitgeoefend door het wegdek; de grootte hangt af van de toestand van wegdek en banden en van mg .
- de voorwaartse wrijvingskracht die het wegdek uitoefent op het achterwiel volgens het actie-reactieprincipe.

Volgens het traagheidsprincipe moet de voorwaartse kracht precies gelijk zijn aan de totale tegenwerkende kracht om een constante snelheid en richting te houden:

$$F_{\text{mee}} = F_{\text{tegen}}$$



Arbeid en vermogen.

Uit de voorwaartse kracht F en de afgelegde weg Δs volgt de verrichte arbeid: $W = F\Delta s$. Daaruit volgt het benodigde vermogen: $P = Fv$. Dit vermogen wordt door de fietser geleverd via de overbrenging van trappers naar achterwiel; door overschakelen in een andere "versnelling" wordt de trapkracht groter en de trapsnelheid kleiner, of andersom.

b/ AUTORIJDEN MET CONSTATE SNELHEID (vlakke weg; windstil weer)

De krachten. Hiervoor gelden dezelfde regels als voor het fietsen met constante snelheid. Twee kleine verschillen: in de formule voor de luchtweerstand liggen c_w en A vast; als de voorwielen aangedreven worden werkt daar de voorwaartse kracht w .

Arbeid en vermogen.

Ook hier volgt uit $W = F\Delta s$ dat $P = Fv$.

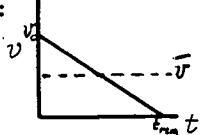
Rendement. De energie die vrijkomt bij verbranding van benzine in een motor wordt slechts voor een deel gebruikt voor arbeid. Dit deel wordt het rendement genoemd. Van de door de motor geleverde arbeid wordt nog een gedeelte binnen de auto gebruikt.

c/ REMMEN TOT RUST

Remweg, remvertraging, beginsnelheid en remtijd.

Zowel bij fiets als auto wordt bij remmen de draaiing van een of meer wielen vertraagd, waardoor de rolwrijving toeneemt. Is de tegenwerkende kracht constant, dan is volgens het principe $F = ma$ ook de vertraging constant; de grafiek van v tegen t is een rechte lijn. De gemiddelde snelheid bij zo'n eenparig vertraagde beweging ligt midden tussen begin- en eindsnelheid, is dus gelijk aan de helft van de beginsnelheid v_0 .

Bij berekeningen combineren we drie regels:

$$s_{\text{rem}} = \bar{v} t_{\text{rem}} \quad \bar{v} = \frac{1}{2} v_0 \quad a = \frac{v_0}{t_{\text{rem}}}$$


Uit deze regels volgt dat bij gegeven remvertraging de remweg evenredig is met het kwadraat van de beginsnelheid.

In de praktijk heeft een mens ongeveer een seconde nodig om op een onverwachte situatie te reageren; in deze reactietijd t wordt een afstand $v_0 t$ afgelegd, die bij de remweg moet worden opgeteld.

Maximale remkracht en remvertraging.

De maximale remmende kracht bij een fiets of auto hangt af van:

- de kracht waarmee banden en wegdek tegen elkaar gedrukt worden, dus van mg .
- de toestand van banden en wegdek.

Bij gegeven toestand van banden en wegdek blijkt de maximale wrijvingskracht, die het wegdek op de banden uitoefent, evenredig met het gewicht mg .

Naarmate een auto zwaarder is, is de maximaal beschikbare remkracht groter, maar die grotere remkracht is volgens $F = ma$ ook precies nodig om de zwaardere auto dezelfde remvertraging te geven als een lichtere auto.

In de wettelijke eisen betreffende remvertraging voor personenauto's wordt dan ook geen verschil gemaakt tussen zware en lichte auto's.

D BIJLAGEN

1. SAMENVATTING THEMA "VERKEER"

Kinetische energie en remweg.

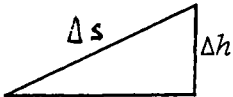
Bij remmen vanaf beginsnelheid v_0 tot rust neemt de kinetische energie van een auto met inzittenden of van een fietser + fiets af tot 0. Deze (negatieve) verandering van E_k is gelijk aan de (negatieve) arbeid verricht door de remmende kracht F , dus $F\Delta s = \frac{1}{2}mv_0^2$ waarin Δs de remweg is. Ook hieruit is te zien dat bij gegeven remkracht de remweg evenredig is met de beginsnelheid in het kwadraat.

d/ VAART ZETTEN EN UITRIJDEN

Voor het opvoeren van de snelheid is het nodig dat de voorwaartse kracht groter wordt gemaakt dan de tegenkrachten. De netto voorwaartse kracht zorgt voor de versnelling, volgens $F_{\text{netto}} = ma$; de extra arbeid wordt besteed aan vergroting van de kinetische energie, volgens $W_{\text{netto}} = \Delta E_k$. Bij uitrijden geldt het omgekeerde: de tegenwerkende kracht veroorzaakt een vertraging en verricht negatieve arbeid, waardoor de kinetische energie afneemt.

e/ RIJDEN OP EEN HELLING

Bij het rijden op een helling zorgt de zwaartekracht voor een extra tegenwerkende of meewerkende kracht. De grootte van deze kracht is gelijk aan het gewicht mg maal het hellingspercentage $\Delta h/\Delta s$.



De extra arbeid die de fietser of de automotor moet leveren bij het oprijden van een helling is $mg\Delta h$. Bij het afrijden van de helling wordt hetzelfde bedrag aan arbeid bespaard; deze arbeid wordt nu geleverd door de zwaartekracht.

f/ BOTSINGEN

Frontale autobotsing tegen een vast obstakel. Bij zo'n botsing verliest de auto zijn impuls mv in een zeer korte tijd Δt als gevolg van een zeer grote kracht F . De stoot $F\Delta t$ is gelijk aan de impulsverandering $m\Delta v$.

Voor de inzittenden is het belangrijk dat het voorste deel van de auto als kreukzone fungeert, waardoor de stoot zo gelijkmatig mogelijk wordt uitgesmeerd over een zo lang mogelijke tijd.

Veiligheidsgordel. Bij een frontale autobotsing moet een veiligheidsgordel voorkomen dat de bestuurder met het hoofd door de voorruit schiet. Bovendien rekt de gordel enigszins, waardoor de botsingsduur Δt in de vergelijking $F\Delta t = m\Delta v$ voor de bestuurder groter is dan voor de auto.

Botsing tussen auto's onderling. Volgens het actie-reactieprincipe oefenen de auto's even grote krachten op elkaar uit. Ze geven elkaar dus een even grote stoot $F\Delta t$ en een even grote impulsverandering $m\Delta v$ tijdens de botsing. Bij ongelijke massa's geldt dat de zwaardere auto een kleinere snelheidsverandering ondergaat.

g/ VAREN EN VLIEGEN

Krachten op een schip.

Bij een schip wordt de zwaartekracht mg gecompenseerd door een omhoog gerichte kracht die het water uitoefent; deze kracht neemt toe als het schip bij het beladen dieper in het water zakt.

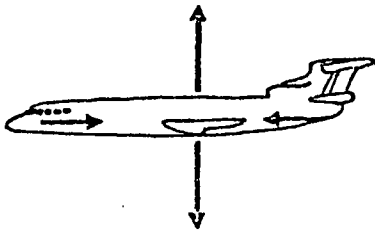
Een scheepsschroef duwt achterwaarts tegen het water; volgens het actie-reactieprincipe oefent het water daardoor een voorwaartse kracht uit op het schip. Tegenwerking wordt veroorzaakt door de wrijving tussen de scheepshuid en het water, en door opstuwing van het water waardoor golven ontstaan.

Bij constante snelheid is volgens het traagheidsprincipe de voorwaartse kracht F gelijk aan de totale tegenkracht; voor het benodigde vermogen geldt dan $P = Fv$.

Krachten op een vliegtuig.

Bij een vliegtuig wordt de zwaartekracht mg gecompenseerd doordat de vleugels een omhoog gerichte kracht ondervinden van de langsstromende lucht. Deze stromende lucht oefent een grotere druk uit tegen de onderkant van de vleugels dan op de bovenkant.

De voortstuwende kracht wordt uitgeoefend door lucht die door een propeller naar achteren wordt geduwd of door de verbrandingsgassen die een straalmotor achterwaarts uitstoot. Bij constante snelheid in horizontale richting is de voortstuwende kracht gelijk aan de luchtweerstand die op het vliegtuig werkt.



D BIJLAGEN

2. VERKEER IN HET EPEP

D.2. VERKEER IN HET EXPERIMENTEEL PLON EXAMEN PROGRAMMA

	onge- wijzigd	gewij- zigde inter- pretatie	ver- vallen	nieuwe onder- werpen
Kinematika				
- Eenparige rechtlijnige beweging; snelheid.	x			
- Willekeurige rechtlijnige beweging; gemiddelde snelheid en snelheid op een tijdstip (experimentele benadering).	x			
- Een parig versnelde en eenparig vertraagde rechtlijnige beweging; versnelling; valbeweging; valversnelling.		x ¹⁾ x ³⁾	x ²⁾ x ⁴⁾	
- Scalaire grootheden en vectoren; optellen, aftrekken en ontbinden van vectoren; vermenigvuldigen van een scalaire grootte en een vector.				
- Verplaatsing, snelheid en versnelling als vectoren.		x ⁴⁾		
- Eenparige cirkelbeweging; centripetale versnelling (geen theoretische afleiding).		x ¹⁶⁾		
- Samenstellen en ontbinden van kinematische grootheden; horizontale worp, uitsluitend onder invloed van de zwaartekracht.			x ⁴⁾⁵⁾	
Dynamica				
- Traagheidswet; massa; kracht.	x			
- Verband tussen kracht, massa en versnelling: ($F = m \cdot a$.)		x ⁶⁾		
- Zwaartekracht; vergelijking van massa's.	x			
- Actie en reactie.		x ⁷⁾		
- Centripetale kracht bij een eenparige cirkelbeweging.		x ¹⁶⁾		
- Samenstellen en ontbinden van in één vlak gelegen krachten op een puntmassa (geen berekeningen met sinus- en cosinusregel).		x ⁹⁾		
- Normale kracht; wrijvingskracht (geen wrijvingscoëfficiënt).	x			x ¹⁰⁾
- Beweging op een hellend vlak.		x ¹¹⁾		
- Luchtwrijving.				x ¹⁰⁾
Mechanische energie, impuls en stoot				
- Arbeid verricht door een constante kracht.	x			
- Vermogen.	x			
- Kinetische energie; wet van arbeid en verandering van kinetische energie.	x			
- Potentiele energie in homogene krachtvelden.			x ¹²⁾	

D BIJLAGEN

2. VERKEER IN HET EPEP

	onge- wijzigd	gewij- zigde inter- pretatie	ver- vallen	nieuwe onder- werpen
- Wet van behoud van mechanische energie.	x			
- Impuls van een voorwerp (hoeveelheid beweging); $\vec{p} = m\vec{v}$.		x ¹³⁾		
- Stoot: $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$, alleen als grondslag voor de wet van behoud van impuls.		x ¹³⁾		
- Wet van behoud van impuls.		x ¹⁴⁾		
- Volkomen veerkrachtige centrale botsing (bij berekeningen geen combinaties van de wet van behoud van impuls en van de wet van behoud van energie).			x	
- Volkomen onveerkrachtige centrale botsing.		x ¹⁵⁾		
- Veiligheidsgordel, kreukzône, bromfiets-helm.				x
- Reaktietijd				x
- Rendement van benzinemotor.				x ¹⁷⁾
Statica				
- Moment van een kracht t.o.v. een punt	x ¹⁸⁾			
- Momentenwet alleen bij voorwerpen draai- baar om een vaste as.	x			
- Zwaartepunt (= massamiddelpunt).		x ¹⁹⁾		
- Kracht bij elastische lineaire vervorming.			x	

c. Toelichting.

- 1) Optrek- en rembeweging worden behandeld als voorbeeld van veranderlijke beweging. Benaderd als eenparig veranderlijke beweging. Geen formules als $S_t = v_{0t} + \frac{1}{2} at^2$ maar $\bar{v} = 1/2 v_{\max}$

$$S = \bar{v} \cdot \Delta t. \quad \text{en } a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
- 2) $S = 1/2 gt^2$ en $v_t = gt$ worden niet behandeld; (geen betekenis in verkeers-situaties).
- 3) g wordt ingevoerd als maat voor versnelling en vertragingen in verkeers-situaties.
- 4) In een aantal realistische, herkenbare bewegingssituaties worden vectoren in illustratieve zin gebruikt om richting en grootteorde van krachten aan te geven.
- 5) De horizontale worp is vervallen.
- 6) Geen aandacht besteed aan vectorrekening.

D BIJLAGEN

2. VERKEER IN HET EPEP

- 7) Behandeld als achterliggend principe bij stuw- en remkracht in verkeerssituaties.
- 8) Op het fysische werkingsprincipe hiervan wordt uitgebreid ingegaan.
- 9) Beperkt tot samenstelling in één richting.
- 10) Nieuw zijn wrijvingscoëfficiënt in verband met wegoppervlakken, inwendige-, rol- en stromingsweerstand in verband met fietsen en auto's. Uit experimenten is globaal de samenhang bekend tussen (lucht)snelheid en vorm kenmerken van voertuigen.
- 11) Hellend vlak is gebruikt als situatie om wrijvingsweerstand vs snelheid-metingen in modelverkeerssituaties te onderzoeken.
- 12) Behandeld in situatie van opslag van energie in stuwbeekens, zie "Energie".
- 13) Behandeld in samenhang met botsituaties: $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$; geen aandacht geschonken aan vectornotatie.
- 14) Niet expliciet genoemd; impliciet toegepast bij modelexperimenten rond verkeerssituaties.
- 15) Dit begrip is behandeld in samenhang met botsingen in verkeer gekoppeld aan veiligheidsgordel, kreukzone en bromfietshelm.
- 16) Deze komen aan de orde in "Ioniserende Straling en deeltjes".
- 17) Is behandeld in samenhang met energiegebruik in verkeer.
- 18) Toegepast in elektromotoren (zie gebied "Elektrische Machines").
- 19) In verband met stabiliteit van voorwerpen.

Kracht en Tegenkracht, Actie en Reactie

een onderzoek naar denkbeelden van leerlingen

D. van Genderen

Vakgroep natuurkunde-didactiek, Rijksuniversiteit Utrecht

Samenvatting

Het hier gerapporteerde onderzoek betreft het functioneren van het natuurkundige begrip kracht bij leerlingen in het vwo, het is toegespitst op twee elementaire principes: de gelijkheid van kracht en tegenkracht bij de eenparige rechtlijnige beweging en het principe van actie en reactie. Met beide principes blijken veel leerlingen ernstige moeite te hebben, ook nog na de behandeling van de mechanica in de vierde klas. De moeilijkheden zijn te verklaren uit denkbeelden als "overwinnen van tegenwerking", "sterk-zwak" en "actief-passief", die diep geworteld zijn in alledaagse ervaringen. Inzicht in deze denkbeelden is van belang voor de praktijk van het onderwijs.

1. Inleiding

Uit de onderwijspraktijk, uit buitenschoolse gesprekken en uit onderzoek, is bekend, dat leerlingen ten aanzien van verschijnselen in hun natuurlijke en technische omgeving vaak voorstellingen en verklaringen gebruiken, die niet overeenstemmen met de wetenschappelijk erkende. Sommige afwijkende denkbeelden van leerlingen zijn stevig geworteld in de alledaagse ervaring, het algemene taalgebruik en "common sense" redeneringen, soms zijn ze voornamelijk intuïtief, soms ook van duidelijke argumenten voorzien. Kennis hiervan is belangrijk, omdat het afleren van oude, vertrouwde denkbeelden even moeilijk is als het aanleren van nieuwe. Inzicht in deze moeilijkheden is in het bijzonder van belang wanneer men in het natuurwetenschappelijk onderwijs streeft naar aansluiting aan de leefwereld van de leerlingen.

Baanbrekend onderzoek naar de ontwikkeling van het logisch-mathematische en het natuurwetenschappelijke denken is sinds 1930 verricht door Piaget en zijn medewerkers in Genève, maar dit onderzoek was niet gerelateerd aan het leren op school en beperkte zich voornamelijk tot kinderen van 5 tot 12 jaar. Pas in de jaren zeventig begon in

diverse landen het onderzoek naar moeilijkheden bij het leren van de exacte vakken in het voortgezet onderwijs van de grond te komen. Een artikel van Driver en Easley (1978) geeft een overzicht, voorzien van bijna honderd literatuurverwijzingen, van voornamelijk recent onderzoek zowel naar denkniveau's, in de lijn van Piagets theorie, als naar denkbeelden van leerlingen. Sindsdien is nog een aanmerkelijke groei te zien van onderzoek naar wat men o.a. aanduidt als concept development, (mis)conceptions, alternative frameworks, childrens science, représentations, raisonnement spontané, Alltagsvorstellungen of Prekonzepten. Er zijn studies bij van psychologen, geïnteresseerd in cognitieve structuren, maar de meeste publicaties komen van vakdidactici en leraren, die hun vraagstellingen ontleen aan de praktijk van het onderwijs in de natuurwetenschappen.

In dit artikel zal ik me beperken tot onderzoek naar aard en oorzaken van de vaak hardnekkige moeilijkheden die leerlingen in het voortgezet onderwijs hebben met het natuurkundig denken over krachten. Een verdere beperking: het gaat hier niet om het oplossen van vraagstukken, maar om elementaire toepassingen van het traagheidsprincipe, $F=ma$ en het principe van actie en reactie. Daarbij zal ik in navolging van Lijnse (1981) de termen "schoolbeeld" en "straatbeeld" gebruiken als aanduiding voor de op school onderwezen theorie, resp. het interpretatiekader dat leerlingen zich van jongsaf hebben gevormd op basis van voorschoolse en buitenschoolse ervaringen. Het straatbeeld verdwijnt niet vanzelf door confrontatie met het schoolbeeld, maar kan in al of niet aangepaste vorm van invloed blijven.

2. Moeilijkheden met het begrip kracht

Uit onderzoek van o.a. Warren (1971, 1979) in Engeland, Viennot (1978, 1979) in Frankrijk, Jung c.s. (1979, 1980, 1981) in Duitsland en McCloskey (1983) in de Verenigde Staten blijkt dat bij een aanzienlijk deel van de scholieren en studenten, die in de wetten van Newton zijn onderwezen, het schoolbeeld slechts gebrekkig functioneert. Een veel voorkomende, fundamentele misvatting is, dat kracht in richting en grootte gekoppeld is met snelheid, in plaats van met snelheidsverandering. Deze koppeling van kracht met snelheid heeft bij de beoordeling van alledaagse verschijnselen welhaast het karakter van een alternatief principe. In overeenstemming daarmee wordt b.v. aan een omhoog geworpen bal een "voorraad aan kracht" toegedacht, die voor het stijgen wordt gebruikt en die met de snelheid afneemt, zodat de zwaartekracht de overhand krijgt. Dit denkbeeld, overeenkomend met de middeleeuwse impetustheorie, wordt signaleerd door Viennot en door McCloskey. In het onderzoek van McCloskey toonden veel studenten ook bij een praktische opdracht - al rennend een bal laten vallen op een voorgeschreven plek - onvol-

doende inzicht in het verschijnsel traagheid.

Dat de koppeling van kracht aan snelheidsverandering niet zo voor de hand ligt als sommige schoolboeken suggereren, is duidelijk te zien in de geschiedenis van de natuurkunde. De wetten van Newton zijn niet eenvoudig ontsproten aan alledaagse ervaringen met bewegingen en krachten in de leefwereld. De klassieke mechanica kwam tot stand via een lange omweg: de eeuwenlange bestudering van de bewegingen aan de hemel uiteindelijk leidend tot het inzicht dat de aarde beweegt. Vóór de copernicaanse revolutie was het schoolbeeld gebaseerd op de leer van Aristoteles, met zijn principiële onderscheid tussen rust en beweging en tussen natuurlijke en gedwongen bewegingen.

Dijksterhuis (1950) zegt hierover

"... en in het beginonderwijs in dit vak speelt zich elk jaar in verkleinden maatstaf en versneld tempo een stuk van de geschiedenis opnieuw af. De oorzaak ligt voor de hand: Aristoteles heeft niets anders gedaan dan de allergewoonste ervaringen op het stuk van beweging als algemene natuurwetenschappelijke stellingen formuleren, terwijl de klassieke mechanica met haar traagheidswet en haar evenredigheid van kracht en versnelling beweringen uitspreekt, die niet alleen door de alledaagse ervaring nooit bevestigd worden, maar waarvan de directe experimentele verificatie in beginsel uitgesloten is ..."

Ondanks belangrijke punten van overeenkomst tussen het straatbeeld van leerlingen en de denkbeelden van Aristoteles zou het misleidend zijn te stellen dat leerlingen "aristotelisch" denken. De aristotelische fysica wilde een voor de hele kosmos geldig en logisch consistent interpretatie kader aanbieden; het aantonen van inconsistenties, door Galilei en anderen, tastte het gehele systeem aan. Het straatbeeld van leerlingen daarentegen is niet zo bewust overwogen en logisch geordend; daardoor betekent de confrontatie met het schoolbeeld voor de leerlingen niet een duidelijke dwang tot keuze. Het "common sense" denken kent nauwelijks regels zonder uitzonderingen; zo hoeft een koppeling tussen kracht en snelheid in alledaagse situaties niet als strijdig gezien te worden met de evenredigheid tussen kracht en versnelling in schoolexperimenten.

Met deze laatste opmerkingen wil ik aannemelijk maken, dat er bij leerlingen in het voortgezet onderwijs niet een duidelijk gemarkeerde omslag te verwachten is van straatbeeld naar schoolbeeld. Er zijn diverse combinaties mogelijk; ook kan het afhangen van de aangeboden probleemsituatie, zoals Viennot in haar onderzoek laar zien, welk denkpatroon bij de leerling wordt opgeroepen.

In ons land heeft Vegting (1977) een beschrijving gegeven van diverse moeilijkheden met het krachtbegrip, op grond van eigen ervaringen met leerlingen in de tweede klas. Een belangrijk aspect van hun straatbeeld is het onderscheid tussen actief en passief:

"Als een voetballer een bal op de voet krijgt en die bal wegtrapt, dan is dat wat anders dan wanneer deze een bal op de voet krijgt en hij trapt niet zelf. In het eerste geval oefent de voetballer een kracht uit op de bal, in het tweede oefent de bal een kracht uit op de man".

Een ander veel voorkomend denkpatroon is, zoals o.a. Vegting signaleert: bij een beweging met constante snelheid, van bijv. een parachutist of een fietser, moet de kracht in de bewegingsrichting de tegenwerking overwinnen en dus groter zijn.

3. Vraagstelling en hypothesen

In hoeverre zijn zulke elementaire moeilijkheden met het krachtbegrip verdwenen na de gebruikelijke uitvoerige behandeling van de mechanica in de vierde klas van het havo en vwo? Eigen ervaringen met leerlingen en studenten, mededelingen van collega's alsook buitenlandse onderzoeken als hierboven vermeld, gaven ons aanleiding te twijfelen aan een grote sprong voorwaarts in het functioneren van het begrip kracht. Wat ons vooral interesseerde was de mate waarin denkbeelden als "overwinnen van tegenwerking", "actief-passief" en "sterk-zwak" van invloed blijven. Om die invloed te onderzoeken, kozen we fysisch zeer eenvoudige probleemsituaties, waarin kennis van $F = ma$ en andere formules, definities en algoritmen niet nodig was. Wat natuurkundige kennis betreft, beperkte ons onderzoek zich tot twee elementaire principes, die essentieel zijn om te weten hoe het begrip kracht "werkt":

- a) de gelijkheid van de "voortdrijvende" en de "tegenwerkende" kracht op een voorwerp dat met constante snelheid beweegt. Ik noem dit hier "het principe van kracht en tegenkracht": het is een directe consequentie van het traagheidsprincipe
- b) de gelijkheid van de krachten die twee voorwerpen op elkaar uitoefenen: het principe van actie en reactie.

Bij de keuze van onze vragen aan de leerlingen gingen we uit van vier hypothesen:

1. bij de eenparige rechtlijnige beweging wordt de relatie tussen kracht en tegenkracht verkeerd beoordeeld, en wel op grond van het denkschema "overwinnen van tegenwerking"
2. bij de wisselwerking tussen twee zeer ongelijke voorwerpen wordt de relatie tussen actie en reactie verkeerd beoordeeld, en wel door het denken in termen van "sterk-zwak"
3. bij de wisselwerking tussen twee bewegende voorwerpen, waarvan het ene het andere duwt of trekt, worden actie en reactie verward met kracht en tegenkracht;

dit leidt tot een verkeerde beoordeling op basis van "overwinnen van tegenwerking"

4. bij evenwichtssituaties levert de gelijkheid van krachten - hetzij kracht en tegenkracht, hetzij actie en reactie - geen moeilijkheden op.

Consistent met de hypothesen 3 en 4 is de misvatting dat het actie-reactieprincipe uitsluitend zou gelden voor voorwerpen in rust, een mening die ik bij veel studenten in onze lerarenopleiding - kandidaten in de natuurkunde - heb aangetroffen.

Moeilijkheden met het actie-reactieprincipe zijn vaker signaleerd, maar voorzover ons bekend was naar deze moeilijkheden nog geen onderzoek gedaan vanuit hypothesen over het straatbeeld van de leerlingen. In verband met onze hypothesen hebben we aan de leerlingen ook vragen gesteld over alledaagse situaties die in de schoolnatuurkunde zelden aan de orde komen.

4. Uitvoering van het onderzoek

In de winter van 1981/82 hebben Lijnse en ik, geassisteerd door Adriaanse, video-opnamen gemaakt van interviews met een zevental groepjes van twee of drie leerlingen, afkomstig van diverse scholen. Daarna hebben we een vragenlijst opgesteld, die in de zomer van 1982 op drie scholen is voorgelegd aan in totaal 91 leerlingen van derde en vierde klassen vwo.

Bij de interviews zetten we de leerlingen een opstelling voor met een speelgoedtreintje; we ondervroegen hen over de op het treintje werkende krachten, de relaties tussen die krachten en de wijze waarop de voorwaartse kracht tot stand komt. Het krachtenspel in deze probleemsituatie komt overeen met dat bij fietsen en auto's; we wilden zien in hoeverre leerlingen in staat waren om zulke straatsituaties vanuit het schoolbeeld correct te analyseren.

Bij de opstelling van de vragenlijst hebben we gestreefd naar variatie in context: naast alledaagse situaties, o.a. uit verkeer en sport, ook schoolonderwerpen, zoals het waterstofatoom, het stelsel aarde-maan en de werking van magneten.

De leerlingen aan wie we de vragenlijst hebben afgenomen zijn te verdelen in twee groepen, die ik verder met I en II zal aanduiden:

groep I		groep II	
school 1	school 2	school 1	school 3
23 leerlingen	11 leerlingen	31 leerlingen	25 leerlingen
eind 3 vwo	begin 4 vwo	eind 4 vwo	eind 4 vwo

Groep I kon geacht worden voldoende te hebben kennisgemaakt met diverse soorten krachten en hun werkingen om de gestelde vragen te kunnen begrijpen, maar bij hen zijn de principes

van de mechanica nog niet in hun algemene geldigheid en samenhang behandeld. Dat is wel het geval bij groep II, maar het onderzoek gebeurde enkele maanden na de behandeling van de mechanica; in de tussentijd kunnen oppervlakkig aangeleerde aspecten van het schoolbeeld vervaagd en met het straatbeeld verward zijn.

Randvoorwaarde bij de opstelling van de vragenlijst was, dat ze gemakkelijk in een lesuur af te werken moest zijn. Verder moesten we door vorm en volgorde van de vragen camoufleren dat in feite steeds gevraagd werd of de ene kracht gelijk is aan de andere, of groter of kleiner.

Van de 17 gestelde vragen waren er drie minder geschikt, gezien het vrij grote aantal onduidelijke of ontbrekende antwoorden. Van de overige 14 staat een korte beschrijving op blz. 54; twee ervan geef ik als voorbeeld volledig.

Vraag I is een voorbeeld van een schoolbeeldsituatie, waarin het gaat om actie en reactie tussen zeer ongelijke partners; volgens hypothese 2 zal het oordeel hier beïnvloed worden door het denkschema "sterk-zwak".

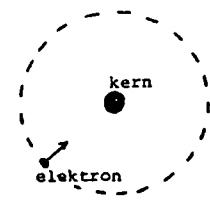
1. In een waterstofatoom draait het elektron in een cirkelbaan om de kern. Het elektron wordt in zijn baan gehouden door de aantrekkingskracht van de kern.

- Oefent het elektron ook een aantrekkende kracht uit op de kern?

0 Ja, en wel even groot als de kracht waarmee de kern het elektron aantrekt.

0 Ja, maar kleiner dan de kracht waarmee de kern het elektron aantrekt

0 Nee, het elektron oefent geen kracht uit op de kern.



Vraag 6 is een voorbeeld van een straatbeeldsituatie, waarbij het in de eerste bewering gaat om kracht en tegenkracht en in de tweede bewering op actie en reactie. Volgens onze hypothesen 1 en 3 zal hier het denkschema "overwinnen van tegenwerking" tot onjuiste antwoorden leiden.

		reactiekracht R, resp. tegenkracht T is			
		groter		kleiner	
		I	II	I	II
1. 'In een waterstofatoom draait het elektron in een cirkelbaan om de kern'. A de kracht die het elektron op de kern uitoefent, R de kracht van het elektron op de kern.		-	51	26	23
2. 'Ik probeer een kist over een horizontale vloer te schuiven, maar ik krijg er geen beweging in'. K de kracht van mij op de kist, T de wrijvingskracht die de vloer op de kist uitoefent. (Andere oorzaken voor niet bewegen: 26, resp. 18).		65	9	0	-
3. 'Ik sta op een plank over een sloot, zodat de plank doorbuigt'. A de kracht van mij op de plank, R de kracht van de plank op mij. (AR-principe als argument bij gelijke krachten: 3, resp. 8).		3	14	69	14
4.  'Een auto botst frontaal tegen een stilstaande auto van hetzelfde type'. Indirecte AR-vraag: is de indruk van de stilstaande auto groter, even groot of kleiner?		27	29	44	-
5.  'Twee karretjes die aan elkaar gekoppeld zijn kunnen wrijvingsloos over een horizontale rijbaan bewegen'. Indirecte AR-vraag: gaan de karretjes na loslaten naar rechts rijden, niet rijden of naar links rijden? (Juiste motivering bij juiste keus: 23 resp. 59).		3	72	26	-
6. 'Een auto trekt een caravan met constante snelheid voort over een vlakke weg'. a) KT-vraag met K de trekkraft, T de wrijvingskrachten op de caravan. b) AR-vraag met A de trekkraft van auto op caravan, R die van caravan op auto. (Juiste motivering bij juiste keuze: 0, resp. 20)		-	17	83	-
7. 'Ik leun met mijn rug tegen een muur'. A de kracht waarmee ik duw, R de kracht die de muur op mij uitoefent.		11	74	3	11
9. 'Bij het kogelstoten oefen ik met mijn hand een kracht uit op de kogel'. A de kracht die ik op de kogel uitoefen, R de kracht die de kogel uitoefent op mijn hand.		9	23	69	0
10.  'Twee schaatser die even zwaar zijn staan eerst stil op het ijs. Op een bepaald moment geeft de linker schaatser de rechter een duw'. Indirecte AR-vraag over de afgelede afstand na 2 seconden.		12	73	15	-
11.  'Een grote en een kleine magneet liggen met de noordpolen naar elkaar toe, zodat ze elkaar afstoten'. A en R de kracht die de grote, resp. de kleine uitoefent. (Juiste motivering bij juiste keuze 9, resp. 25).		-	9	91	-
13. 'Op weg naar school is de ketting van mijn fiets gebroken. Nu laat ik me duwen door een vriendin'. A de kracht waarmee ik geduwd wordt, R de kracht die ik uitoefen.		6	14	71	9
15. 'De maan blijft in haar baan om de aarde door de aantrekkingskracht van de aarde'. A de kracht die de aarde op de maan uitoefent, R de kracht van de maan op de aarde.		-	38	44	18
16. 'Op een voorwerp werken twee krachten in tegengestelde richtingen. Het voorwerp beweegt met een constante snelheid naar rechts'. K de kracht naar rechts, T de kracht naar links.		-	16	84	-
17. 'Een voorwerp V oefent een kracht uit op een voorwerp W. Is het in zo'n situatie altijd zo dat W een even grote kracht op V uitoefent? Bij antwoord 'nee' konden een of meer redenen worden gekozen. 'het maakt daarbij uit of V en W in rust zijn of in beweging' 57, resp. 47 'het maakt daarbij uit wat de massa's van de voorwerpen zijn' 41, resp. 60.		n.v.t.	9	n.v.t.	n.v.t.

6 Een auto trekt een caravan met constante snelheid voort over een vlakke weg. Behalve de trekkraft werken er op de caravan ook wrijvingskrachten (uitgeoefend door het wegdek en door de lucht).

1e bewering: "De trekkraft is groter dan de wrijvingskrachten".

- Ben je het hier mee eens? ja/nee

Motiveer je antwoord!

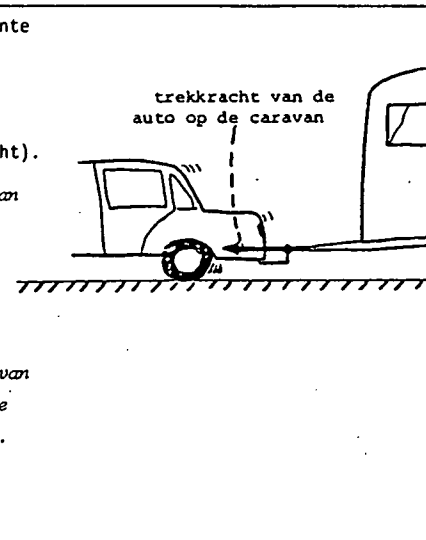
.....

2e bewering: "De kracht waarmee de caravan aan de auto trekt is even groot als de trekkraft van de auto op de caravan".

- Ben je het hier mee eens? ja/nee

Motiveer je antwoord!

.....



5. De vragenlijst en de resultaten

De vragen zijn in het overzicht op blz. 54 verkort weergegeven, de letters A en R staan voor actie en reactie, K en T voor een kracht en een tegenkracht die op hetzelfde voorwerp werken. Met behulp van deze letters zijn ook de keuzemogelijkheden verkort aangegeven, met de percentages voor de groepen I en II, die resp.. niet en wel de bovenbouw-mechanica hebben gehad.

6. Interpretatie van de resultaten

Uiteraard behoeven niet alle geconstateerde fouten gevolg te zijn van het straatbeeld van leerlingen, er zullen ook effecten zijn van onduidelijkheid in de vragen, onnauwkeurig lezen of raden. Toch laten de resultaten zich, over het geheel genomen, goed interpreteren vanuit eerder genoemde of daarbij aansluitende hypothesen over de denkbeelden van leerlingen.

Waar inhoud en vorm van de vragen overeenkwamen hebben we verbanden onderzocht door middel van kruistabellen.

"Overwinnen van tegenwerking - hypothesen 1 en 3

Hypothese 1 wordt in sterke mate ondersteund bij het eerste deel van vraag 6 (KT voor een caravan). Opmerkelijk is hier het geringe verschil tussen de groepen I en II. De gegeven motiveringen wijzen op een sterke overtuiging achter de keuze voor $K > T$ "anders zou de caravan niet rijden", "anders zouden ze stilstaan", "de caravan rijdt toch", en een enkele maal expliciet: "de trekkraft overwint de wrijvingskrachten".

Hypothese 1 wordt evenzeer ondersteund bij vraag 16 (KT algemeen). De correlatie met vraag 6 is hoog: 90% van groep I en 86% van groep II legt bij beide vragen dezelfde relatie tussen K en T.

Hypothese 3 wordt voor groep I sterk ondersteund bij het tweede deel van vraag 6 (AR tussen auto en caravan). De antwoorden van de meeste leerlingen komen overeen met die op het eerste deel van de vraag, met dezelfde motivering; dit wijst erop dat de reactiekracht niet wordt onderscheiden van een tegenkracht. Bij groep II lijkt het schoolbeeld te domineren - 62% kiest het goede antwoord - maar slechts 36% verwijst in de motivering duidelijk naar het actie-reactieprincipe. Afwijkende motiveringen zijn o.a. dat auto en caravan even ver van elkaar blijven of dat anders de trekhaak zou breken, misschien te interpreteren als: "auto en caravan blijven in rust t.o.v. elkaar, dus de krachten heffen elkaar op".

Bij de vragen 9 (kogel wordt weggestoten) en 13 (fietser wordt geduwd) was geen toelichting gevraagd, maar de resultaten lijken hypothese 3 te bevestigen. Opmerkelijk is hier het terugvallen van de resultaten van groep II in vergelijking met de resultaten bij vraag 6; oorzaak kan zijn dat de tweede bewering in vraag 6 in haar formulering gemakkelijker doet denken aan het actie-reactieprincipe.

"Sterk en zwak" - hypothese 2

Hypothese 2 vindt duidelijk steun in de antwoorden op vraag 11: de grootste of de sterkste magneet oefent de grootste kracht uit, volgens een ruime meerderheid in beide groepen; enkele leerlingen schrijven erbij dat de grootste ook de sterkste is.

Aanzienlijk minder bevestiging vindt hypothese 2 in vraag 1 (kern en elektron). Een oorzaak van het betere resultaat kan zijn dat hier, anders dan in vraag 11, niet uitdrukkelijk van een grootste of sterkste partner wordt gesproken. Bovendien gaat het om een typisch geleerde situatie die alleen appelleert aan het schoolbeeld. Toch zou de gegeven situatie gemakkelijk het schema "sterk-zwak" kunnen oproepen, omdat de kern de beweging van het elektron "beheerst". Daar staat tegenover dat leerlingen zich kunnen herinneren dat de ladingen even groot zijn, en dat ze de gelijkheid van krachten baseren op de (niet voor de geldigheid van het actie-reactieprincipe noodzakelijke) gelijkheid van ladingen. Zo'n element van gelijkheid ontbreekt in vraag 15 (aarde en maan), maar hier kan de overeenkomst met vraag 1 de keuze hebben beïnvloed; de antwoorden vertonen vooral in groep II een sterke correlatie (82% komt overeen). Van de leerlingen in groep II die bij vraag 15 kiezen voor gelijke krachten, geeft ruim de helft bij vraag 17 aan, dat de massa's verschil kunnen uitmaken voor de onderlinge krachtwerking tussen twee voorwerpen.

Het denkschema "sterk-zwak" lijkt relatief weinig te worden toegepast op de magneet en het stuk ijzer in vraag 5. Hier kunnen de leerlingen echter bij hun keuze geholpen zijn door een intuïtief oordeel dat de wagentjes niet zomaar "uit zichzelf" kunnen gaan rijden. Daarop wijst het feit dat een motivering in termen van wederzijdse aantrekkingskracht slechts wordt gegeven door eenderde, resp. tweederde van de leerlingen die in groep I en II het juiste antwoord kiezen.

Wanneer de partners in een wisselwerking gelijk zijn, zodat het schema "sterk-zwak" niet opgeroepen wordt, maken de leerlingen veel minder onjuiste keuzen. Relatief weinig leerlingen tekenen in vraag 10 een asymmetrische situatie, daarbij komt vrijwel even vaak de linker als de rechter schaatser het verst. Het kan zowel aan "zich afzetten tegen de ander" gedacht zijn als aan "de ander wegduwen". Dat deze effecten samengaan is de leerlingen uit ervaring bekend; dat deze effecten in dit geval ook tot gelijke verplaatsingen leiden sluit aan bij een gevoel voor symmetrie. Hier kan het schoolbeeld met passende proeven goed aansluiten op de ervaring verwerkt in het straatbeeld.

Moeilijker blijkt het probleem van de botsende auto's in vraag 4. Hier hadden we geen motivering gevraagd, zodat we naar de gedachten van de leerlingen moeten gissen. Te denken is aan associaties als "de klap moeten opvangen" bij de stilstaande auto en "zich te pletten rijden" bij de andere. Onzeker blijft ook in hoeverre de keus van het goede antwoord berust op duidelijk inzicht in de relativiteit van beweging en rust.

Gelijke krachten bij rust - hypothese 4

Een zeer verrassend resultaat vonden we de geringe mate waarin hypothese 4 werd bevestigd bij de vragen 2 (duwen tegen een kist) en 3 (staan op een plank).

Bij vraag 2 schrijft 26% van groep I en 18% van groep II het niet bewegen van de kist toe aan andere oorzaken dan de wrijvingskracht: vooral de zwaartekracht, de zwaarte van de kist en de massa van de kist worden genoemd. Opmerkelijker nog is dat volgens 65% resp. 62% de tegenkracht groter is. Daarin kan de gedachte meegespeeld hebben dat de wrijvingskracht niet maximaal hoeft te zijn, dus groter zou kunnen zijn dan ze nu is. Waarschijnlijker lijkt ons dat de situatie het beeld oproept van een wedstrijd, een krachtmeting in de zin van het spraakgebruik, die ik verlies. (Een psycholoog die deze vraag onder ogen kreeg, vertelde me dat hij de situatie inderdaad zo had opgevat).

Bij vraag 3 wordt het doorbuigen van de plank als argument gebruikt, door de meerderheid van groep I en een kwart van groep II, voor het antwoord dat de plank een kleinere kracht uitoefent. Ook deze situatie kon het beeld oproepen van een 'krachtmeting', waarbij de plank gedwongen wordt mee te geven. Opmerkelijk is hier ook, dat bij het

goede antwoord slechts sporadisch het actie-reactieprincipe als argument wordt gegeven. Veel vaker wordt iets gezegd over evenwicht of over het niet breken van de plank.

Bij vraag 7 - leunen tegen een muur - zijn de resultaten veel beter, maar hier ontbreekt ook het aspect van 'krachtmeting'. Op grond van het bovenstaande menen we hypothese 4 te moeten verwerpen en te moeten vervangen door:

- 4* bij evenwichtssituaties die associaties oproepen met strijd of dwang, wordt de relatie tussen kracht en tegenkracht en/of de relatie tussen actie en reactie verkeerd beoordeeld op grond van het denken in termen van "Wie Wint".

Actief en passief

Een extreme vorm van de diverse eerder genoemde misvattingen is, dat de reactiekracht geheel ontbreekt. In groep II komt dit slechts sporadisch voor, in groep I wat vaker: 23% denkt dat het elektron kracht uitoefent op de kern en 18%, merendeels dezelfde dat de maan geen kracht uitoefent op de aarde. Ook de plank in vraag 3, de maan in vraag 7 en de voortgeduwde fietser in vraag 13 worden soms als passief gezien: resp. 14%, 11% en 9% in groep I vindt dat zij geen kracht uitoefenen.

Het komt ook voor dat de tegenkracht ontbreekt. In één van onze interviews over de krachten op een treintje werden de rails als passieve ondersteuning beschouwd; het betrof hier twee leerlingen uit een vierde klas havo, die nog geen bovenbouw mechanica hadden gehad. Het treintje wordt wel door de aarde aangetrokken, maar "hij kan niet verder naar beneden, omdat hij op de aarde is"; er werkt op het treintje geen kracht naar boven. Iets dergelijks wordt door Minstrell (1982) geconstateerd bij het voorbeeld van een boek op tafel: de helft van zijn leerlingen in de hoogste klas van een Amerikaanse highschool vindt, dat de tafel "niets doet" en dus geen kracht uitoefent.

Kracht of geen kracht?

In onze hypothesen zijn we ervan uitgegaan dat leerlingen in derde en hogere klassen wel inzien, welke krachten in een gegeven situatie op een voorwerp werken. De verwachte misvattingen zouden blijken uit een onjuiste beoordeling van de relatie tussen K en T of A en R .

Uit de zojuist onder "actief en passief" gegeven voorbeelden blijkt, dat ook nog een fundamentele misvatting optreedt: wat in het schoolbeeld gezien wordt als een kracht, is soms in het straatbeeld iets anders, b.v. passief verzet.

Het omgekeerde hebben we ook aangetroffen: leerlingen zien in het straatbeeld een

"kracht" die in het schoolbeeld niet past. In onze interviews zagen alle leerlingen als voorwaartse kracht op het treintje "de kracht van de motor" werken. Bij doorvragen - waarom vertoont het treintje dan geen neiging om voorwaarts te bewegen als je het met draaiende wielen boven de rails houdt? - kwamen enkele leerlingen tot het idee van een overbrenging van de "motorkracht" door de assen, maar niet tot de beslissende stap naar de wisselwerking tussen treintje en rails. Ook natuurkundestudenten hebben naar mijn ervaring veelal grote moeite, bij een vraag over een rijdende auto, met het denkbeeld dat het wegdek een voorwaartse kracht uitoefent op de aangedreven wielen. Deze moeite verradt o.i. de invloed van het schema "actief-passief": de voortdrijvende kracht laat zich wel associëren met de actieve motor, maar niet met het passieve wegdek.

7. Conclusies

De resultaten van ons onderzoek ondersteunen de eerste drie hypothesen en leiden tot wijziging van de vierde. Bovendien bleek dat de moeilijkheden van de leerlingen nog lang niet verdwenen zijn na de behandeling van de mechanica in de vierde klas. Weliswaar was de onderzochte groep niet groot - zoals gebruikelijk in dit soort onderzoek - maar we hebben geen reden om aan te nemen dat het natuurkunde-onderwijs op de betrokken scholen ongunstig afsteekt bij dat op andere. Bovendien leiden onderzoeken elders, voorzover met het onze vergelijkbaar, tot overeenkomstige conclusies over de resistentie van de eigen denkbeelden van leerlingen. Zoals Solomon (1983) in Engeland constateert:

"from all over the world, America, Scotland, Australia, Canada and New Zealand the same sorry stories poured in, of students who seemed unable to use the physics which they were thought to have learnt".

Zij waarschuwt hierbij voor de lichtvaardige conclusie dat het onderwijs niet zou deugen of dat natuurkunde gewoon te moeilijk zou zijn; daarvoor zijn de aard en de oorzaken van de moeilijkheden nog te weinig onderzocht.

Met ons onderzoek hopen we iets te hebben bijgedragen tot beter inzicht in het straatbeeld van leerlingen ten aanzien van het begrip kracht. Verder onderzoek zal nodig zijn om dit beeld helderder te krijgen en duidelijker ook in verband te brengen met de alledaagse ervaring, het algemene taalgebruik en "common sense". Belangrijke aanzetten daartoe liggen naar onze mening in het onderkennen van denkschema's als "overwinnen van tegenwerking" en "sterk-zwak". Die schema's passen bij een begrip "kracht" dat ligt in de sfeer van actie en inspanning; ze passen ook bij methoden van "krachtmeting", waarin beweging uitwijst wie het sterkst is.

8. Suggesties voor het onderwijs

Verschillende onderzoekers hebben aan de constatering van veelvuldig bij leerlingen en studenten voorkomende misverstanden suggesties verbonden voor het onderwijs. Warren (1979) benadrukt vooral het belang van een zo zuiver mogelijke presentatie van het schoolbeeld en critiqueert onduidelijkheden in schoolboeken. Jung heeft meer oog voor de invloed van "Alltagsvorstellungen" en waarschuwt voor formuleringen en voorbeelden die door leerlingen verkeerd geïnterpreteerd kunnen worden, zodat ze het straatbeeld zelfs kunnen versterken.

Zulke suggesties gaan naar onze mening niet ver genoeg. Belangrijk is vooral dat de alledaagse ervaringen en het gewone taalgebruik in de natuurkundeles betrokken worden. Hoe komt het b.v. dat je bij het feitsen "meer kracht moet zetten" om sneller te gaan? Minstrell (1982) geeft een aardige beschrijving van een klassediscussie, over de kracht die een tafel uitoefent op een boek en analoge situaties, waarin hij de leerlingen stimuleert om met hun eigen denkbeelden en redeneringen te komen. Zulke discussies brengen leerlingen ertoe hun opvattingen te verhelderen, waardoor verschillen tussen straatbeeld en schoolbeeld duidelijker aan het licht komen. Overwegingen als deze hebben voor mijzelf meegespeeld bij mijn bijdrage aan de revisie van het PLON-thema Verkeer (1983) voor de vierde klas havo. In de behandeling van het krachterspel bij fietsen, autorijden, varen en vliegen nemen het uitgebreide traagheidsprincipe en het actie-reactieprincipe een belangrijke plaats in.

Enkele zeer specifieke suggesties zijn te verbinden aan bepaalde vragen uit onze lijst. Situaties zoals geschetst in de vragen 4, 5, 10 en 11 kunnen dienen als uitgangspunt voor discussie in de klas. Ons onderzoek suggereert dat het geen overbodige luxe is aan het AR-principe meer experimenten, voorbeelden en uitleg te verbinden dan gewoonlijk gebeurt. Een instructieve overgang van een symmetrische situatie naar een asymmetrische als in vraag 11 is te maken door met twee gelijke magneten te beginnen en dan aan één kant een identieke magneet toe te voegen. Het proefje in vraag 5 kan dienen om duidelijk te maken dat inwendige krachten geen invloed kunnen hebben op de beweging van een systeem als geheel. Bij vraag 4 komt de relativiteit van beweging en rust aan de orde, waarbij tevens het schema "actief-passief" ongeldig blijkt.

Niet alle vragen uit onze lijst lenen zich voor een dergelijk gebruik, hoewel bij sommige wellicht wel geschikte varianten te verzinnen zijn. We zouden het betreuren als de lijst gebruikt zou worden als papieren oefenmateriaal om leerlingen beter af te richten op het toepassen van het traagheidsprincipe en het actie-reactieprincipe. Het juiste antwoord is in wezen waardeloos als er niet een juist begrip uit spreekt.

Literatuur

- DIJKSTERHUIS, E.J. 1950. *De mechanisering van het wereldbeeld*. Meulenhoff, Amsterdam.
- DRIVER, R. en EASLEY, J. 1978. Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in science education*, Vol.5, p.61.
- JUNG, W. en WIESNER, H. 1979. Zur Definition fachdidaktischer Probleme am Beispiel der Mechanik. *Physica Didactica*, 6, p. 203.
- JUNG, W. en Wiesner, H. 1980. Wie wenden Schüler Physik an zur Erklärung alltäglicher Erscheinungen? *Physica Didactica*, 7, p. 147.
- JUNG, W., WIESNER, H. en ENGELHARDT, P. 1981. *Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik*. Verlag Barbara Franzbecker, Bad Salzdetfurth.
- LIJNSE, P.L. 1981. Schoolbeeld of straatbeeld: over onderzoek naar begripsmoeilijkheden van leerlingen bij het leren van mechanica. *Verslag van de konferentie 'Woudschoten'*, Werkgroep Natuurkunde-Didaktiek.
- McCLOSKEY, M. 1983. Intuitive physics. *Scientific American*, Vol.248, 4, p. 114.
- MINSTRELL, J. 1982. Explaining the 'at rest' condition of an object. *The physics teacher*, Vol.20, 1, p. 10.
- SOLOMON, J. 1983. Is physics easy? *Physics Education*, Vol.18, p. 155.
- VEGTING, P. 1977. Kracht. *Paradise*, 46, p. 2.
- VIENNOT, L. 1978. *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Proefschrift, Université de Paris VII.
- VIENNOT, L. 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, Vol.1, p. 205.
- WARREN, J.W. 1971. Circular motion. *Physics Education*, Vol.6, p. 74.
- WARREN, J.W. 1979. *Understanding force*. Murray, London.

D BIJLAGEN

4. UITBREIDINGEN BIJ HET THEMA

D.4. UITBREIDINGEN BIJ HET THEMA

Toelichting

Bij het uitwerken van het thema "Verkeer" hebben we ons nogal strenge beperkingen opgelegd. Binnen de PLON-kursus voor HAVO-bovenbouw zijn we uitgegaan van een behandelingsperiode van 6 weken met 4 lessen per week. Gebruik van het thema lijkt ons ook het overwegen waard voor leraren die niet aan het PLON-experiment deelnemen, maar wel voelen voor een minder formele behandeling van de mechanica in de vierde klas HAVO en/of VWO. We kunnen ons voorstellen dat deze gebruikers de leerstof in het thema te beperkt vinden, met het oog op aansluiting bij andere onderwerpen en het examenprogramma. Daarom geven we hieronder een aantal voorbeelden van uitbreidingen die aansluiten bij het thema. Onderwerpen die niet goed passen in de context van verkeer, zoals de horizontale worp en de volkomen veerkrachtige botsing, laten we hier buiten beschouwing.

Bij 5.3: de overbrenging van snelheid en kracht

Model van een overbrenging

Als model voor een overbrenging kun je een trappenschijf gebruiken, een samenstel van vast aan elkaar verbonden schijven, draaibaar om een vaste as. Via draden, om de schijven gewikkeld, kun je trekkrachten uitoefenen, die een draaiing linksom of rechtsom kunnen bewerken. Experimenteel blijkt dat de schijf in evenwicht is wanneer

$$(F \times r)_{\text{links}} = (F \times r)_{\text{rechts}}$$

Het produkt Fr is een maat voor de draaiwerking van een kracht; we noemen dit produkt: het *moment* van de kracht.

De algemene definitie luidt: het moment van een kracht is het produkt van de kracht en de arm; de arm is de afstand van de lijn waarlangs de kracht werkt tot de draaiingsas. De voorwaarde, dat bij evenwicht de momenten linksom en rechtsom gelijk moeten zijn, noemen we de *momentenwet*.

Bij een eenparige draaiing van de schijf vind je dezelfde verhouding tussen de krachten, althans bij verwaarloosbare wrijving. De stijgsnelheid van het ene voorwerp en de daalsnelheid van het andere verhouden zich als de stralen van de bijbehorende schijven; daaruit volgt:

$$(F \times v)_{\text{links}} = (F \times v)_{\text{rechts}}$$

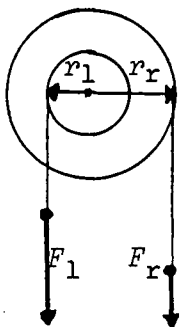
Het vermogen dat nodig is om het ene voorwerp omhoog te brengen wordt dus geleverd door de daling van het andere. De overbrenging levert geen winst op aan vermogen, maar ook geen verlies, afgezien van de onvermijdelijke wrijving.

De overbrenging bij een fiets

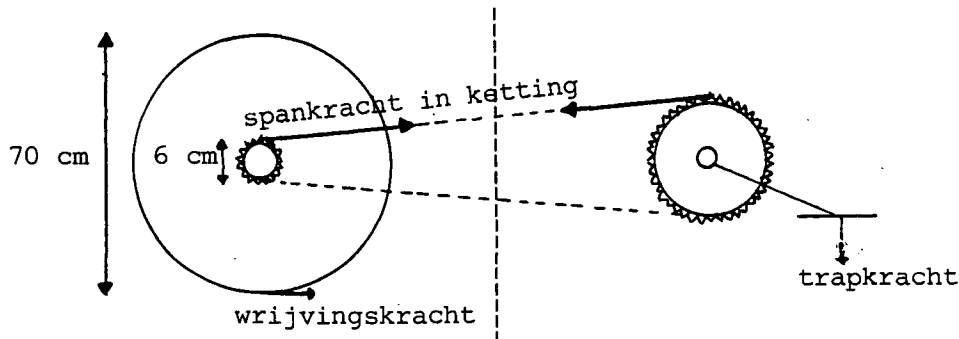
In de figuur hieronder is het krachten spel getekend waarmee je te maken hebt bij de overbrenging van de kracht op de pedalen naar het wegdek. Het linkerdeel van de figuur kun je vergelijken met een trappenschijf, als het achtertandwiel vast verbonden is met het achterwiel. (Bij sommige fietsen is een overbrengingsmechanisme ingebouwd in de achteras.)

In het getekende geval moet de trekkracht van de ketting $\frac{70}{6}$ maal zo groot

zijn als de wrijvingskracht van het wegdek.



In het rechterdeel van de figuur is aangegeven, dat de trekkracht van de ketting de draaiing van het voorste tandwiel tegenwerkt. Die tegenwerking moet je compenseren door de kracht, waarmee je voet op het pedaal drukt. Bij dit laatste treedt een complicatie op: de arm van de trapkracht varieert tussen een maximum -de volle afstand tussen pedaal en trapas- bij horizontale stand van je trappers en nul in de verticale stand.



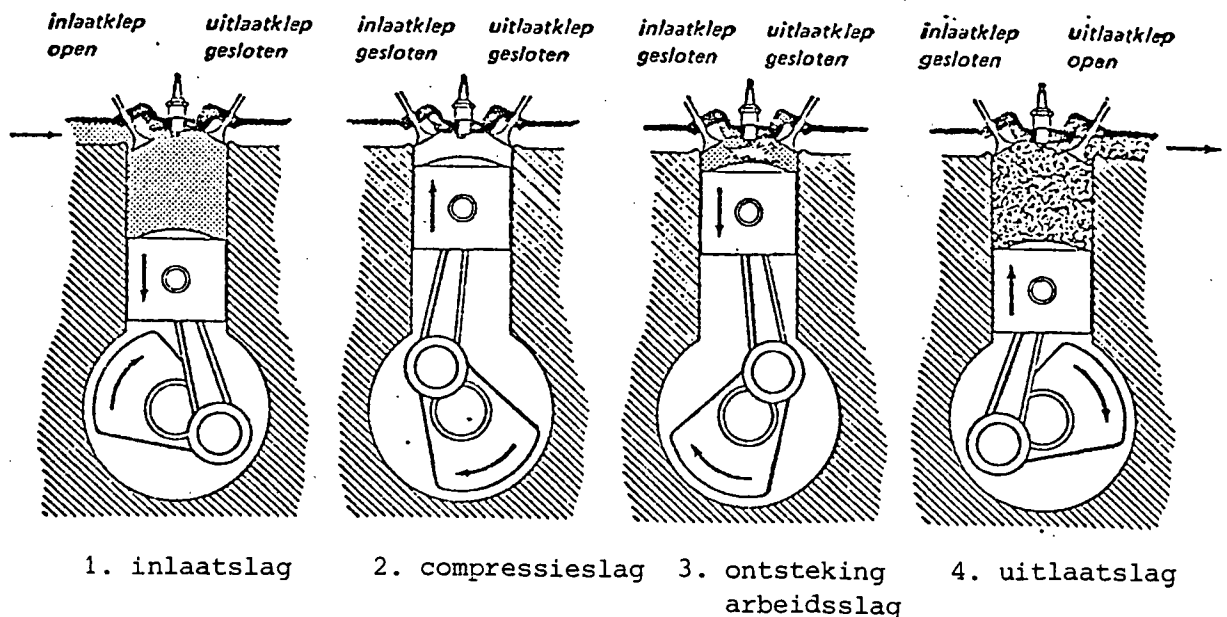
Heb je keuze tussen verschillende versnellingen -wielrenners spreken van "verzet"- , dan kun je de machinerie zo goed mogelijk aanpassen aan de werking van de spieren, gewrichten enz. in je lichaam.

Bij 5.4: brandstofverbruik en rendement

Arbeid van een motor

Het meest gebruikte motortype voor personenauto's is de viertakt benzinemotor. De figuur hieronder geeft een overzicht van het proces, dat zich in elke cilinder van zo'n motor afspeelt:

- bij de inlaatslag wordt het volume boven de zuiger vergroot, waardoor lucht met benzinedamp binnenstroomt bij een druk van ongeveer 1 bar;
- bij de compressieslag wordt het gasmengsel samengeperst tot een ongeveer 10-voudige druk. Aan het eind van deze slag wordt het gasmengsel aangestoken door een vonk van de bougie;
- bij de arbeidslag drijft het brandende gasmengsel met hoge druk de zuiger naar beneden;
- bij de uitlaatslag worden de verbrandingsgassen uit de cilinder verdreven.



D BIJLAGEN

4. UITBREIDINGEN BIJ HET THEMA

Een bromfietsmotor werkt volgens hetzelfde principe, maar door een andere constructie wordt het proces in twee slagen afgewerkt.

Op de arbeidslag kun je de definitie van arbeid toepassen: voortstuwende kracht $\times$ weg. De weg is de afstand tussen hoogste en laagste stand van de zuiger: de slag. De kracht is gelijk aan de druk van het gas in de cilinder maal het oppervlak van de zuiger. (Dit volgt uit de definitie van druk: druk is de kracht gedeeld door het oppervlak.)

Twee van de genoemde factoren, namelijk slag en zuigeroppervlak, zijn te combineren tot één, namelijk de volumeverandering van het gasmengsel tijdens de slag. Blijft als andere faktor de gemiddelde druk tijdens de arbeidslag; een hoge druk is gunstig voor de arbeid per slag.

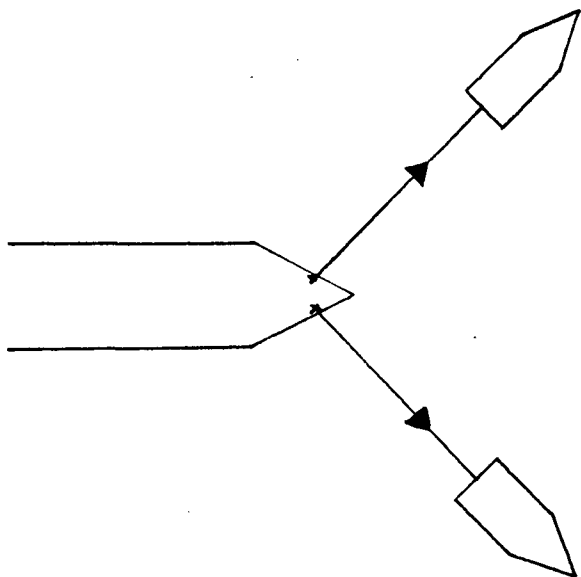
De compressieslag kost arbeid, want het samengeperste gasmengsel werkt de beweging tegen. Waar het vooral op aankomt is het verschil tussen de meewerkende druk tijdens de arbeidslag en de tegenwerkende druk tijdens de compressie. Dat verschil komt tot stand door de temperatuurstijging bij de verbranding van de benzinedamp.

In een automotor worden vier cilinders, soms ook wel zes of acht, gecombineerd op zodanige manier, dat de arbeidslagen regelmatig op elkaar volgen. Ook het vliegwiel draagt bij tot een regelmatige beweging. De tekening en het leesstukje op blz. 57 zijn bedoeld om een indruk te geven van het functioneren van zo'n motor als geheel.

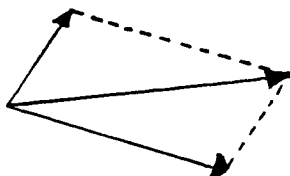
Bij 6.1: het traagheidsprincipe

Combineren van krachten

Wanneer krachten niet langs dezelfde lijn werken, kun je ze niet zomaar optellen of aftrekken. Een voorbeeld zie je hieronder getekend: twee sleepboten kunnen trekkrachten uitoefenen schuin naar voren, die hetzelfde effect opleveren als één kracht naar voren.



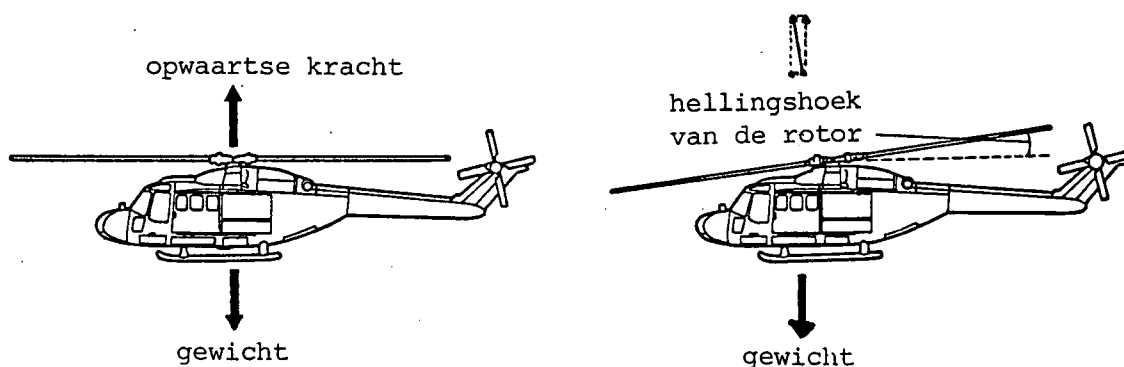
Door middel van modelproeven met gesleepte voorwerpen of -veel eenvoudiger- door onderzoek van evenwichtssituaties kun je nagaan hoe je twee gegeven krachten kunt vervangen door één. Het resultaat is te tekenen in een parallelogram van krachten. De gegeven krachten moet je op schaal tekenen vanuit een punt; deze figuur aanvullen tot een parallelogram; de diagonaal vanuit het gekozen beginpunt vertegenwoordigt de kracht die het gegeven tweetal kan vervangen.



Deze kracht noemen we de resulterende kracht of resultante, of ook wel de som van de gegeven krachten.

Omgekeerd kunnen we volgens dezelfde methode een gegeven kracht inwisselen voor twee andere. Een voorbeeld waarin dit van pas komt zie je hieronder. In de linkerfiguur staat de helicopter stil; de lucht die door de rotor omlaag wordt gejaagd oefent de benodigde opwaartse kracht uit. In de rechterfiguur is de rotor iets naar voren gekanteld; de lucht oefent ook hier een kracht uit die dwars op het draaiingsvlak van de rotor staat. Deze kracht is door middel van een parallelogram -in dit geval een rechthoek- in te wisselen voor een verticale en een horizontale kracht. We spreken in zo'n geval van het ontbinden van een kracht in twee componenten.

- Vr. | Aan welke voorwaarden moeten de verticale en de horizontale component van de kracht op de rotor voldoen, wil de helicopter met constante snelheid rechtuit vliegen?

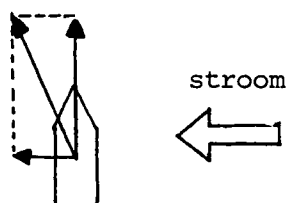


D BIJLAGEN

4. UITBREIDINGEN BIJ HET THEMA

Vectoren

Om krachten te kunnen samenstellen of ontbinden, moet je de grootte en de richting kennen. De optelling door middel van een parallellogram is kenmerkend voor vectoren in de wiskunde; in de natuurkunde noemen we kracht dan ook een vectorgrootheid. Snelheid is eveneens een vectorgrootheid. Dat kun je o.a. zien in het voorbeeld van een schip dat in stromend water vaart. Ten opzichte van het water maakt het schip door middel van zijn schroef een bepaalde snelheid, maar tegelijk wordt het door de stroom meegevoerd. De snelheid ten opzichte van de wal is de vectorsom van de vaarsnelheid en de stroomsnelheid.



Om het vectorkarakter van krachten en snelheden aan te geven zetten we soms een pijltje boven de symbolen: $\vec{F}$ en $\vec{v}$. Als de snelheid van een voorwerp niet verandert in grootte en ook niet in richting kunnen we dat aangeven met: $\vec{v}$ is constant. Zo bijvoorbeeld in het traagheidsprincipe:

als $\vec{v}$ constant is moet $\vec{F} = 0$ zijn;

als $\vec{F} = 0$ is moet $\vec{v}$ constant zijn.

Bij 6.2: het versnellingsprincipe*Eenparige cirkelbeweging*

Een ruimteschip kan, zonder zijn motoren te gebruiken, een cirkelbaan beschrijven met als middelpunt het middelpunt van de aarde. Op zo'n ruimteschip werkt nog steeds de zwaartekracht, al is ze wat zwakker dan hier. (Op 300 km hoogte bijvoorbeeld is de zwaartekracht nog 90% van de zwaartekracht op aarde.) Toch blijft het ruimteschip met constante snelheid rondgaan. Dat komt doordat de kracht hier voortdurend dwars op de beweging werkt: niet naar voren en niet naar achteren, maar precies daar tussenin, dus niet versnellend en niet vertragend.

Zo gezien zou hier het versnellingsprincipe niet gelden. Maar in de algemene bewegingstheorie wordt aan het begrip versnelling een uitgebreidere betekenis gegeven. In de definitie $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ wordt Δv vervangen door $\Delta \vec{v}$, dus

door de verandering van de snelheidsvector $\vec{v}$. Ook richtingsverandering van $\vec{v}$ "telt" dan als versnelling; versnelling wordt daardoor ook een vectorgrootheid.

Het verband tussen kracht, massa en versnelling wordt dan algemeen geldig in de vorm $\vec{F} = m\vec{a}$. Maar daar zullen we in dit thema niet mee werken.

Een cirkelbeweging waarbij de grootte van de snelheid niet verandert noemen we eenparig. Bij een eenparige cirkelbeweging moet de resulterende kracht steeds naar het centrum gericht zijn; zo'n kracht wordt "centripetaal" of "middelpuntzoekend" genoemd. In het voorbeeld hierboven werkt op het ruimteschip de zwaartekracht als centripetale kracht. Wanneer je met constante snelheid een cirkelbaan fietst op een plein, gebruik je als centripetale kracht de wrijvingskracht die het wegdek dwars op je banden uitoefent doordat je je fiets laat overhellen.

Bij 6.3: het actie-reactieprincipe*Inwendige krachten*

Binnenin een rijdende auto werken allerlei krachten, o.a. tussen de zuigers en het gas in de cilinders, tussen de zuigerstangen en de krukas, tussen de tandwielen in de versnellingsbak, tussen het aandrijvingssysteem en de wielassen. Volgens het wisselwerkingsprincipe heb je hierbij steeds te maken met twee even grote krachten in tegengestelde richting. Wanneer je de som opmaakt van alle krachten die op de auto werken, dan vallen de inwendige krachten twee aan twee tegen elkaar weg.

Daarmee komen we nog even terug bij het traagheidsprincipe: zonder invloed van buitenaf kan de snelheid van een voorwerp niet veranderen.

De resultante van de inwendige krachten is altijd nul; daarom zijn voor snelheidsverandering van een voertuig, vaartuig of vliegtuig altijd krachten van buitenaf nodig.

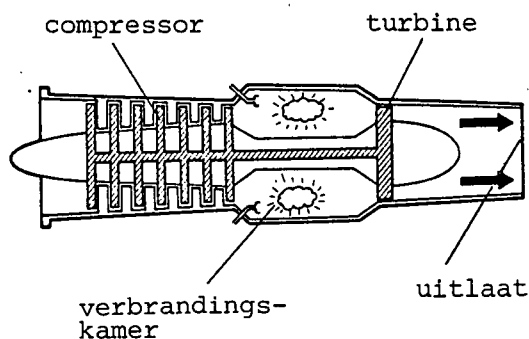
- Vr. Een ruimteschip ver van de aarde heeft geen lucht om zich heen, waartegen het zich zou kunnen afzetten. Toch kan het zijn snelheid veranderen door middel van zijn motor. Wat voor soort wisselwerking wordt hierbij gebruikt?

Bij 6.4: stoot en impuls*Impuls bij straalaandrijving*

De motoren van een straalvliegtuig stoten een straal gas achterwaarts; dit gas oefent een voorwaartse reactiekracht uit op de motoren. Die voorwaartse kracht moet, bij een constante snelheid, de tegenwerkende luchtweerstand goedmaken.

Het uitstoten van het gas gebeurt continu, maar ook hier geldt de relatie tussen stoot en impulsverandering $F \Delta t = m \Delta v$.

Door $\Delta t = 1$ seconde te nemen kun je uit deze vergelijking aflezen dat de kracht gelijk is aan de impulsverandering van het gas dat per seconde wordt uitgestoten. Het is dus belangrijk dat de gasstraal een grote snelheid heeft; dit vereist een hoge temperatuur.



- Vr. In een straalmotor komt van voren 20 kg lucht per seconde binnen met een snelheid van $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. De uitgestoten straal verbrandingsgassen heeft een snelheid van $700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Bereken de stuwkracht van de motor, aannemend dat per seconde 20 kg gas uitgestoten wordt.

In werkelijkheid zal er per seconde wat meer dan 20 kg gas uitgestoten worden. Wat is hiervan de oorzaak?

Ook de voortstuwing van ruimteschepen berust op het uitstoten van een straal gas. Alleen is de zuurstof voor de verbranding niet uit de omgeving te halen; de benodigde zuurstof wordt meegenomen in vloeibare toestand bij een

D BIJLAGEN

4. UITBREIDINGEN BIJ HET THEMA

temperatuur van ongeveer 200°C onder nul. Een andere oplossing is te vinden in chemische reacties waarvoor geen vrije zuurstof nodig is.

Bij 6.5: arbeid en kinetische energie

Inwendige en uitwendige arbeid

In 6.3 hebben we gezien dat inwendige krachten, volgens het wisselwerkingsprincipe, tegen elkaar wegvallen als het gaat om de netto kracht F in $F = ma$. Die netto kracht gebruiken we ook voor de berekening van de netto verrichte arbeid $W = Fs$.

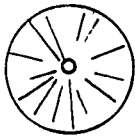
Hier lijkt toch iets niet te kloppen, als je bijv. denkt aan de arbeid die nodig is om een auto met constante snelheid te laten rijden. De voorwaartse kracht F wordt uitgeoefend door het wegdek, de benodigde arbeid is Fs , maar je kunt toch niet beweren dat het wegdek arbeid levert? Inderdaad wordt hier de benodigde arbeid geleverd door de motor, dus door inwendige krachten. Maar die arbeid kan alleen gebruikt worden voor de voortstuwing, via het overbrengingssysteem, met behulp van de uitwendige kracht F ; de reactiekracht van het wegdek. De arbeid wordt hier dus geleverd *door* inwendige krachten, maar wel *door middel van* een uitwendige kracht.

Iets dergelijks geldt bij het remmen: de remmende kracht F wordt altijd uitgeoefend door het wegdek. De benodigde negatieve arbeid kan verricht worden door diezelfde uitwendige kracht, nl. bij geblokkeerde wielen, maar ook door inwendige krachten tussen de delen van het remsysteem.

Bij een autobotsing wordt de kinetische energie gedeeltelijk weggewerkt door de inwendige krachten die bij de vervorming van het materiaal optreden. Vandaar dat in advertenties wel gesproken wordt van "energieabsorberende kreukzones".

Rotatie-energie

Breng een los fietswiel in draaiing en zet het op de grond: het blijkt over de energie te beschikken om een flinke afstand af te leggen. De energie van zo'n draaiend wiel noemen we rotatie-energie. Deze energie is een vorm van bewegingsenergie, want elk stukje van het wiel heeft tengevolge van de draaiing een snelheid. Die snelheid is niet voor elk deel van het wiel even groot: wat het verst van de as zit, heeft de grootste draaisnelheid. De belangrijkste toepassing, wat het verkeer betreft, is het vliegwiel dat bij zuigermotoren gebruikt wordt om de onregelmatigheden in de beweging "af te vlakken".



LESSCHEMA voor 'VERKEER'/PLON Havo 4/CSG 'Jan van Arkel' 1984-1985.

Het thema 'Verkeer' bevat naast activiteiten die voor iedereen gelijk zijn ook weer keuzemogelijkheden. In het ene geval moet daarover gerapporteerd worden (cijfer !), in het andere geval moet je via flappen je gegevens presenteren: die gegevens zullen in allerlei opgaven nodig blijken te zijn.

Het is waarschijnlijk wel handig om dit hele schema van te voren eens door te nemen: je weet dan op tijd wanneer je zult moeten kiezen, en kunt je daar dan ook op voorbereiden.....

Veel plezier !

Huiswerk voor les 1: Lees hoofdstuk 1 'Oriëntatie'/ lees hoofdstuk 2 tot halverwege blz..12/ maak opg. 2.1: 1 t/m 4.

LES 1: We lopen met elkaar even de opzet en oriëntatie door, daarna besteden we aandacht aan par. 2.1.

Huiswerk voor les 2: Lees par. 2.1 en 2.2/ maak de opgaven uit 2.1 en 2.2.

LES 2: We bekijken de theorie en de opgaven/ je maakt zelf een tikkerband.

Huiswerk voor les 3: Lees par. 2.3 en 2.4/ maak opg. 2.3: 1 t/m 5.

LES 3: Vragen over de theorie kunnen opgehelderd worden, we controleren de opgaven.

Huiswerk voor les 4: Maak opg. 2.4/ lees 2.5 en 2.6/ maak opg. 2.5.

LES 4: Als de vorige les - we proberen opg. 2.5: 3 te demonstreren....

Huiswerk voor les 5: Maak opg. 2.6/ lees 2.7, 2.8 en 2.9/ maak de opgaven uit die paragrafen.

LES 5: Zie les 3, daarnaast demonstreren we de luchtkussenbaan.

Huiswerk voor les 6: Lees par. 3.1 en 3.2 (dat verhaal over het opzetten van onderzoeken en meetonzekerheden kan geen kwaad).

KIEZEN UIT	
3.3	(tweemaal)
3.4	(tweemaal)
3.5	(tweemaal)
3.6	(tweemaal)

Je zult in les 7 en 8 met eigen onderzoeken in de weer moeten: maak alvast thuis een eerste en tweede keus! Meet thuis je spierkracht (pas op met je voeten: je kunt makkelijk de weegschaal of de deurpost kapot drukken...).

LES 6: Vragen over par. 3.1 en 3.2 kunnen opgehelderd worden.

We meten reaktietijden. Je keuze voor eigen onderzoeken wordt geïnventariseerd.

D BIJLAGEN

5. VOORBEELD VAN EEN LESSHEMA

Huiswerk voor les 7 en 8: Voorbereiden en uitwerken van je onderzoek.

LES 7 en 8: Uitvoeren en uitwerken van je eigen onderzoek - het gaat om:

- 3.3 Remmen op de fiets (behalve onderdeel 4).
- 3.4 Remmen in een 'laboratoriumsituatie' (we gebruiken verschillende wegdekken als rem...).
- 3.5 TNO-botsingsonderzoek.
- 3.6 Botsen in een 'laboratoriumsituatie' (beh. onderdeel 3).

Huiswerk voor les 9: Maak uit hoofdstuk 7 opgave 2, 3 en 4.

LES 9: We bespreken de opgaven.

Huiswerk voor les 10: Bereid je rapportage voor!

LES 10: Rapportages over drie van de vier onderzoeken.

Huiswerk voor les 11: Maak uit hoofdstuk 7 opgave 5.

LES 11: De resterende rapportage vindt plaats; nakijken van de opgave.

Als we zover zijn hebben we de stof van het eerste proefwerk over VERKEER achter de rug: hoofdstuk 1 t/m 3 dus, en opgaven uit hoofdstuk 7 die we gemaakt hebben.

Huiswerk voor les 12: Ook in hoofdstuk 4 zul je zelf in de weer moeten met een keuze-onderwerp: de beschrijvingen bij elk onderzoek zijn veel korter - dat betekent dat je er zelf meer aan zult moeten invullen!

KIEZEN UIT

- 4.2 (driemaal)
- 4.3 (driemaal)
- 4.4 (tweemaal)
- 4.5 (eenmaal)

Bekijk het hoofdstuk goed en maak alvast een eerste en tweede keus....

LES 12: we stellen vast welke groep wat gaat doen, daarna heb je tijd voor verkennende metingen.

Huiswerk voor les 13 en 14: Voorbereiden en uitwerken van je onderzoek.

Lees de bijlage (blz. 76 t/m 78) en kijk ook nog eens naar de bijlage uit 'Vergelijken'.

LES 13 en 14: Tijd voor uitvoeren en uitwerken van je eigen onderzoek - het gaat om:

- 4.2 Rolwrijving bij fietsen
- 4.3 Totale weerstand bij fietsen
- 4.4 Benzineverbruik van een bromfiets
- 4.5 Luchtweerstand bij een auto

Huiswerk voor les 15: Maak de 'flap' over je eigen onderzoek af/ lees par.

5.1.

LES 15: De flappen komen in het lokaal te hangen (en hangen er gedurende les 16 en 17 óók nog - je hebt ze namelijk nodig om een aantal opdrachten uit hoofdstuk 5 te kunnen maken!

In deze les begin je zelf aan het oplossen van de opdrachten uit par. 5.1.

Huiswerk voor les 16:

LES 16:

Huiswerk voor les 17:

LES 17:



Gelegenheid om je door de theorie en de opgaven van hoofdstuk 5 heen te werken. Je zult (van te voren!) taken en huiswerk moeten verdelen.

Huiswerk voor les 18: Lees par. 6.1 en 6.2/ maak de opgaven uit deze paragrafen.

LES 18: Vragen over de theorie kunnen opgehelderd worden, we controleren de opgaven.

Huiswerk voor les 19: Lees par. 6.3 en 6.4/ maak de opgaven uit deze paragrafen.

LES 19: Zie de vorige les.

Huiswerk voor les 20: Lees par. 6.5/ maak de opgaven daaruit/ maak uit hoofdstuk 7 opgave 10.

LES 20: Zie de vorige les.

Huiswerk voor les 21: Bestudeer par. 6.6 (het 'overzicht')/ maak uit hoofdstuk 7 de opgaven 13 en 15.

LES 21: Zie de vorige les.

Zoals je al wel verwacht zult hebben gaat het tweede proefwerk over VERKEER over de hoofdstukken 4, 5 en 6 - en natuurlijk over de opgaven uit hoofdstuk 7 die we gemaakt hebben.
Helemaal zonder voorkennis uit hoofdstuk 1, 2 en 3 zul je wel niet kunnen...

Een periode van EIGEN ONDERZOEKEN combineren we weer met die van het volgende thema (ELEKTRISCHE MACHINES). Voor ideeën aangaande dit thema kun je hoofdstuk 8 terecht!

LETSEL- PREVENTIE IN HET WEGVERKEER

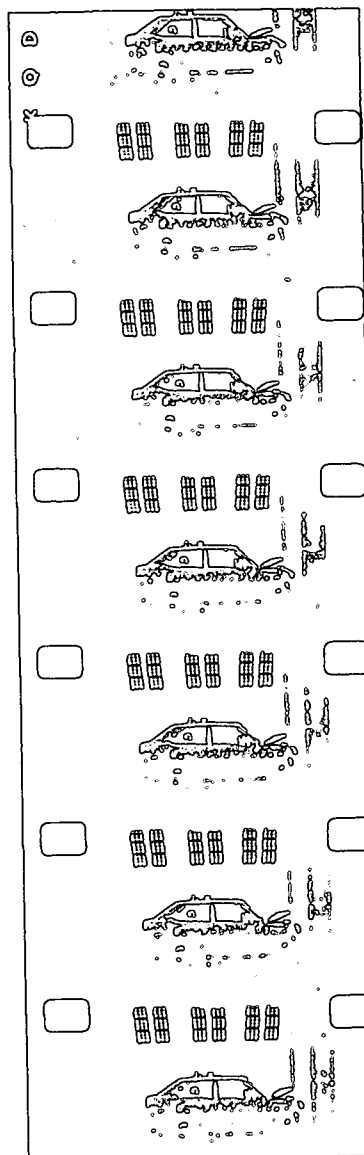
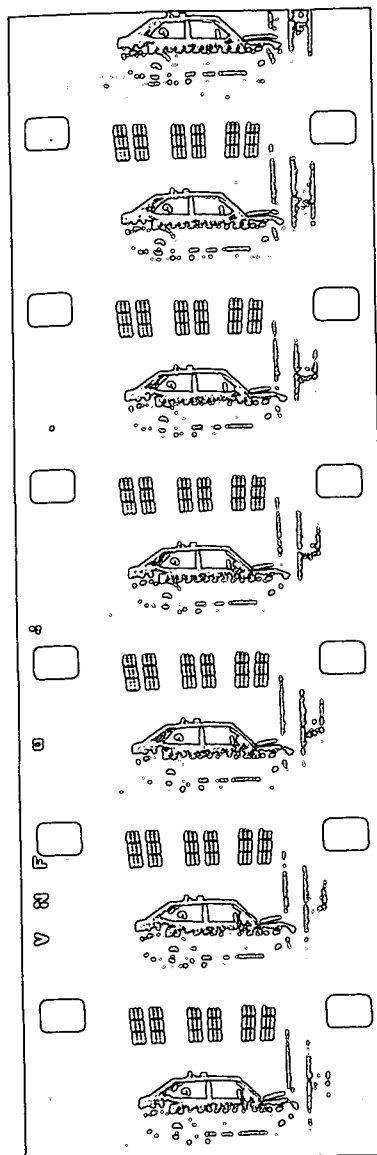
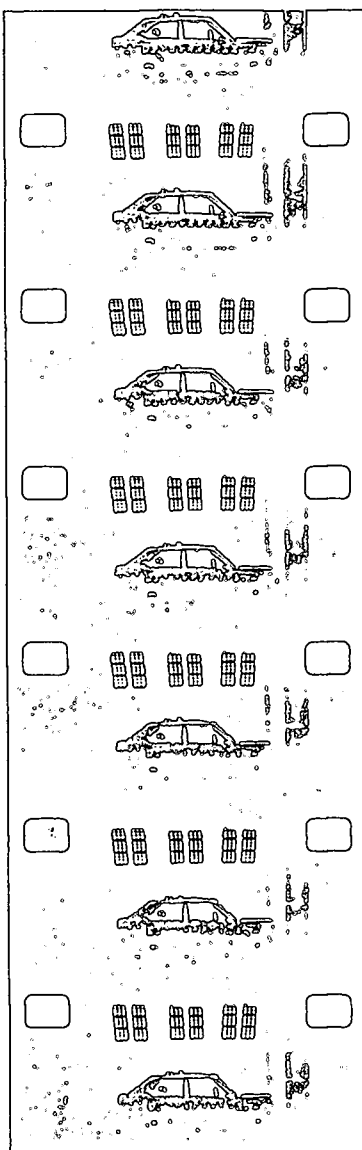
P. D. van der Koogh
Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO
Delft

Techniek beschermt de mens tegen zichzelf

Iedereen weet dat iemand die aan het verkeer deelneemt, of dat nu te voet, op een brommer of in een auto gebeurt, risico's loopt. Ook bij een goede rij-opleiding, verfijnde verkeersvoorschriften en steeds verder verbeterde vormgeving van de weg, blijkt het niet mogelijk ongevallen geheel te voorkomen. Het is echter wel mogelijk om, gegeven een ongeval, de daarbij betrokken mens te beschermen, zodat de kans op ernstig letsel vermindert.

Om deze letselpreventie zo optimaal mogelijk te kunnen uitvoeren is wetenschappelijk onderzoek noodzakelijk. De mens staat daarbij weliswaar centraal, maar de gezochte gegevens kunnen niet langs directe weg worden verkregen. Bij het onderzoek is dan ook veel inspanning gericht op het ontwikkelen van speciaal onderzoeksgereedschap, waarmee deze gegevens langs indirecte weg kunnen worden gevonden.

Een serie beeldjes uit een high-speed film van een frontale botsing met 50 km/h tegen een betonblok. De tijdsduur tussen begin en eind van het botsproces van de auto bedraagt ongeveer 100 milliseconden.



Verkeersonveiligheid

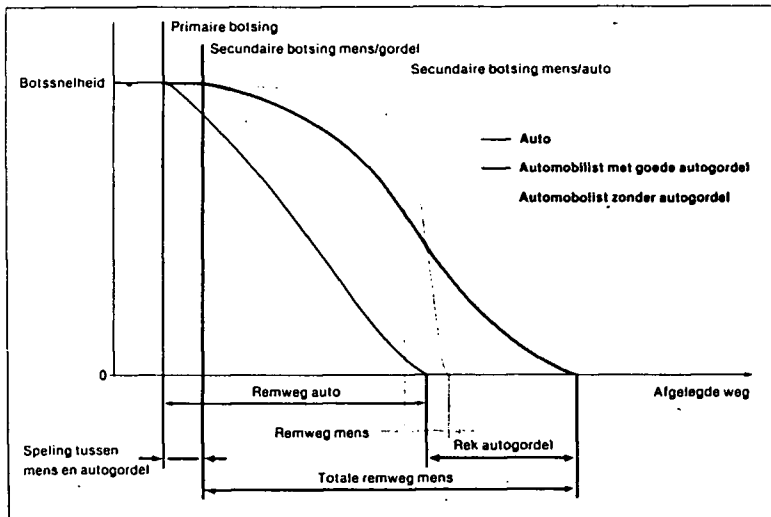
Van oudsher is de verplaatsing van mensen en goederen, als totaal verschijnsel verkeer genoemd, met ongevallen gepaard gegaan. Het aantal en de omvang ervan namen toe naarmate het verkeer intensiever en de snelheden hoger werden. Verkeersonveiligheid als verschijnsel dat het publiek sterk aanspreekt en waarbij iedereen zich betrokken voelt, bestaat in onze westerse wereld sinds de komst van de auto en andere gemotoriseerde vervoersmiddelen. De belangstelling ervoor en het algemene besef dat de verkeersonveiligheid bestreden moet worden zijn sinds de jaren vijftig sterk aanwezig.

Inderdaad valt de onveiligheid op onze wegen niet te ontkennen, al moet ze in het juiste perspectief worden gezien. Dit kan geïllustreerd worden met de Nederlandse situatie die ongeveer vergelijkbaar is met die in andere West-Europese landen. De laatste jaren stabiliseert het dodencijfer op de Nederlandse wegen zich rond de 2000 per jaar, na aanzienlijk hoger te zijn geweest. Het cijfer voor de belangrijkste doodsoorzaak in Nederland, namelijk hart- en vaatziekten ligt bij ongeveer 37 000

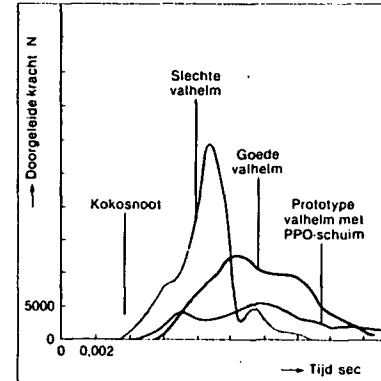
terwijl bij ongevallen in en rond het huis omstreeks 3000 doden per jaar vallen, cijfers die gestaag hoger worden.

De grootste groep verkeersdoden wordt gevormd door inzittenden van personenauto's, namelijk ongeveer 45 procent van het totaal. De daarop volgende grootste groep is die van de 'onbeschermde' verkeersdeelnemers, dat wil zeggen voetgangers en fietsers, met omstreeks 30 procent van het totaal, waarvan circa tweederde ten gevolge van een botsing met een personenauto.

Voor de bestrijding van de verkeersonveiligheid staan twee wegen open, die gericht zijn enerzijds op het voorkomen van ongevallen en anderzijds op het in positieve zin beïnvloeden van de afloop van een ongeval, dat wil zeggen het zoveel mogelijk beperken van het aantal en de ernst van de opgelopen letsels en de omvang van de schade. In het eerste geval spreekt men van bevordering van de actieve verkeersonveiligheid of *ongevalspreventie*. In het tweede geval, waarbij er dus van wordt uitgegaan dat niet alle ongevallen kunnen worden voorkomen, van vergroting van de passieve veiligheid, van bescherming van verkeersdeelnemers, of van *letselpreventie*.



634

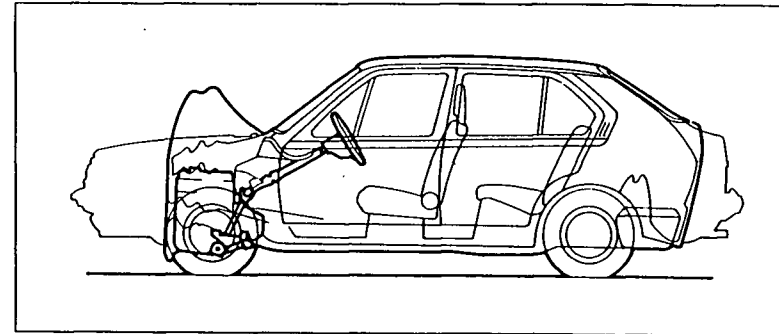


Boven: Fig. 2. Ook in de natuur vindt 'letselpreventie' plaats. De buitenkant van een kokosnoot heeft dezelfde functie als een valhelm en heeft ook een soortgelijke opbouw. Vergelijkende valproeven op kokosnoten en valhelmen leren dat de kokosnoot het prima doet, evenals een prototype valhelm van anisotroop PPO-schuim. Dit komt doordat een kokosnoot een vezelige, dus anisotrope, structuur heeft, waarvan men het prototype heeft afgeleid. Een nadeel is dat PPO duur is en tot nu toe moeilijk te verwerken.

Beveiliging bij ongevallen

Typische voorbeelden van letselpreventie zijn veiligheidsvoorzieningen die thans gemeengoed zijn: de autogordel (fig. 1), maar ook de valhelm (fig. 2) voor motor- en bromfietzers, maar ook kreukelzones (fig. 3), kooiconstructies, energie-absorberende stuurkolommen enz. Deze werden geïntroduceerd nadat aan het eind van de jaren vijftig in de Verenigde Staten en West-Europa het besef rees dat er iets moest worden gedaan aan de onveiligheid van personenauto's bij botsingen, waarbij de aandacht vooral gericht was op de frontale botsing, die het meest voorkwam.

In de loop der jaren is op dit gebied een serie technische eisen ontstaan waaraan zowel personenauto's als de daarin aangebrachte beveiligingsmiddelen moeten voldoen. Deze zijn successievelijk in de meeste westerse landen en daarbuiten ingevoerd, samen met gedragsregels voor verkeersdeelnemers, zoals de draagplicht van autogordels en valhelmen. Deze hebben succes gehad, mede omdat ze zijn gebaseerd op de resultaten van letselpreventie-onderzoek zoals dat o.a. uitgevoerd is bij het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO.



Links: Fig. 1. Het effect van de autogordel bij een frontale botsing. Wordt er geen autogordel gedragen dan schiet de automobilist met nagenoeg constante snelheid door. De botsingsnelheid is hoog en de remweg klein; de belasting op het lichaam is dan hoog. Bij gebruik van de autogordel wordt de snelheid veel geleidelijker verminderd doordat de remweg van zowel de auto als het gordelsysteem gebruikt wordt; de belasting op het lichaam is veel lager. Het lichaam wordt bovendien vastgehouden op plaatsen die relatief sterk zijn.

Boven: Fig. 3. Tegenwoordig zijn personenauto's voorzien van een kooiconstructie en een kreukelzone aan voor- en achterzijde. De kreukelzone verfrommelt bij een botsing als het ware geprogrammeerd en neemt een groot deel van de botsenergie op. De kooiconstructie zorgt ervoor dat de vrije ruimte van de inzittenden zoveel mogelijk aanwezig blijft. Daarvoor dient ook de vervormbare stuurkolom, die voorkomt dat het stuurwiel bij een botsing naar binnen wordt gedrukt en de bestuurder tussen stuur en zijn stoel beklemd raakt.

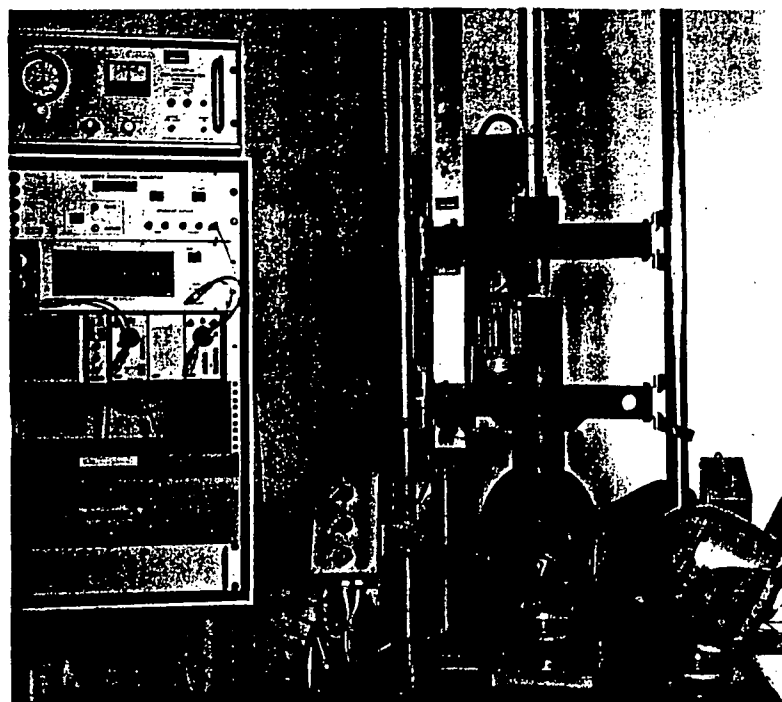
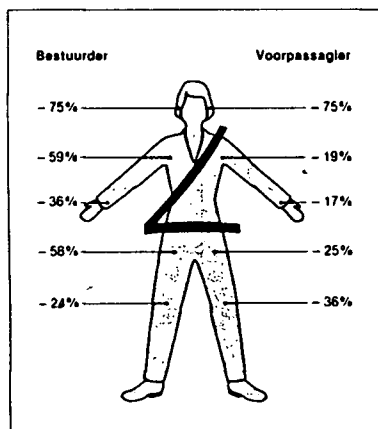
635

Natuur en Techniek, 50, 8 (1982) - Cat. no. 82084, SISO 377.3

Dit onderzoek omvat een beschrijving en verklaring van alle gebeurtenissen vanaf het moment dat de botsing begint. Centraal daarbij zijn uiteraard de mogelijkheden en beperkingen van de mens en met name zijn weerstand tegen geweldinwerking: de biomechanica. Verder zijn natuurlijk de mechanische kenmerken van het voertuig, zowel in- als uitwendig, van belang evenals die van de omgeving waartegen kan worden gebotst.

Belangrijke gegevens worden verkregen uit ongevalsonderzoek, dat wil zeggen uit analyses van werkelijke ongevallen, dat gericht is op de factoren die tot het ontstaan van letsels hebben geleid. Verder vindt onderzoek plaats in het laboratorium waarbij het van belang is te onderkennen dat een botsing meestal uit twee afzonderlijke botsingen bestaat:

– De primaire botsing; deze betreft de botsing van het voertuig met andere voorwerpen, bijv. een auto tegen een boom. De begincondities van de primaire botsing worden omschreven door voertuigsnijheid, inrijhoek, e.d. De mechanische eigenschappen (krachten bij vervorming, etc.) van voertuigen en bijvoorbeeld wegmeubilair zijn bepalend voor de eindcondities, die samengevat kunnen worden als vertragingen van het voertuigcasco. Deze vormen de begincondities voor de secundaire botsing.



Linksboven: Een duurbeproeving van de sluiting van een autogordel in het kader van de wettelijke keuring. De sluiting moet na 4500 keer te zijn geopend nog zonder problemen functioneren.

Geheel links: Fig. 4. Autogordels verminderen de kans op letsel. Bij een ongevalsonderzoek in Duitsland werden deze getallen gevonden voor de vermindering van de letselkans als gevolg van het dragen van een driepuntsgordel bij frontale botsingen. Deze is vooral groot voor hoofdletsels.

Links: Deze TNO-10 dummy wordt gebruikt voor het keuren van autogordels. De sterke vereenvoudigingen in dit mensmodel zorgen voor goede reproduceerbaarheid. Deze dummy is daardoor echter niet bruikbaar voor onderzoek.

Boven: Bij de bepaling van de schokdempende eigenschappen van valhelmen valt er een gewicht op de helm, die ondersteund wordt door een kunsthoofd waaronder een krachtopnemer is geplaatst. Is de schokdemping van de helm goed, dan geeft het kunsthoofd een relatief lage kracht door; bij slechte schokdemping een hoge kracht. Bij de keuring van valhelmen mag de aan de opnemer doorgegeven kracht niet hoger zijn dan 15 kN, bij een valmassa en hoogte van resp. 5 kg en 2,5 m.

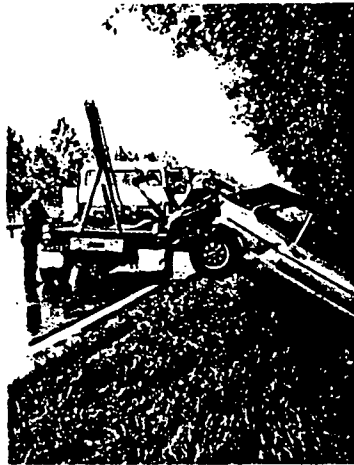
– De secundaire botsing; dit is de botsing van de verkeersdeelnemer met het interieur van het voertuig, bijv. een niet-gordel dragende automobilist tegen dashboard, stuurwiel en voorruit. Hierbij is het menselijk lichaam zowel uitwendig als inwendig direct aan krachtenwerkingen onderhevig, waarbij de mechanische eigenschappen van het voertuiginterieur, de ondersteuning (autogordel, stoel, etc.) en de mechanische eigenschappen van het menselijk lichaam (weefseleigenschappen) het uiteindelijk opgelopen letsel bepalen (fig. 4).

Het letselfpreventie-onderzoek, waarin verschillende disciplines samenwerken, richt zich nu in hoofdzaak op het verkrijgen van inzicht in enerzijds letselmechanismen en de bijbehorende belastinggrenzen en anderzijds de optimale wijze van bescherming van de mens tijdens de secundaire botsing.

De mens achter het stuur

Mensen die aan het verkeer deelnemen lopen een zekere kans om onder het kopje 'Acht (of tien, of zes) slachtoffers in het verkeer' in de krant terecht te komen. Toch is die kans praktisch nul. Hij bedraagt bijv. voor ieder uur dat in de auto wordt doorgebracht omstreeks 1 op 1 miljoen. Mensen zijn best bereid om dit risico te lopen, omdat ze van het deelnemen aan het verkeer een zeker nut of genoeg verwachten dat tegen het risico opweegt: ze doen boodschappen, of ze zien eens jaren vergeten tante weerom. Omwille van allerlei soorten te verwachten nut is het ingewikkelde systeem ontstaan dat wij het verkeer noemen. Drie dingen spelen in dat systeem samen: de mens, het vervoermiddel en de omgeving waarin de mens zich met behulp van het vervoermiddel verplaatst. Bij deze verplaatsing moet de mens rekening houden met de eisen die door zijn voertuig en door de omgeving (dat is de weg, met daarop de medegebruikers) gesteld worden. Ongevallen, ernstige storingen in het systeem moet hij daarbij vermijden. De mens is daarmee een essentiële factor voor de actieve verkeersveiligheid.

Om zich op aangepaste wijze door het verkeer te loodsen moet een bestuurder afgaan op de informatie die hij uit de buitenwereld ontvangt.



Een duidelijke illustratie van de werking van een kringloop. De achterkant van deze auto is geheel ingedrukt; het passagierscompartiment nog goed intact.

Mensmodellen

Een groot probleem bij dit onderzoek is echter dat de gezochte gegevens niet via de directe experimentele weg kunnen worden verkregen. Het is immers uitgesloten om mensen, voorzien van allerlei meetapparatuur, aan experimenten die op verkeersongevallen lijken en dus letsel veroorzaken, bloot te stellen. De onderzoekers moeten zich dan ook behelpen met zo goed mogelijk gekozen modellen van de mens zoals: vrijwilligers voor proeven waarbij geen letsel veroorzaakt wordt; lijken en proefdieren; proefpoppen, zogenaamde dummies; mathematische modellen of computersimulaties.

Al deze modellen, die dus onderzoeksgereedschappen zijn, hebben hun eigen beperkingen. Daarom worden ze naast elkaar en in combinatie met elkaar gebruikt.

Vrijwilligers

Het beste model van de mens is ongetwijfeld de mens zelf. Het gebruik van vrijwilligers is echter beperkt tot proeven met lage botssnelheden, waarbij nog geen letsel veroorzaakt wordt. Deze proeven hebben dus maar een beperkte waarde, omdat extrapolaties naar hogere botssnelheden vrijwel onmogelijk zijn.

Vrijwilligersproeven dragen echter wel bij aan de algemene biomechanische kennis van de mens en de resultaten kunnen weer gebruikt worden bij de ontwikkeling van dummies of mathematische mensmodellen. Doordat voor deze proeven meestal goedgetrainde militairen gebruikt worden, zijn ze niet representatief voor de zwakkere groepen verkeersdeelnemers, zoals ouderen, vrouwen en kinderen. Hiermee wordt meteen een andere moeilijkheid bij het

Informatieverwerking valt onder te verdelen in een drietal fasen: het waarnemen, het beslissen en het handelen. De informatie stroomt als het ware door een intern, psychologisch kanaal en ondergaat daarin diverse bewerkingen. Er is sprake van een kringloop, omdat de uitkomsten van onze handelingen mede bepalen wat we vervolgens weer zullen kunnen waarnemen.

Er moeten bij het deelnemen aan het verkeer allerlei taken vervuld worden waarbinnen zich deze kringloop van de informatieverwerking afspeelt. Zo kennen we bij het autorijden taken als het zódanig regelen van koers en snelheid, dat men met zijn voertuig op de weg blijft. Vervolgens allerlei min of meer ingewikkelde manoeuvres, bijv. het inhalen of volgen van een voorligger en het verlenen van voorrang. Dit zijn in het algemeen die taken waarbij rekening gehouden moet worden met het overige verkeer. Tenslotte zijn er taken die te maken hebben met de planning en voorbereiding van een route en het volgen van de route aan de hand van wegwijzers en wegenkaarten. Bij al deze taken kan men zich afvragen, welke informatie moet worden waargenomen, welke beslissingen moeten worden genomen en hoe moet worden gehandeld.

Dr. J. Moraal
Instituut voor Zintuigfysiologie TNO
Soesterberg

Bij het uitvoeren van taken bestaat er altijd de kans dat er fouten worden gemaakt. Om die te voorkomen moet worden onderzocht welke informatie precies nodig is, over welke kennis de verkeersdeelnemer moet kunnen beschikken, hoe deze hem het beste kan worden bijgebracht en welke eisen men moet stellen aan de vaardigheden voor bijv. de voertuigbediening.

Ook bij het onderzoek gericht op de actieve verkeersveiligheid staat de mens centraal. Kernthema's van dit multidisciplinaire onderzoek, dat in Nederland o.a. bij het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO plaatsvindt, zijn de reeks waarnemen-beslissen-handelen en de beperkingen van de mens daarbij, de analyse van rijtaken en het inzicht in leerprocessen.

Voor velen is het nog een wat onwennig idee dat menswetenschappen zoals psychologie en sociologie een inbreng zouden kunnen hebben in de meningsvorming over verkeersveiligheid. Het wegtransportsysteem is immers traditioneel een zaak van ingenieurs. Maar als men het beeld van het verkeerssysteem, waarin de mens in feite centraal staat, voor ogen houdt dan is één ding duidelijk: diegenen die het verkeer veiliger willen maken moeten aandacht schenken aan wat de mens kan en doet.

onderzoek aangeduid: er is veel verschil in eigenschappen tussen mensen onderling, afhankelijk van geslacht, leeftijd, lichaamsbouw e.d. Het is daarom onmogelijk om belastinggrenzen te vinden, die voor ieder mens gelden; hooguit zullen statistische verdelingen gevonden kunnen worden.

Lijken en proefdieren

Lijken worden gebruikt omdat ze, evenals proefdieren, tot op zekere hoogte een indicatie geven van het door de mens bij een ongeval opgelopen letsel. Een lijk verschilt echter wel van een verkeersslachtoffer, doordat er geen bloeddruk, met lucht gevulde longen, spierwerking e.d. zijn. Dit heeft tot gevolg dat het bewegings- en bezwijkgedrag (bijv. indrukken van de borstkas) anders is en letsels in de hersenen

en andere organen moeilijk te beoordelen zijn.

Het gebruik van levende proefdieren is alleen voor theoretisch biomechanisch onderzoek van belang, daar de anatomie en de antropometrie (afmetingen van lichaamsdelen) sterk afwijken van de mens. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt in het onderzoek naar de nog steeds onbekende fenomenen die de oorzaak zijn van hersenletsels.

Hoewel het gebruik van dieren en lijken uit ethisch oogpunt nogal kritisch bekeken wordt, is dit onderzoek toch van veel belang en kan het als stukje van de totale legpuzzel niet worden gemist. Veel van de in de huidige wetgeving opgenomen belastinggrenzen zijn uit dergelijk onderzoek afkomstig. Het onderzoek met lijken en proefdieren wordt in Europa slechts op enkele plaatsen, overigens niet in Nederland en België, uitgevoerd.

Proefpoppen of dummies

Een dummy bestaat in het algemeen uit een metalen skelet met gewrichten, dat omkleed is met kunststof. Het geheel is zodanig geconstrueerd dat de afmetingen, massa's en massaverdelingen en mede daardoor het bewegingspatroon bij een botsing zo goed mogelijk overeenkomen met die van de mens. Omdat mensen onderling veel van elkaar verschillen kiest men voor dummies meestal een 'gemiddeld', waarbij men uitgaat van bekende antropometrische tabellen, dat wil zeggen uitvoerige tabellen van afmetingen van het menselijk lichaam van bijv. de bevolking van de Verenigde Staten of een West-Europees land.

Dummies zijn mede uit kostenoverwegingen degelijk geconstrueerd zodat zij bij experimenten geen 'letsel' oplopen. Zij kunnen dus voor een groot aantal botsproeven gebruikt worden. Een bezwaar is echter dat er geen directe letselinformatie verkregen kan worden. Daarom wordt aan een dummy tijdens een botsing een groot aantal waarden gemeten, zoals bijvoorbeeld verplaatsingen en versnellingen van hoofd en borst, welke te zamen met op andere

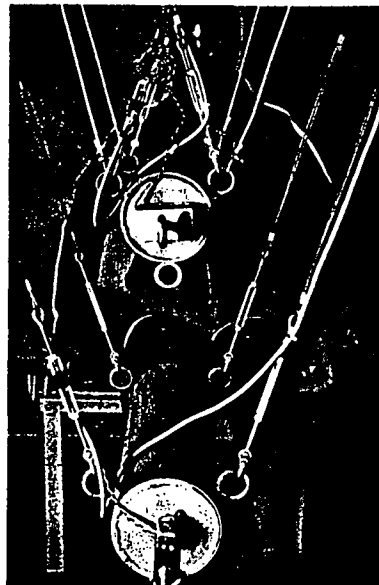
wijze verworven kennis een indicatie geven voor mogelijk letsel.

Standaard- en normdummies

Dummies zijn zo belangrijk omdat ze behalve in theoretisch gericht onderzoek, in reglementen en bij produktontwikkelingen gebruikt kunnen worden.

De standaarddummies van nu ontstonden door de al eerder genoemde introductie van veiligheidsvoorzieningen. Om deze te kunnen beoordelen en ontwikkelen gebruikten de fabrikanten aanvankelijk zelf ontwikkelde of door kleine industrieën en laboratoria ontwikkelde dummies, die betrekkelijk simpel waren. Overheden en het publiek stelden toen de vraag of deze veiligheidsvoorzieningen wel zo effectief waren; bekend is de discussie over het al dan niet gebruiken van de autogordel. Tegelijkertijd vond in universiteiten en researchinstellingen veel biomechanisch onderzoek plaats naar letselmechanismen en tolerantiegrenzen van het menselijk lichaam tegen krachts- en versnellingsinwerking.

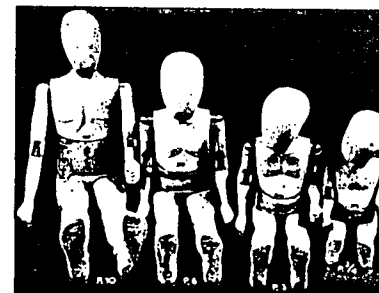
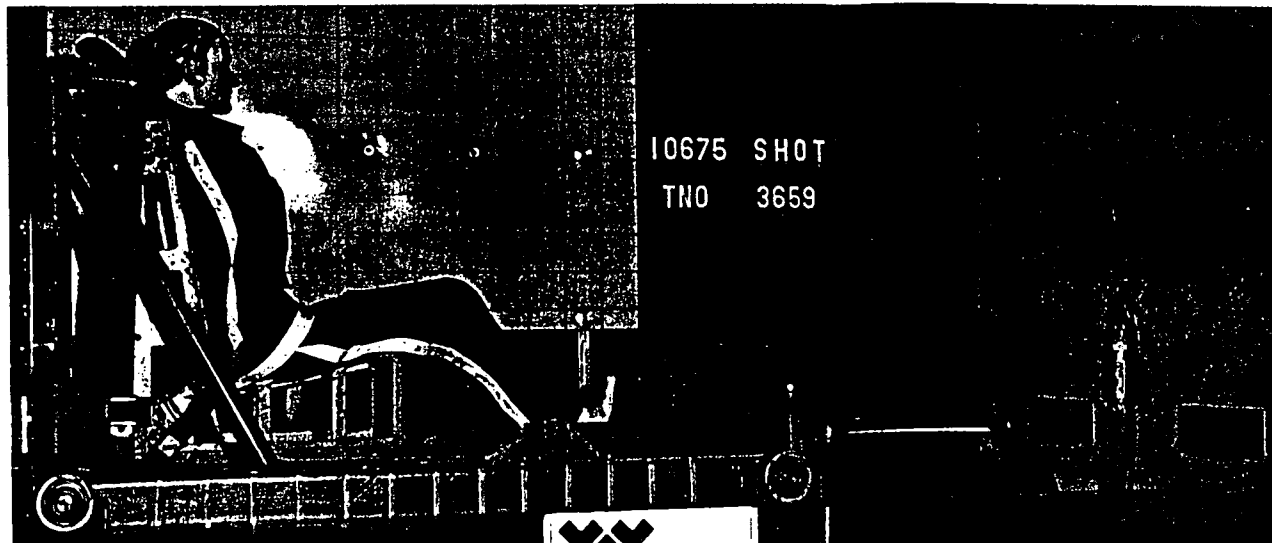
Dit alles mondde in de jaren zestig uit in een aantal letselcriteria die gemeten kon worden



via mechanische grootheden aan de inmiddels sterk verbeterde dummies. Eind jaren zestig werkten overheden in de USA en Europa aan reglementering en wetgeving betreffende deze veiligheidsvoorzieningen, waarbij de reglementen botsproeven op auto's en proefsleden vereisten, waar bepaalde dummies werden voorgeschreven. Deze dummies waren hiermee dus 'gepromoveerd' van vrijblijvende onderzoeksdummies tot wettelijk voorgeschreven meetinstrumenten, waarmee keuringen worden uitgevoerd.

Ook bij het onderzoek werden deze standaarddummies steeds meer gebruikt en zijn de andere praktisch verdwenen. Dit heeft het grote voordeel dat de nu op basis van proeven met dummies gevonden onderzoekgegevens direct vergelijkbaar en uitwisselbaar zijn.

De belangrijkste standaarddummies zijn momenteel de Amerikaanse Part 572 kind- en volwassenen-dummies, de TNO-10 voor autogordelkeuring en de TNO-P serie kinderdummies. Voor de eerste wordt in internationale samenwerking, waarin ook TNO deelneemt, een opvolger ontwikkeld die ook voor niet-frontale botsingen geschikt is.



Linksboven: Een Amerikaanse Part 572 dummy voor onderzoek, met apparatuur voor ijking en afstelling.

Links: De botsimulator bestaande uit een slede met stoel, waarop een TNO-10 dummy, gereed voor een dynamische autogordeltest. De botsnelheid op deze simulator is max 50 km/h en de maximale kinetische energie bedraagt 5×10^4 Nm.

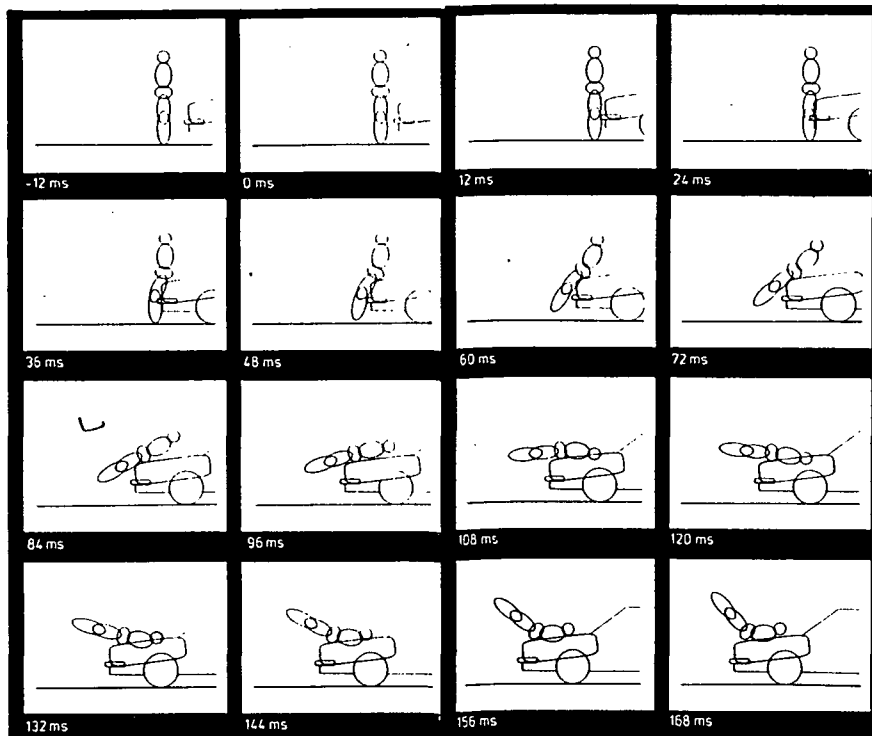
Boven: De vier kinderdummies van TNO. Dit zijn 'gemiddelde' kinderen van ¼, 3, 6 en 10 jaar. Deze dummies hebben een zachte buik, die het mogelijk maakt de belasting van de gordel op het onderlichaam te beoordelen.

Mathematische modellen of computersimulaties

Deze vorm van mensmodellen is tamelijk nieuw en pas mogelijk geworden met de snelle digitale computers en nieuwe mathematische technieken. Deze modellen kunnen experimenten gedeeltelijk vervangen (fig. 5).

Een nadeel van deze modellen ten opzichte van experimenten is dat niet alleen de mens, maar ook de beveiligingsmiddelen, zoals gordels, de botsomgeving en het voertuiginterieur als numerieke computerinvoer aan het model moeten worden toegevoegd. De voorbereiding van een modelsimulatie kan dan soms meer werk zijn dan het uitvoeren van een dummybotsproef. Het voordeel is dat, wanneer het model eenmaal gereed is, er zeer snel en goedkoop een groot aantal simulaties waarbij de botsomstandigheden gevarieerd worden, kunnen worden uitgevoerd. Elke nieuwe dummybotsproef blijft daarentegen een kostbare zaak. Daarom is het mathematisch model erg geschikt voor optimaliseringsdoeleinden en gevoeligheidsanalyses (nagaan welke parameters de meeste invloed hebben).

Rechts: Fig. 5. Een twee-dimensionale computersimulatie van een aanrijding van een voetganger door een auto. De overlappende contouren geven de vervormingen weer die bij de botsing ontstaan. Hieruit kan men een frontconstructie afleiden die minder kans geeft op letsel.



Wordt het model gebruikt als hulpmiddel bij de produktontwikkeling van bijvoorbeeld beveiligingsmiddelen, dan kan het aantal benodigde prototypes klein zijn, hetgeen kosten bespaart. Het model levert zonder enig probleem alle gewenste gegevens als output, bij een dummyproef kan er slechts een beperkt aantal meetopnemers gemonteerd worden met daarbij nog alle problematiek van het meten van versnellingen, krachten en verplaatsingen. Dit betekent ook dat een mathematisch model erg geschikt is om de resultaten van experimenten te interpreteren en te beoordelen. Voor het onderzoek met mathematische modellen gelden weer dezelfde beperkingen als bij dummies en wordt er geen directe letselinformatie verkregen.

MADYMO computersimulaties

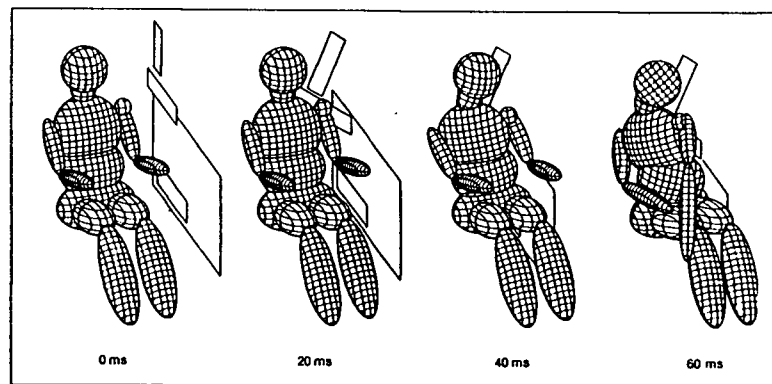
In het begin van de jaren zeventig werd het duidelijk, dat mathematische modellen als gereedschap voor letselpreventie-onderzoek onmisbaar zouden zijn. De vraag was toen natuurlijk of er gebruik zou kunnen worden gemaakt van de toen reeds bestaande (Amerikaanse) modellen of dat er een geheel nieuw model ontwikkeld zou moeten worden. De keuze is na een vooronderzoek bepaald op het zelf ontwikkelen van modellen, vooral omdat de enkele bestaande modellen te beperkte toepassingsmogelijkheden hadden.

In 1973 werd door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO en de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid ge-

zamenlijk begonnen aan een vijf-jaren-project dat zou leiden tot het zeer algemene programmapakket MADYMO (MAThematical DYnamisch MODEL). Dit programma is geschikt voor zowel twee- als drie-dimensionale simulaties, van eenvoudige modellen met enkele elementen tot zeer complete mensmodellen met een groot aantal elementen, botsingen zowel in als buiten het voertuig, meer modellen in interactie met elkaar, etc. (fig. 6).

De zeer ingewikkelde beweeglijkheid van het menselijk lichaam wordt met MADYMO gesimuleerd door het lichaam opgedeeld te denken in een aantal starre en scharnierend aan elkaar verbonden elementen. Aan deze elementen wordt een geconcentreerde massa toegekend en wordt de in werkelijkheid voorkomende massaverdeling in rekening gebracht door rotatie traagheidsmomenten. Op elk van deze elementen kunnen uitwendige krachten werken, terwijl in de scharnieren tegenwerkende momenten op kunnen treden. Om de bewegingen van een dergelijk stelsel elementen als functie van de tijd te kunnen uitrekenen, moeten eerst de bewegingsvergelijkingen opgesteld worden. Deze vergelijkingen, speciaal die voor een drie-

Onder: Fig. 6. Een computersimulatie, met het drie-dimensionale MADYMO pakket, van een dummy in een auto bij een flankinrijding, bedoeld voor de ontwikkeling van een dummy die voor latere botsingsexperimenten bruikbaar is.



dimensionale beweging, zijn dermate gecompliceerd, dat het met de hand afleiden praktisch gesproken ondoenlijk is. Voor MADYMO is daarom een computerprogramma ontwikkeld, dat deze bewegingsvergelijkingen zelf opstelt. MADYMO is daardoor zeer gebruikersvriendelijk. Een tweede deel van het MADYMO pakket, namelijk het simuleren van het uitwendige krachtenspel, kan niet zo algemeen zijn, omdat hier de te simuleren fysische werkelijkheid te ingewikkeld is. De botsingskracht van bijvoorbeeld de knie tegen een dashboard is niet exact te berekenen. Daarom moeten voor dit uitwendige krachtenspel weer deelmodellen (zogenoemde krachtmodellen) gemaakt worden, die de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderen. MADYMO is o.a. met succes toegepast bij biomechanisch onderzoek, de ontwikkeling van de nieuwe dummy voor flankbotsingen en de ontwikkeling van een nieuw type kinderveiligheidszitje.

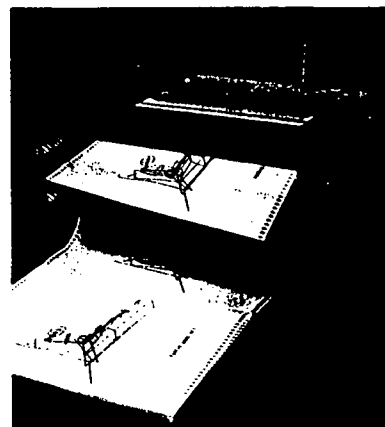
Botsexperimenten

Wanneer experimenten o.a. met dummies worden uitgevoerd moeten in het laboratorium omstandigheden worden geschapen, die overeenkomen met een verkeersbotsing. Er is hier dus ook sprake van simulatie die op verschillende manieren kan gebeuren. Een mogelijkheid is een of meerdere auto's te nemen, deze te voorzien van dummies en meetinstrumenten en deze vervolgens tegen bijvoorbeeld een zwaar betonblok of tegen elkaar te laten botsen met nauwkeurig bepaalde snelheden. Men noemt dit de 'full scale' botsproeven, die worden uitgevoerd op een 'full scale' botsbaan. Ook TNO beschikt over zo'n botsbaan waarop voertuigbotsingen kunnen worden uitgevoerd met snelheden van 3 tot 100 km per uur. Het botsobject (bijv. een personenwagen) wordt met een koppelwagentje bevestigd aan een eindloze staalkabel. Deze wordt aangedreven door een elektromotor van 460 kW. Het botsen of afremmen van het botsobject geschiedt tegen een botsblok met een massa van 400 ton. De baan heeft een totale lengte van 120 m waarvan de helft overdekt is. Het principe van de eindloze kabel maakt het mogelijk twee wagens in tegengestelde richting te laten rijden, zodat frontale botsingen kunnen worden uitgevoerd. Op het gedeelte van de baan buiten de hal kunnen botsproeven worden verricht op

Rechts: Een botsing van een personenauto tegen het betonblok onder standaard condities, zoals een botsnelheid van 50 km/h, en voorzien van dummies volgens nauwkeurige specificatie.

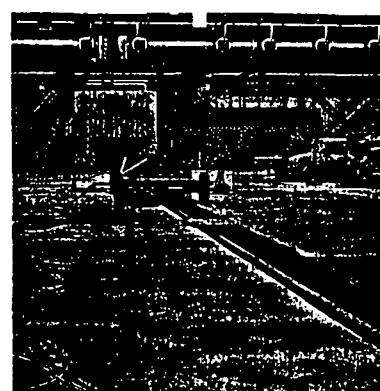
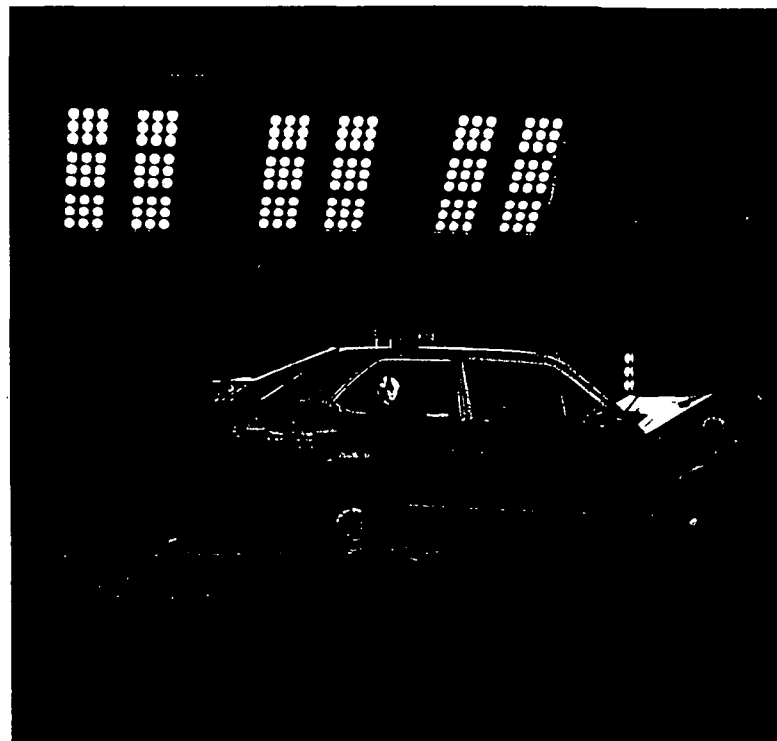
Onder: De plotteruitvoer van de opeenvolgende stappen van een MADYMO simulatie.

Rechtsonder: Een overzicht van de overdekte 'full scale' botsbaan van TNO. In het midden van de foto het botsblok dat een massa heeft van 400 ton en op een eigen fundering van speciale heipalen rust.



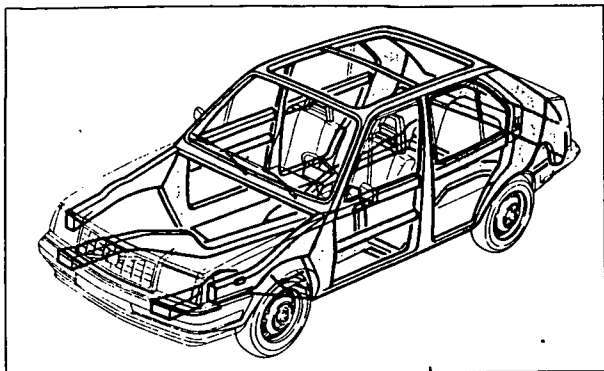
'wegmeubilair' en obstakels. Hier kunnen tevens de 'roll-over' (omrollen) ongevallen worden nagebootst.

In de hal zijn twee kuilen aangebracht voor het van onderen filmen van botsende voertuigen: één vlak voor het botsblok en één op een afstand van 20 m van dat blok. Boven de laatstgenoemde filmkuil kunnen flankbotsingen worden uitgevoerd. De verschijnselen die bij de experimentele botsingen optreden worden gemeten met opnemers voor krachten, snelheden, versnellingen etc., die gekoppeld zijn aan een elektronisch meet- en registratiesysteem en zichtbaar gemaakt met 'high speed' filmcamera's met opnamesnelheden van 1000 tot 3000 beeldjes per seconde. Bij het uitwerken van de bij een experiment beschikbare gro-



te hoeveelheid meetgegevens wordt gebruik gemaakt van een computer.

Het spreekt vanzelf dat dergelijke omvangrijke experimenten kostbaar zijn. Voor veel deelonderzoeken zoals bijvoorbeeld het beproeven van autogordels, stuurkolommen of dashboards wordt dan ook gebruik gemaakt van botsings simulatoren. Deze bestaan uit een botsslede die op snelheid kan worden gebracht en afgeremd met een vooraf bepaalde afremkarakteristiek. Op de slede kan dan het te onderzoeken systeem, bijv. een dummy op een stoel of een casco van een auto worden gemonteerd. De instrumentatie bij deze botsings simulatoren is van dezelfde opzet als bij de 'full scale' botsbaan, zij het natuurlijk minder omvangrijk.



Boven: Fig. 7. Een doorzichtekening van een moderne personenauto. Duidelijk is de kooiconstructie te zien, die de vrije ruimte, die de inzittenden juist bij een botsing nodig hebben, zoveel mogelijk beschermt. Ook in de portieren zijn verstijvingen aangebracht om bij flankbotsingen enige bescherming te kunnen bieden. De naar voren stekende balken bepalen in hoofdzaak het gedrag van de voorste kraakelzone en zijn zo gedimensioneerd, dat bij een frontale botsing een optimale afremkarakteristiek wordt verkregen.

Rechts: Een bij TNO uitgevoerde flankbotsing, onderdeel van een ongevalsreconstructie-onderzoek. Voorop de aangereden auto is een 'high-speed' filmcamera gemonteerd om de bewegingen van de dummies in de auto van dichtbij te filmen.

Rechtsboven: Een experimentele staartbotsing van een personenauto op een autobus die op LPG rijdt om de bevestiging van het tanksysteem te beproeven. De plaats en de bevestiging van de tank moeten zodanig zijn dat bij een botsing geen gas vrij kan komen.



scherming bij flankbotsingen, maar deze is onvoldoende. De benadering van het probleem zal anders zijn dan bij de frontale botsing omdat de beschikbare ruimte in het voertuig zoveel geringer is. Een probleem is bovendien zowel bij de ontwikkeling van auto's als bij het opstellen van een reglement, dat er geen proefpop beschikbaar is voor flankbotsingen. De ontwikkeling van een dergelijke proefpop zal daarom als eerste moeten gebeuren.

In verschillende landen buiten Nederland is al enig onderzoek gedaan naar de bescherming van voetgangers bij botsingen met auto's met lage snelheden. Een probleem is hierbij dat de verschillen tussen volwassenen en kinderen zo groot zijn dat waarschijnlijk geen oplossingen te vinden zijn die voor beide optimaal zijn.

Botsonderzoek aan fietsers is er nog niet. Internationaal wordt van Nederland, dat nog steeds als 'fietsende natie' wordt gezien, min of meer verwacht dat het hiermee begint.

Letselpreventie-onderzoek, uitgevoerd in internationale samenwerking, heeft de kans op letsel in het verkeer al flink teruggebracht. Het onderzoek gaat door en de verkeersdeelnemer mag voor de toekomst rekenen op verdere verhoging van de veiligheid in het verkeer. Hij bedenke echter wel dat deze in de praktijk alleen bereikt wordt wanneer hij zijn verantwoordelijkheid onderkent, zijn voertuig goed onderhoudt en verstandig bestuurt en vooral de hem geboden effectieve beveiligingsmiddelen ook gebruikt.

Ongevalsreconstructies

Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn geworden dat de verschillende onderzoekstechnieken elk hun eigen waarde hebben en dat ze bij een onderzoek meestal ook in combinatie zullen worden toegepast. Een interessant voorbeeld hiervan is de ongevalsreconstructie, een recentelijk in de Europese Gemeenschap ontwikkelde effectieve manier om biomechanische kennis in relatie tot verkeersongevallen te verzamelen.

Hierbij wordt een ongeval uit de praktijk, waarvan zowel de condities vóór de botsing als de letsels van de slachtoffers en de schade aan de voertuigen nauwkeurig bekend zijn, in een proefbotsing zo precies mogelijk nagespeeld.

Het verschil is dat de mensen zijn vervangen door proefpoppen en dat een groot aantal parameters van zowel de botsende auto's als van de proefpoppen worden gemeten.

Vergelijking van deze gemeten parameters met bijvoorbeeld de letsels ontstaan bij de werkelijke botsing levert biomechanische informatie op. TNO is bij dit onderzoek betrokken door het gebruik van MADYMO bij de evaluatie van de proefbotsingen, waardoor een aanmerkelijke vergroting van de informatie wordt verkregen. Ook worden er op de botsbaan van TNO reconstructiebotsingen uitgevoerd. Er is hier dus sprake van een combinatie van ongevallenanalyse, proefbotsingen en mathematische simulaties, waardoor een hoeveel samenhangende gegevens verkregen worden.

Toekomstig onderzoek

Nu de autogordel een effectief beveiligingsmiddel is gebleken bij frontale botsingen en ook beveiligingsmiddelen voor kinderen in auto's meer en meer gemeengoed worden, zal het aandachtsgebied van het letselpreventie-onderzoek worden verlegd. Voor de naaste toekomst zullen vooral de bescherming bij flankbotsingen (fig. 7) en die van fietsers en voetgangers aandacht krijgen.

Flankbotsingen worden door de industrie gezien als het belangrijkste probleem voor de nabije toekomst. Van alle botsingen van personenauto's zijn ongeveer 25 procent flankbotsingen tegen ruim 50 procent frontale botsingen. De huidige autogordel biedt enige be-

Literatuur

- Asmussen, E., (1981). Een analyse van het verschijnsel verkeersveiligheid, in: *Verkeer en vervoer in historisch perspectief*. Delftse Universitaire Pers, Delft.
- Human Tolerance to Impact Conditions as related to Motor Vehicle Design*, (1980). SAE 1885 (special issue), Society of Automotive Engineers, Warrendale (VS).
- Roszbach, R., (1980). Voertuig-technische aspecten en bescherming tegen letsels, in: *Congresverslag Nationaal Verkeersveiligheidscongres*, ANWB, Den Haag.
- Maltha, J., Wisman, J., (1980). *MADYMO Crash Victim Simulations, a Computerised Research and Design Tool*. 5th IRCOBI conference on the Biomechanics of Impacts, Birmingham.

Bronvermelding illustraties

- Volvo Car B.V., Helmond; pag. 635 onder, 646 boven.
- ANWB, 's-Gravenhage; pag. 638.
- Alle overige illustraties zijn afkomstig van het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, Delft.

I AANVULLENDE INFORMATIE

2. DE EFFICIËNTE FIETS

KENNIS & VERNUFT

Fietsen is al de meest energie-efficiënte vorm van menselijk vervoer, maar volgens recent onderzoek van TNO kan het nog aanmerkelijk efficiënter. Een modale nachtfietser die met vijftien kilometer per uur naar huis pedaleert moet al gauw 70 watt vermogen leveren (de energieconsumptie van een middelgrote gloeilamp). Daarvan gaat 25 watt verloren aan de 'rolweerstand' van de banden en 10 watt aan de dynamo. Beide verliezen zijn aanmerkelijk te vermindern.

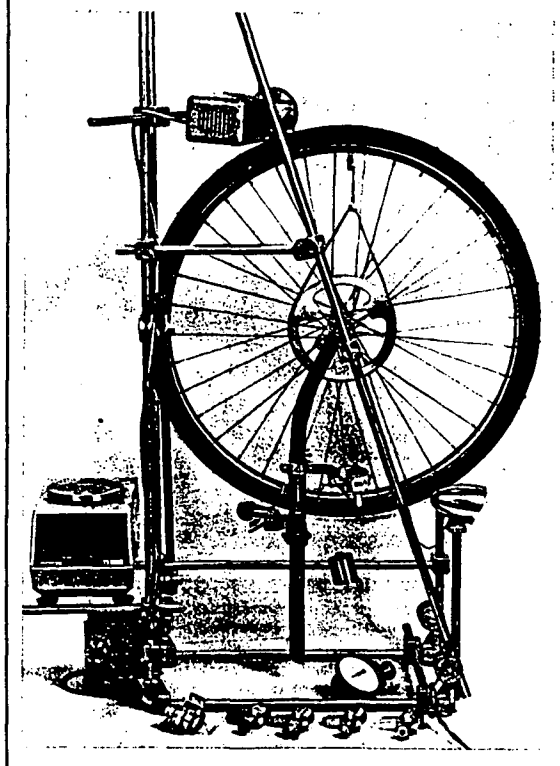
Het rijwiel lijkt een geheel uitontwikkeld produkt waar alleen nog marginale innovatie mogelijk is. Veel aandacht krijgt daarbij het gewicht, in het bijzonder van de buizen van het frame. De firma Reynolds, zuster van fietsenfabrikant Raleigh, dochter van Tube Investments TI, ontwikkelt steeds lichtere legeringen. Ondanks alle poeha daaromtrent maakt dit weinig uit. Een fiets van 'gewoon' staal zal twaalf tot vijftien kilo wegen, wat betekent dat een gemiddelde fietser van zeventig kilo zo'n tweeëntachtig tot vijfentachtig kilo moet verplaatsen. Lichter buismateriaal maakt de fiets zelf wel aanmerkelijk lichter — enige kilo's — maar voor het totaal te verplaatsen gewicht maakt dit weinig uit. Wie op een toertocht nog vele kilo's bagage meeneemt, hoeft nog minder op het gewicht van de fiets te letten.

Bij hoge snelheden, zoals renners in de Tour de France die behalen, moet vooral tegen de *luchtweerstand* worden opgetornd. De modale fietser heeft echter voornamelijk met de zogenaamde *rolweerstand* van de banden te maken. Die nare tegenkracht is geen constante. Ir. C. Vermeijs, voertuigdynamicus bij het TNO-Instituut voor Wegtransportmiddelen in Delft: 'De luchtdruk in de band is een belangrijke factor: een slappe band kan ten opzichte van een hard opgepompte een dubbele rolweerstand hebben. Een fietser zou dan ook moeten weten of zijn bandenspanning één bar is of drie bar. Maar dat kan hij niet weten, want er was geen apparaatje voor het meten van die luchtdruk. Wij hebben er nu een ontworpen, maar dat werkt alleen bij banden met een kogelventiel.

Rolweerstand ontstaat door de energie die het kost om de band te vervormen. Tijdens het rijden moet steeds een ander plekje van de band vervormd worden. Hoe slapper de band, des te sterker de vervormingen. Een lekke band heeft

De efficiënte fiets

Rob Sijmons



zo een zeer grote rolweerstand. Bij een band van onvervormbaar materiaal — hout bij voorbeeld — is de weerstand ten gevolge van het in-

drukken nihil.'

Volgens de literatuur, zo vertelt ir. Vermeijs, maken *Breedte* en *profiel* van de band niet veel uit. De

constructie wel. 'Vergelijk het met radiaalbanden voor auto's: een relatief stijf loopvlak, en slappe zij-kanten. De vervorming vind voornamelijk plaats in de zijvlakken, en gaat makkelijk. Als je de fietsband op dezelfde manier zou maken, zul je weinig rolweerstand hebben. Fietsbanden zijn evenwel *diagonaalbanden*: overal evenveel koordlagen, overal vervorming.'

Zo leidt dit onderzoek toch tot innovatie. 'Het zou gunstig voor de rolweerstand zijn om op het loopvlak van fietsbanden stijver rubber te vulkaniseren. Verder hebben de materialen invloed. Natuurlijke rubbers vervormen makkelijker — en geven dus minder weerstand dan de gebruikelijke roetgepulde compounds. Maar natuurlijke rubbers hebben een lage slijtvastheid, dat is dus moeilijk te verkopen. Er is onderzoek naar gedaan hoever je wat dit betreft kunt gaan. Binnenkort zullen wel banden op de markt komen met een nieuwe rubbersamenstelling die gemakkelijker vervormt. Ik kan nog niet voorspellen wat dat aan rolweerstand uitmaakt: dat onderzoek doen de bandenfabrikanten zelf.'

De klassieke dynamo, via een wiel-tje aangedreven door de zijkant van de fietsband, vreet eigenlijk onnodig veel menskracht: 10 watt extra op 60 watt normaal. De constructie is, bij voorbeeld door de slechte glij-lagering, erg inefficiënt. Het rendement, zo heeft men bij TNO gemeten, komt gemiddeld niet boven de dertig procent uit. Anders gezegd: de fietser moet ruim drie keer meer mechanische energie investeren dan hij er aan elektrische energie uithaalt.

De *naafdynamo*, het alternatief, gebruikt de veel betere lagering die toch al op de wielen wordt toegepast. Op de as zit het spoeltjesdeel van de dynamo gemonteerd. De vaste magneten draaien in de naaf eromheen. Nadeel is het geringere vermogen dat een naafdynamo levert, een gevolg van een geringer aantal omwentelingen per seconde dan bij de klassieke dynamo. Maar dat geringere vermogen wordt wel met een twee keer zo hoog rendement opgewekt. Met andere woorden: als men erin slaagt om naafdynamos met hogere vermogens te ontwikkelen, dan kan de nachtfietser met 5 watt volstaan om evenveel licht te verspreiden als bij de 10 watt die de klassieke dynamo hem kost.

Nu nog het betonschaar-resistente fietsslot, en de wielrijder kan weer waarlijk gaan genieten.

I AANVULLENDE INFORMATIE

3. STATISTISCHE GEGEVENS

Bron: CBS en RAI

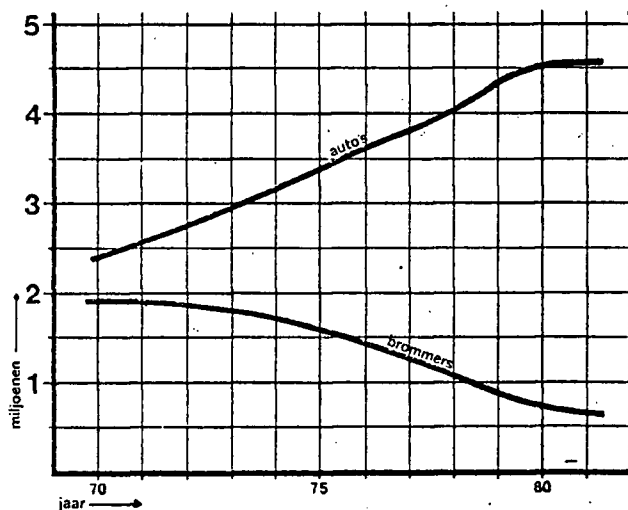
x 1000	1970		1975		1978		1979		1980		1981	
totaal aantal motorvoertuigen	2849	100	3809	134	4485	157	4770	167	4999	175	5067	178
personenauto's	2465	100	3399	138	4056	165	4312	175	4520	191	4593	186
bedrijfsauto's	312	100	342	110	337	108	360	115	376	121	386	124
motorfietsen + scooters	72	100	68	85	92	115	98	123	101	126	113	141
bromfietsen	1900	100	1650	87	1100	58	950	50	800	42	700	37

Het aantal bromfietsen in ons land is sinds 1970 sterk gedaald. Verder blijkt uit deze cijfers, dat het aantal voertuigen nog jaarlijks toeneemt, al is het stijgingspercentage sinds 1978 verminderd. Dit geldt in het bijzonder voor het aantal personenauto's. De verkoop van nieuwe personenauto's is sinds 1978 sterk gedaald. In 1980 constateert de RAI zelfs een te-

ruglopende verkoop van 22% ten opzichte van 1979; voor 1981 bedraagt de daling 14% ten opzichte van 1980.

Door welke factoren wordt deze trend nu beïnvloed? Allereerst speelt ons reëel besteedbaar inkomen een rol, en voorts natuurlijk onze verwachtingen ten aanzien van het inkomen in de nabije toekomst. Ook de gestegen benzineprijzen en het duurder worden van autorijden in het algemeen zijn van invloed op het autobezit en de autoverkoop. Al deze factoren hebben ertoe geleid, dat we onze auto selectiever en zuiniger zijn gaan gebruiken.

De auto-reparatiebedrijven in Nederland menen een aantal veranderingen in het gedrag van de autobezitter te bespeuren. Een tendens is dat vervanging van auto's wordt uitgesteld en dat in het algemeen het regelmatig onderhoud van de auto naar een later tijdstip verschoven wordt of zelfs achterwege blijft. Het selectievere gebruik van de auto en de verminderde jaar-kilometerage is van gunstige invloed op het verloop van het schade cijfer, maar de achteruitgaande kwaliteit van het autopark kan door onvoldoende onderhoud een nadelige invloed op het schadeverloop hebben.



Ontwikkeling auto- en brommerpark

De aantallen personenauto's en bromfietsen zijn als meest frappant in de grafiek geschetst.

In het kader van de Brede Maatschappelijke Discussie worden de leukste tussenrapportjes gemaakt. Over reizen bijvoorbeeld. In 1920 reisde de Nederlander per jaar gemiddeld niet meer dan 800 kilometer. De meeste kilometers daarvan werden afgelegd in een vorm van openbaar vervoer. In 1950 was het gemiddelde 2100 kilometer. Daarvan werd 63 percent openbaar vervoerd. In 1980 was het gemiddeld aantal afgelegde kilometers per jaar 9000. Verdeling van de kilometers tussen auto en openbaar vervoer: auto 88 percent, openbaar vervoer 12 percent.

30 Aantal verkochte nieuwe motorvoertuigen, bromfietsen en fietsen

	1970	1975	1979	1980	1981
Personenauto's	432 231	480 000	568 870	450 076	389 312
Bestelwagens ¹	33 140	26 587	32 398	32 536	30 865
Lichte vrachtauto's ²	1 341	654	739	712	468
Zware vrachtauto's ³	9 295	6 596	10 429	9 473	7 471
Trekkers (voor oplegger)	2 364	1 589	3 293	3 185	2 490
Autobussen	544	724	969	1 090	905
Brandweer- en reinigungsauto's	234	556	445	562	431
Motorrijwielen en scooters	3 926	10 798	17 168	14 492	13 251
Bovendien:					
bromfietsen	284 000	97 000	61 000	50 000	46 000
fietsen	850 000	1 066 000	1 223 000	1 369 000	1 227 000

¹ Gewicht volle wagen max. 3,5 ton.

² Idem, 3,5-5 ton.

³ Idem, boven 5 ton.

I AANVULLENDE INFORMATIE

3. STATISTISCHE GEGEVENS

2 Afgelegde afstand¹, gemiddeld per persoon per dag, 1980

	totaal	wijze van verplaatsing						
		als auto-bestuurder	als auto-passagier	met openbaar vervoer	per bromfiets	per fiets	lopend	overig
	km							
Totaal	28,0	13,4	7,2	3,2	0,4	2,5	0,9	0,6
Verplaatsingsmotief:								
Van en naar het werk	7,1	4,2	1,0	1,0	0,1	0,5	0,1	0,2
Zakelijk verkeer in werksfeer	2,2	1,8	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
Visite/logeren	7,1	3,0	2,8	0,8	0,1	0,3	0,1	0,0
Winkelen	2,6	1,1	0,7	0,2	0,0	0,3	0,2	0,0
Onderwijs volgen	1,6	0,3	0,2	0,5	0,1	0,5	0,0	0,0
Ontspanning/sport	3,3	1,2	1,3	0,3	0,0	0,3	0,1	0,1
Toeren/wandelen	1,3	0,3	0,4	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1
Overig	2,8	1,5	0,7	0,2	0,0	0,2	0,1	0,1

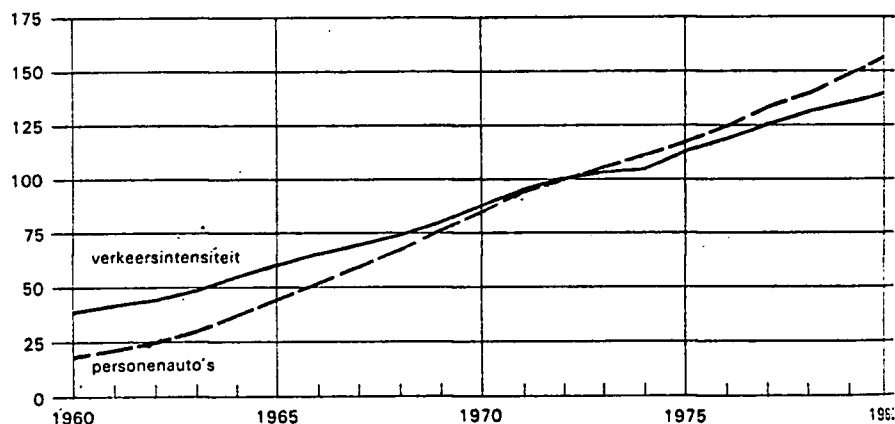
¹ De afgelegde afstand heeft betrekking op personen van 12 jaar en ouder (excl. tehuisbevolking).

Motorbrandstoffenverbruik 1978-1982

	miljoenen kg.			aantal personenauto's
	benzine	dieselolie	autogas	
1978	3.954	2.253	355	4.056.000
1979	3.980	2.023	447	4.312.000
1980	3.904	2.122	643	4.515.000
1981	3.686	2.241	720	4.594.000
1982	3.634	2.085	860	4.631.000

(gegevens van het CBS, telling autopark per 1 augustus)

Personenautopark en verkeersintensiteit, 1972=100



I AANVULLENDE INFORMATIE

3. STATISTISCHE GEGEVENEN

N Verkeer en vervoer 225

40 Verkeersslachtoffers naar leeftijdsgroep, 1981

	doden			gewonden		
	totaal	mannen	vrouwen	totaal	mannen	vrouwen
Totaal	1 807	1 316	491	53 505	34 285	19 220
0- 4 jaar	33	21	12	778	477	301
5- 9 jaar	68	40	28	2 319	1 500	819
10-14 jaar	81	54	27	3 893	2 183	1 710
15-24 jaar	542	431	111	23 272	16 156	7 116
25-34 jaar	235	193	42	7 154	4 798	2 356
35-44 jaar	163	126	37	4 622	2 923	1 699
45-54 jaar	123	82	41	3 645	2 111	1 534
55-64 jaar	164	109	55	3 302	1 740	1 562
65 jaar en ouder	398	260	138	4 066	2 168	1 898
leeftijd onbekend	-	-	-	454	229	225

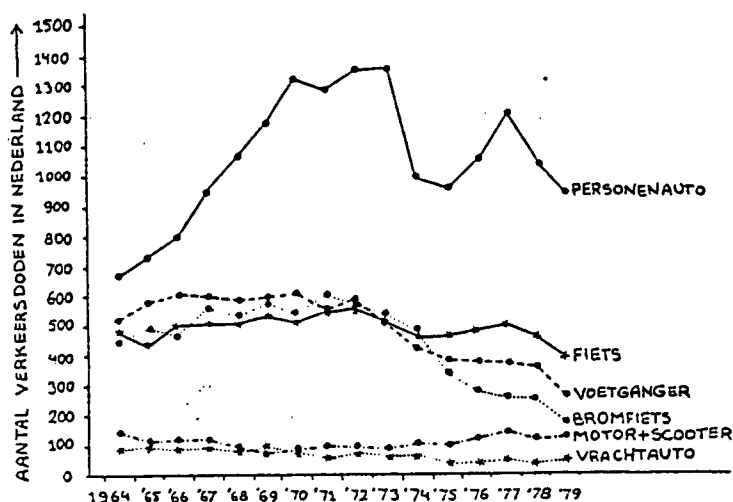
41 Verkeersslachtoffers naar wijze van deelneming aan het verkeer

	1970	1975	1979	1980	1981
Aantal doden					
Voetgangers	609	396	263	287	293
Fietzers	512	453	394	422	356
Bromfietzers	540	334	182	191	158
Motor- en scooterrijders	85	101	117	130	106
Inzittenden ¹ van					
personenauto	1 322	968	940	919	851
vrachtauto	82	43	55	34	29
autobus	1	4	3	3	1
Overige verkeersdeelnemers	30	22	23	11	13
Totaal doden	3 181	2 321	1 977	1 997	1 807
Aantal gewonden					
Voetgangers	7 410	6 478	5 439	5 431	5 159
Fietzers	8 205	10 440	11 464	12 787	12 662
Bromfietzers	24 686	19 153	14 332	14 070	12 539
Motor- en scooterrijders	1 784	2 251	2 828	2 851	2 839
Inzittenden ¹ van					
personenauto	24 072	20 267	20 879	20 230	18 920
vrachtauto	1 654	1 013	1 208	1 075	941
autobus	170	187	280	232	220
Overige verkeersdeelnemers	244	190	191	224	225
Totaal gewonden	68 225	59 979	56 621	56 900	53 505

¹ Bestuurders en passagiers.

'Intussen blijft de verkeersonveiligheid een belangrijk economisch gegeven. Wij spraken tot nu toe alleen over de aantallen ongelukken, en aantallen letsels, maar als we alle botsingen die er in ons land in één jaar tijds optreden optellen, dan komen we op een geschat aantal van 1 miljoen. Hier, op de SWOV, hebben we eens een berekening gemaakt van wat die 1 miljoen ongelukken ongeveer kosten aan reparatiekosten, pensioenen, uitkeringen, ziekenhuiskosten, tijdverlies — en dan kom je op een bedrag in de orde van 12 - 15 miljard gulden, een bedrag vergelijkbaar met de kosten van sociale bijstand, of van de hele WAO of ook een totale ombuigingsoperatie van dit kabinet. En dat in één jaar tijds...

(Prof. Asmussen,
NRC 10 nov. 1983)



Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden in Nederland naar wijze van de deelname aan het verkeer in de jaren 1964 t/m 1979

LITERATUUR

1. Uit de reeks "kennis en vernuft", Scheltema & Holkema, Amsterdam, 1963
 - Fabre, Geschiedenis van het verkeer te land
 - Canby, Geschiedenis der scheepvaart
 - Canby, Geschiedenis der luchtvaart
2. Uit de Parool/Life serie, Het Parool, Amsterdam, 1967
 - Owen/Bowen, Het Wiel
3. Minnaert, De natuurkunde van het vrije veld, deel 3, Thieme, Zutphen, 1972
4. Van der Plas, Prisma fietsboek, Het Spectrum, Utrecht, 1978
5. Kweekel/De Groot/Kauffman, Verkeerscode voor de bromfietser, Veilig Verkeer Nederland/Jacob Dijkstra, Groningen
6. PLON-thema "Verkeer en Veiligheid", NIB, Zeist, 1981
7. Centraal Bureau voor de Statistiek, Statistisch zakboek, Staatsuitgeverij, jaarlijkse uitgave
8. Uit Scientific American:
 - Wilson, Bicycle technology, 1973, nr. 3
9. Uit Natuur en techniek:
 - Fast, De auto - onze geliefde vijand, 41, p. 601, 1973
 - Van Manen, Maritiem onderzoek - Ship handling in een laboratorium, 44, p. 2, 1976
 - Van Oossanen/Oosterveld, Het voortstuwen van schepen - Hydrodynamische aspecten van modelonderzoek, 45, p. 516, 1977
 - Welleman, Aquaplaning - Ongevallen op nat wegdek, 48, p. 98, 1980
 - Van der Koogh, Letselpreventie in het wegverkeer, 50, p. 632, 1982, als bijlage I1 in deze AVOL opgenomen
10. Diverse andere tijdschriften, bijv. Archimedes, De Jonge Onderzoeker, Consumentengids, Autokampioen, De vogelvrije fietser
11. Brochures van oliemaatschappijen, bijv. "Shell helpt"; folders van autofabrieken e.d.

Blz. 24 ONDERZOEK: Reactietijd meten.

Voor dit onderzoek zijn verschillende methoden bruikbaar. We geven twee manieren aan;

1^e Reactiesnelheid meten met de vallende lat.

Materiaal: - dunne houten lat lengte $\pm$ 80 cm (zie tijdverdeling lat blz. 24)
- steun voor hak, bijvoorbeeld omgekeerde hoge prullenbak. De hoogte moet zodanig zijn dat de lat in zijn geheel kan vallen. Afstand punt schoen vloer tenminste 80 cm.

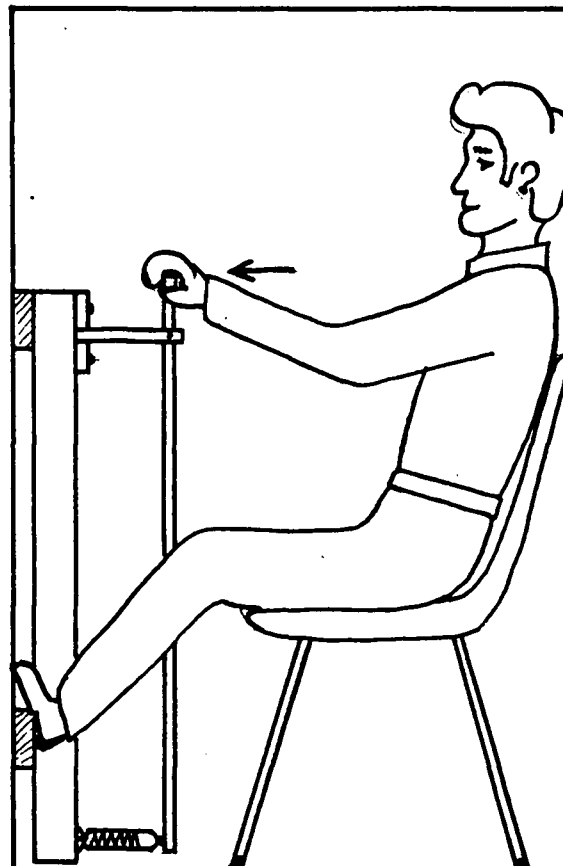
2^e Reactietijd meten met een tijdtikker.

Materiaal: - voedingsapparaat, 0-12 Volt wisselspanning
- tijdtikker met papierstroken
- drukschakelaar met scherm. Het scherm moet de hand op de drukknop aan het gezicht van de proefpersoon onttrekken.

Blz. 25 ONDERZOEK: Spierkracht meten.

Materiaal: - personenweegschaal of speciaal apparaat

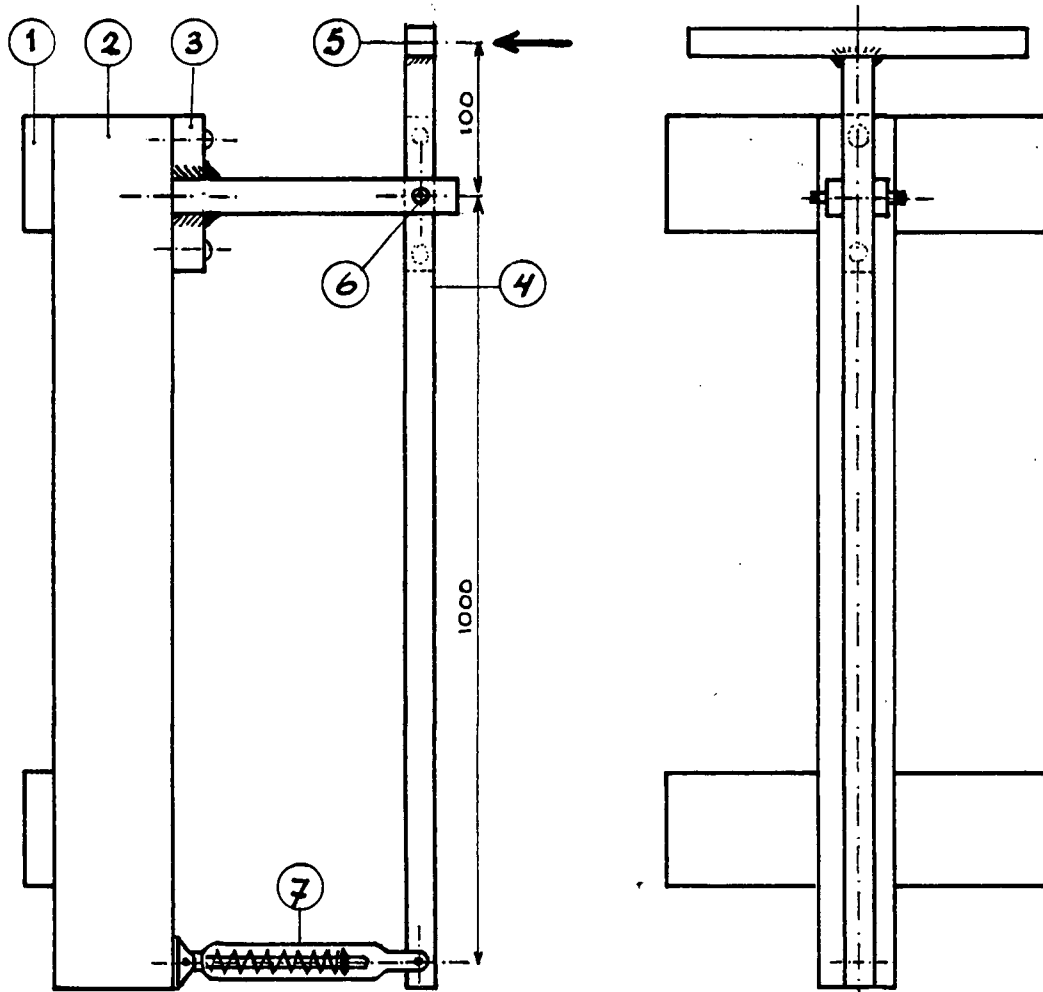
De personenweegschaal is een delicaat instrument, de kans dat de weegschaal tijdens deze proef beschadigd raakt is dan ook groot. Omdat te voorkomen werd voor deze proef een speciaal apparaat ontworpen. (Zie tekening.)



APPARATUURGIDS

SPIERKRACHTMETER

- Materiaal:
1. Hout: 2 stuks, 20x70x250 mm lang.
 2. Hout: 50x70x1050 mm lang
 3. Steundraaipunt bestaande uit vierkante stalen buis 20x20x2 mm lang 100 mm en staal plat 2 stuks 20x10 mm lang 180 mm.
 4. Hefboom: vierkante buis 20x20x2 mm lang 1160 mm.
 5. Handel: vierkante buis 20x20x2 mm lang 220 mm.
 6. Draaipuntas: rond $\varnothing$ 8 mm lang 75 mm.
 7. Veerunster 0-25 kg.



Blz. 28 ONDERZOEK: Remmen op de Fiets.

Materiaal:

- Fiets met berijder (bij voorkeur fiets met trommelremmen)
- Personenweegschaal
- unster 0-12 kg t.b.v. meten remkracht
- blokje hout t.b.v. beperken remkracht
- tape/plakband
- meetlint 0-25 m
- stopwatch of goede snelheidsmeter (b.v. IKU SPEEDOMAT 500)

Opmerkingen • Maak de remkracht niet te groot, b.v. door alleen de achterrem te gebruiken en af te stellen m.b.v. het houtenblokje!

EEN VOORBEELD MEETSERIE

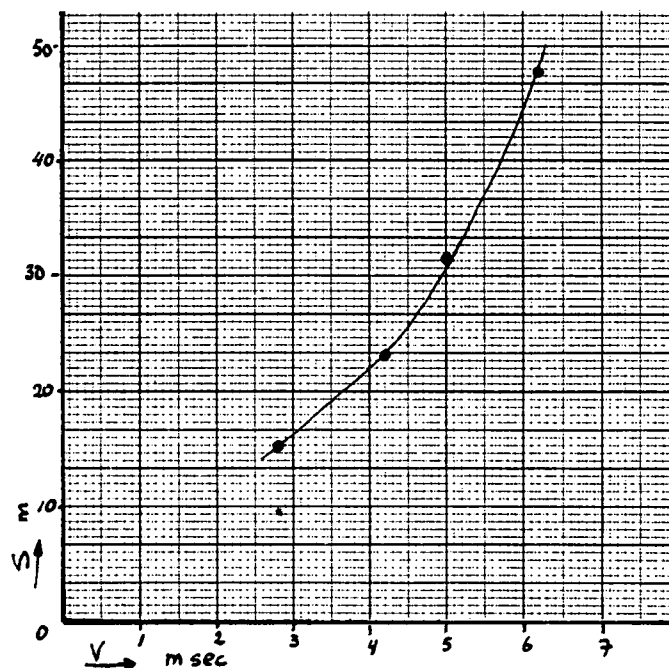
Meetserie 1. Remweg en Beginsnelheid.

Het verband tussen beginsnelheid v op het moment van remmen en de remweg s bij een constante remkracht F en steeds (fiets en berijder) dezelfde massa m .

Fiets en berijder $m = 87,5$ kg

Remkracht $F = 25$ N

v_{begin} (m/s)	s_{remweg} (m)
2,8	15,5
4,2	23
5	31,5
6,2	47,5



Meetserie 2. Remweg en Remkracht.

Het verband tussen remkracht F en remweg s bij een constante beginsnelheid v en steeds dezelfde bewegende massa m (fiets en berijder).

Fiets en berijder $m = 87,5$ kg

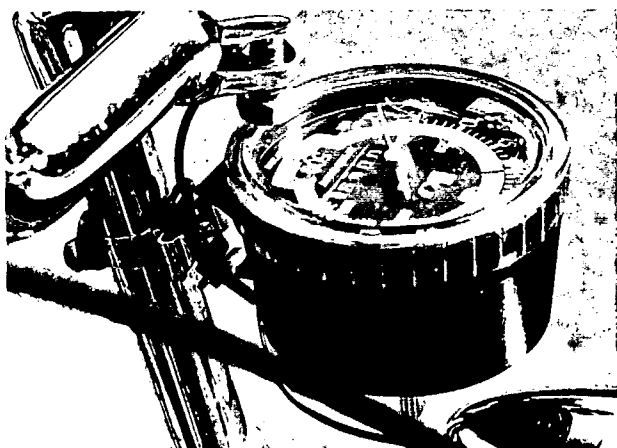
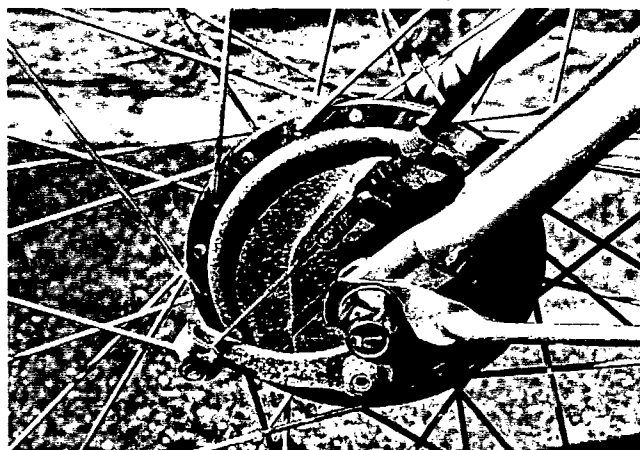
Beginsnelheid $v = 4,2$ m/s

APPARATUURGIDS

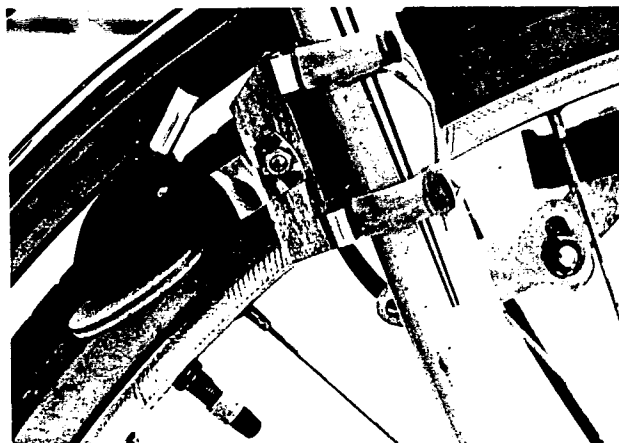
ENKELE AANWIJZINGEN BIJ DEZE MEETSERIES



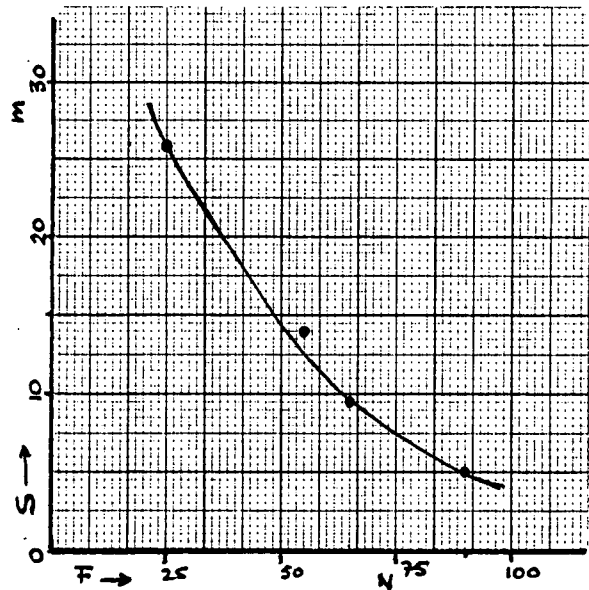
Handrem-aanslag m.b.v. een statief-klem. (bovenste foto).
We kunnen de remkracht F veranderen door de remafstelling van deze fiets met trommelremmen bij de naaf te verdraaien (onderste foto).



Voorbeeld van een tijdelijke montage van de snelheidsmeter m.b.v. gereedschapsklemmen (nr. 5) en elastiek.



Remkracht F (N)	Remweg s (m)
25	25,8
55	13,9
65	9,5
90	5



Meetserie 3. Remweg en Massa.

Het verband tussen de bewegende massa m en de remweg s bij een constante beginsnelheid v en remkracht F .

Beginsnelheid $v = 4,2$ m/s

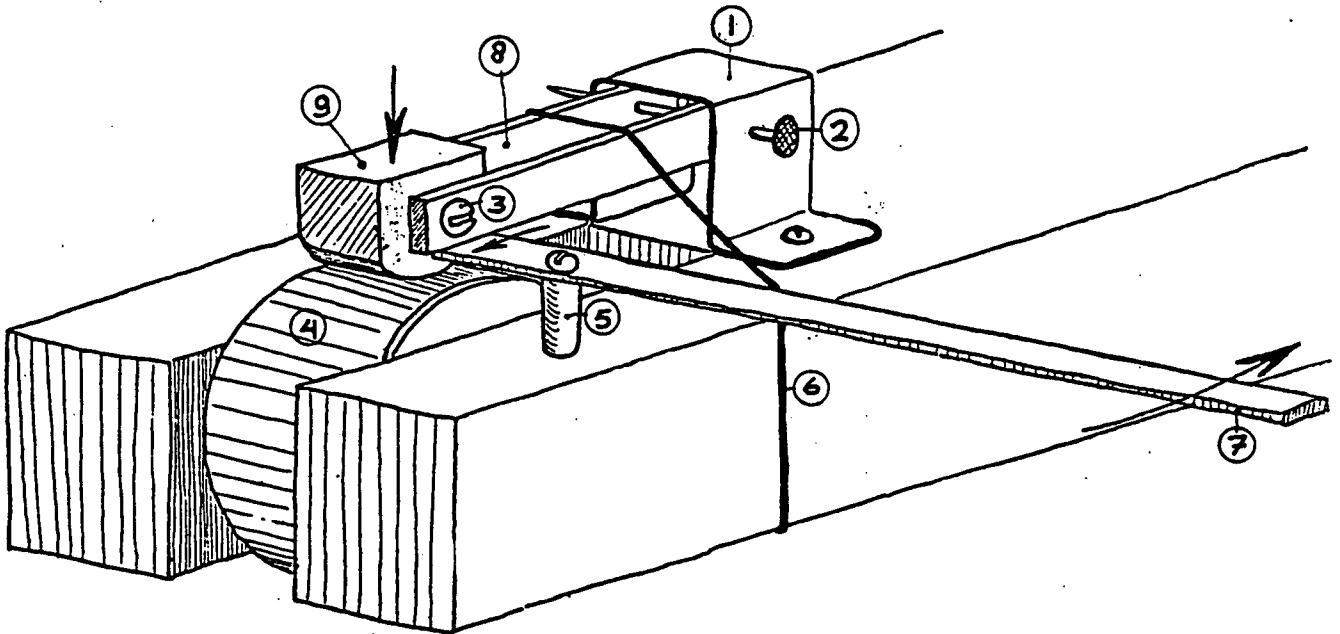
Remkracht $F = 40$ N

massa m (kg)	remweg s (m)
87,5	18,5
100	24,2
167,5	30

Blz. 31 ONDERZOEK: Remmen in een laboratorium-situatie.

- Materiaal:
- voedingsapparaat 0-12 V wisselspaning
 - tijdtikker en papierstroken
 - plakband en kleine klem
 - hellingplank 150 x 30 cm met gladde afrijplaat aan één uiteinde.
 - labolift voor instelling hellingshoek
 - botswagentje met inschakelbare rem (zie tekening)
 - gewichtjes voor botswagen
 - veerunster

APPARATUURGIDS



Inschakelbare rem voor botswagen.

Benodigdheden; 1. beugel gemaakt van aluminiumstrip 100x 18x 1 mm

2. spijker als draaipunt

3. boutje M3 x 25 mm, moertje en 2 ringen M3

4. voorwiel van de botswagen

5. draaipunt handel, hoogte van de afstandsbus is afhankelijk van de hoogte die nodig is om de rem van het wiel te lichten

6. elastiek, de remkracht is afhankelijk van de spanning in het elastiek

7. handel, beukenlatje 10x 4 mm lengte handel $\pm$ 20 cm

8. rem, beukenlatjes 10x 4 mm lengte rem $\pm$ 6 cm

9. remblok, stukje hout met rubber beplakt

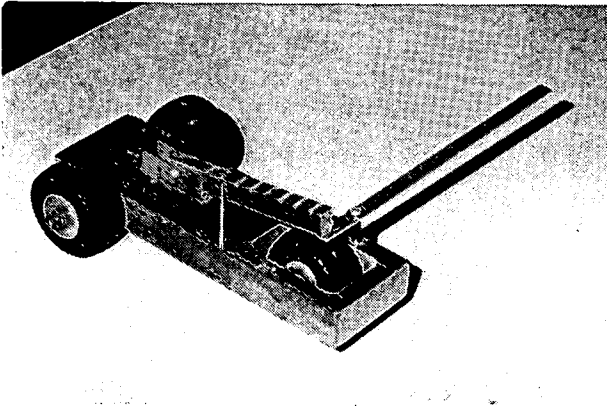


Foto: een goede variant op de botswagen met rem. Let op de instelbare remkracht!

Blz. 38 ONDERZOEK: Botsen in een laboratorium-situatie

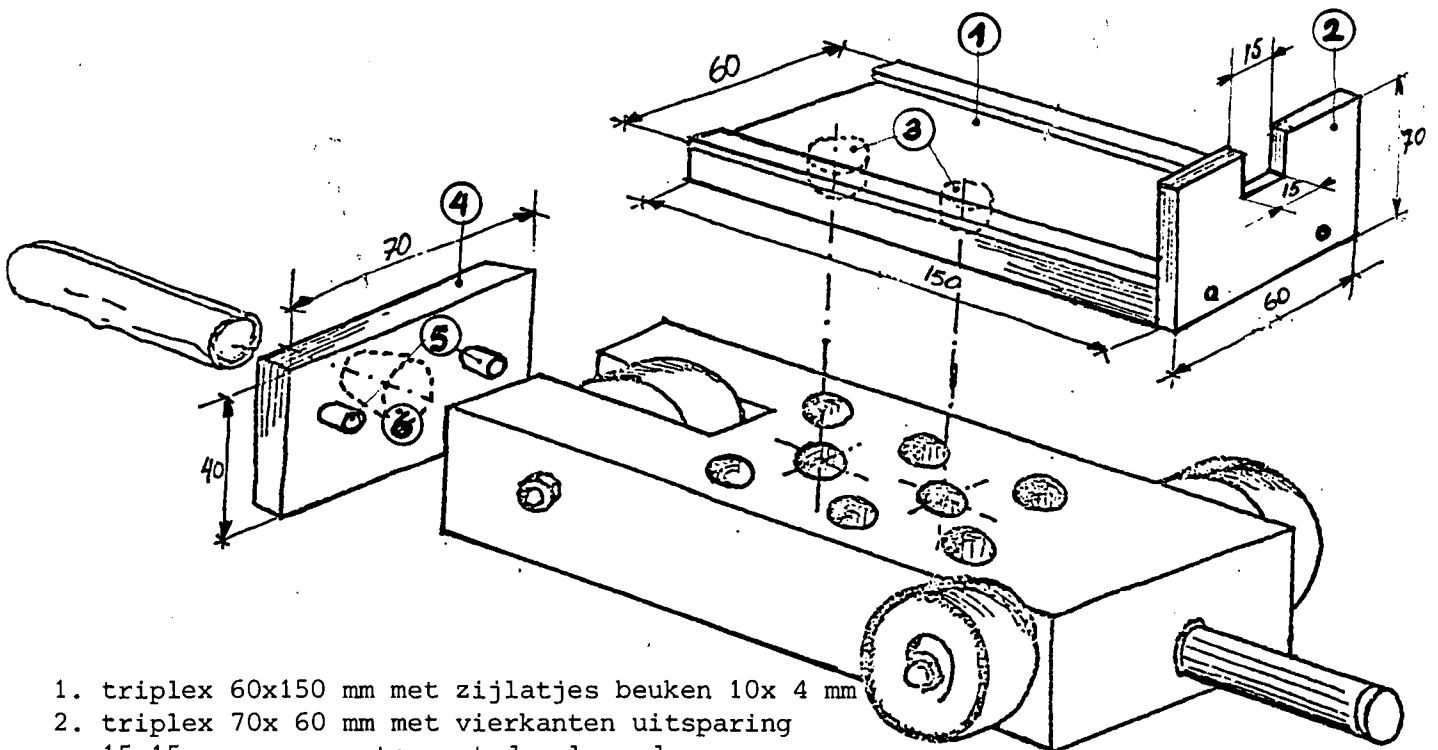
Ook hier kunnen we twee verschillende proefmogelijkheden benutten:

1e botsproeven met het botswagentje

2e botsproeven met het treintje en het piëzo-elektrische element.

1^e De botswagen

- Materiaal:
- botswagen (Malmberg)
 - barbiepop
 - veerunster met doorlopende as 0-3 N. Verkrijgbaar bij Leybold-Heraeus of Luctor.
 - bumper en plankje volgens tekening 2
 - aluminiumfolie voor bumper

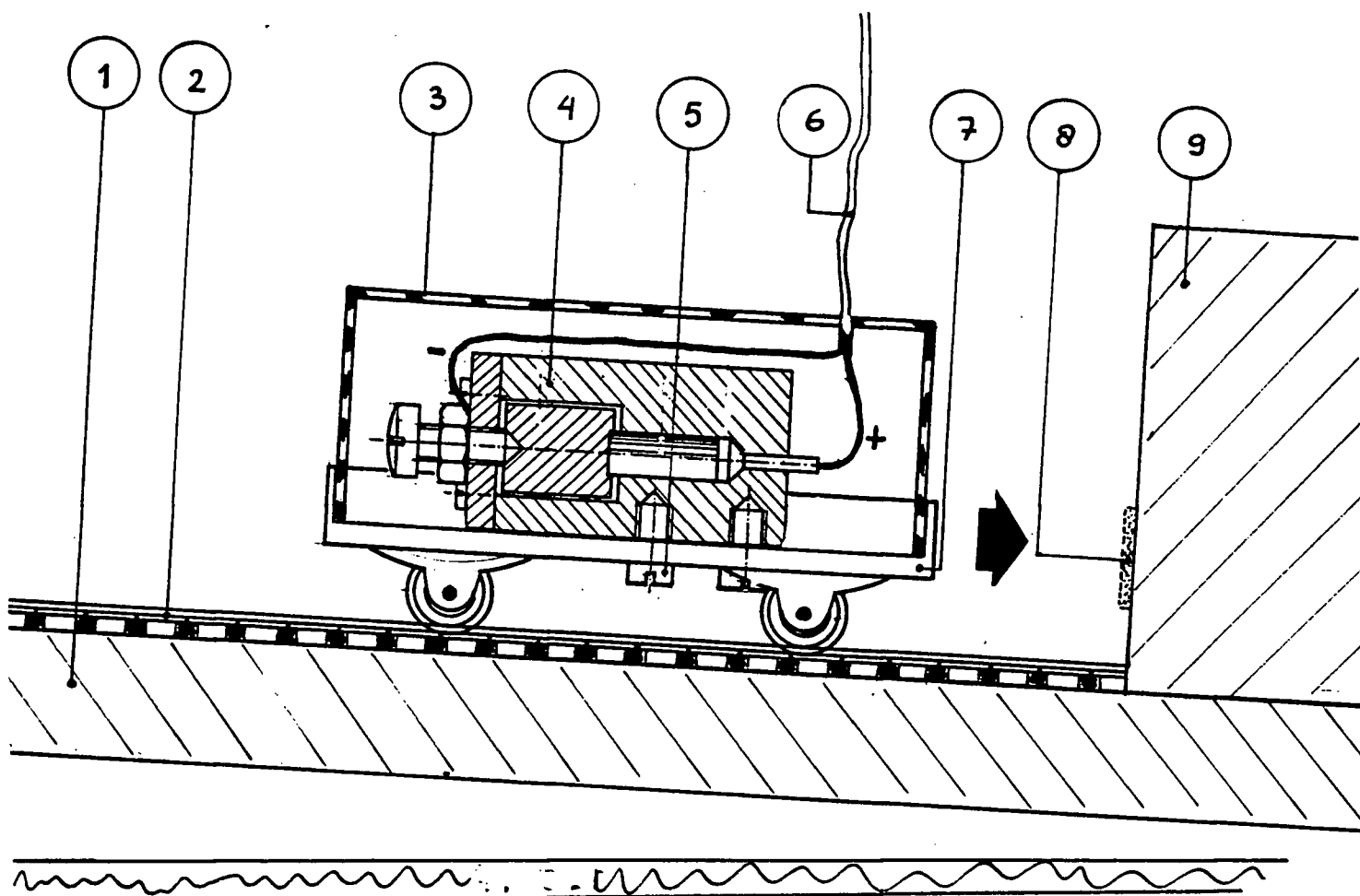


1. triplex 60x150 mm met zijlatjes beuken 10x 4 mm
2. triplex 70x 60 mm met vierkanten uitsparing 15x15 mm voor unster met doorlopende as
3. 2 stukjes rondhout passend in de gaten van de botswagen (Malmberg)
4. triplex 40x70 mm
5. pennen passend in gaten botswagen
6. kurk voor bevestiging aluminiumfolie koker

2^e Het treintje met het piëzo-elektrisch element. (Zie tekening 3)

- Materiaal:
- 1 m spoorbaan bevestigd op
 - houtenplank (zie foto)
 - houten stootblok
 - platte goederen trein, model HO
 - piëzo-elektrisch element (zie tekening 4) bevestigd op de goederen trein
 - geheugen oscilloscoop of commodore
 - C64 computer met de snelle
 - Analooq-Digitaal Converter (electronicapakket C te bestellen bij het PLON) en
 - geheugen-scoop programma voor de C64 computer

APPARATUURGIDS

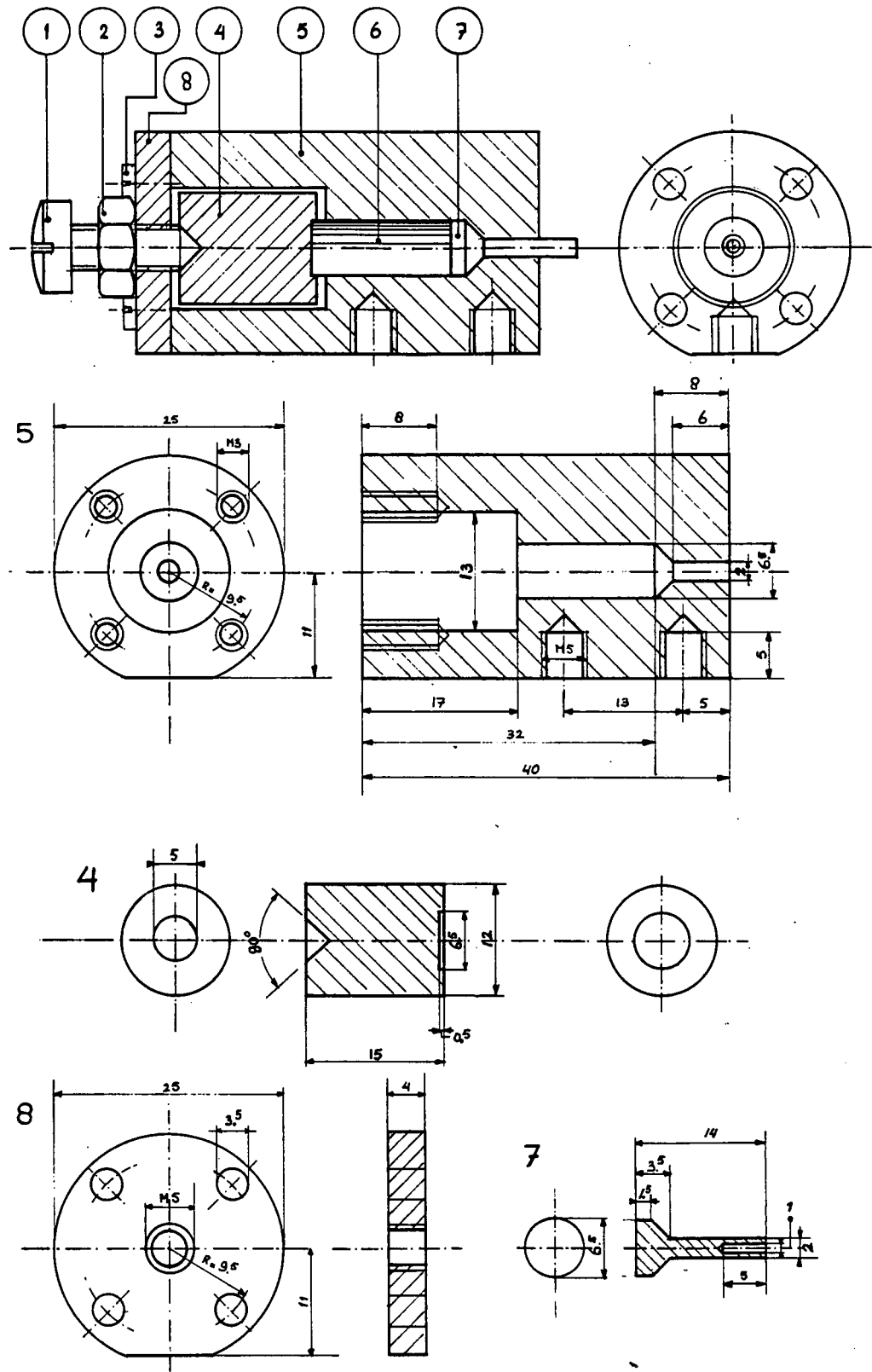


Opstelling botsproef met het treintje

1. Multiplex 18x80 mm lang 100 cm
2. rails van 1 m lengte
3. afschermkastje van aluminiumplaat dik 1 mm buitenmaten 31x82x31 mm
4. piëzo-elektrisch element (zie detailtekening 4)
5. 2 boutjes M5 x 6 mm
6. dunne soepele 1-aderige afgeschermdde kabel
7. platte open goederentrein model HO
8. bevestigingsplaats voor botsmateriaal
9. blok hout, hard hout

Het piëzo-elektrisch element.

1. bout M5 x 15 van koper
2. moer M5 van koper
3. 4 stuks bout M3 x 10 van koper
4. koperen gewicht $\varnothing 12$ mm x 15 mm lang
5. huis van perspex $\varnothing 25$ mm x 40 mm lang
6. piëzo element uit gasaansteker $\varnothing 6,3$ x 15 mm lang
7. positieve electrode van koper $\varnothing 6,5$ x 14 mm lang
8. deksel van koper $\varnothing 25$ mm x 4 mm lang



APPARATUURGIDS

Twee geheugen-scoop programma's zijn verkrijgbaar.

- 1° Storagescoop programma gemaakt door Hai Verstappen (zie PLON-krant lente 1985) verkrijgbaar door storting op rek.nr. 10.57.09.298 RABO BEMMEL.
f 30,- voor cassette en handleiding of f 38,- voor diskette en handleiding onder vermelding van "storagescoop"
- 2° Storagescoop programma gemaakt door Pieter Kloek. (PLON). Gratis verkrijgbaar na toezending van cassette of disk. Het programma draait onder Simons-basic.

Printout PLON storagescoop programma gemaakt door Pieter Kloek.

```

5 POKE 51.0 : POKE 52.96 : POKE 55.0 : POKE 56.96 : CLR : REM ZIE REF.GUIDE 389
10 REM " BOTS.AD7574 "
20 REM " DATUM : 7 FEBRUARI 1984 "
30 REM " DATUM VERSIE 2.1: 11 JULI 1984 "
40 REM " AUTEUR : PIETER KLOEK ( PLON ) "
50 REM " DIT PROGRAMMA IS EEN AANLOOP TOT EEN UNIVERSEEL STORAGESCOOP- "
60 REM " PROGRAMMA. "
70 REM " HET IS IN EERSTE INSTANTIE BEDOELT VOOR HET VERWERKEN VAN BOTS-PROEF- "
80 REM " METINGEN. "
90 REM " ER WORDT GEBRUIK GEMAAKT VAN DE AD7574 IN SLOW MEMORY MODE "
100 REM "DIT PROGRAMMA DRAAIT ONDER SIMON'S BASIC "
110 REM " DIT PROGRAMMA IS GEMAAKT OP BASIS VAN BOTS-PROEF.11 EN BOTS.AD7574.10"
120 REM " ZIE OOK HET PROGRAMMA AD7574.TEST.2 EN HET PROGRAMMA BOTS.AD7574 2.0"
130 REM " ZIE REF. GUIDE P123 "
140 REM " DE MACHINETAALROUTINE PLOT 16 GEHEUGEN PAGINA'S VOL (4K) "
500 REM " INITIALISATIE "
510 SF = 1
520 POKE 53280.0 : REM BORDER COLOR WORDT ZWART
530 POKE 53281.0 : REM BACKGROUND WORDT ZWART
540 PRINT " " : REM VOORGROND WORDT BLAUW
600 REM " INITIALISATIE CIA#2 "
610 DDRB = 56579
620 POKE DDRB.0 : REM MAAK PB INPUT-PORT
700 REM " MACHINETAAL ROUTINE LADEN "
710 REM " DE ROUTINE KOMT OP 24577 ($6001). MEMTOP LIGT OP $6000. ZIE REGEL 5 "
720 FOR I=0 TO 250
730 READ BYTE
740 POKE 24577+I,BYTE
750 NEXT
800 REM " TRIGGERLEVEL VASTLEGGEN "
810 POKE 1020.140
900 REM " SCHERM WISSEN "
910 GOSUB 10300 : REM PLOTSCHERM INITIALISEREN+WISSEN
1000 REM " HOOFDMENU "
1010 PRINT
1020 PRINT " GEHEUGEN SKOOP"
1030 PRINT
1040 PRINT " MENU"
1050 PRINT
1060 PRINT " 1 SAMPELEN"
1070 PRINT " 2 PLOTTEN (TERUG MET <RETURN> )"
1080 PRINT " 3 SCHERM WISSEN"
1090 PRINT " 4 SCHERM WEER AAN"
1100 PRINT " (TERUG MET <RETURN> )"
1110 PRINT " 5 SCHAALFACTOR WIJZIGEN"
1120 PRINT " 6 TRIGGER LEVEL WIJZIGEN"
1130 PRINT " 7 STOPPEN"
1140 PRINT
1200 INPUT " KEUZE ";A$
1210 IF A$="1" THEN GOSUB 10100 : GOTO 1000
1220 IF A$="2" THEN GOSUB 10200 : GOTO 1000
1230 IF A$="3" THEN GOSUB 10300 : GOTO 1000
1240 IF A$="4" THEN GOSUB 10400 : GOTO 1000
1250 IF A$="5" THEN GOSUB 10500 : GOTO 1000
1260 IF A$="6" THEN GOSUB 10600 : GOTO 1000
1270 IF A$="7" THEN END
1280 PRINT " GEEF 1,2,3,4,5,6 OF 7"
1290 GOTO 1200
10100 REM " SAMPELEN "
10110 GOSUB 50100 : REM VOORKOM INTERRUPTS
10120 GOSUB 50200 : REM VOORKOM VIC-BUSGEBRUIK
10130 SYS 24577
10140 GOSUB 50300 : REM MAAK INTERRUPTS WEER MOGELIJK
10150 GOSUB 50400 : REM MAAK VIC-BUSGEBRUIK WEER MOGELIJK
10160 PRINT " KLAAR MET SAMPELEN"
10170 RETURN

```

APPARATUURGIDS

```

10200 REM " PLOTEN "
10205 GOSUB 50500 : REM WELKE PAGE MOET GEPLT WORDEN
10210 OFZ = 0 : REM RESET OVERFLOW FLAG
10215 CSET 2
10220 FOR X = 0 TO 255
10225 Y = SF * PEEK( BASIS+X )
10230 IF Y<0 THEN Y=0 : OFZ=1
10235 IF Y>199 THEN Y=199 : OFZ=1
10240 PLOT X,199-Y,1
10245 NEXT X
10250 INPUT "N"; B$
10255 CSET 0
10260 PRINT "J"
10265 IF OFZ=1 THEN PRINT " LET OP! ER TRAD OVERFLOW OP"
10270 RETURN
10300 REM " SCHERM WISSEN "
10310 HIRE 6.0
10320 CSET 0
10330 RETURN
10400 REM " SCHERM WEER AAN "
10410 CSET 2
10420 INPUT "N"; B$
10430 CSET 0
10440 PRINT "J"
10450 RETURN
10500 REM " SCHAALFACTOR WIJZIGEN "
10510 PRINT
10520 PRINT " DE SCHAALFACTOR IS NU: "; SF
10530 INPUT " NIEUWE SCHAALFACTOR "; SF
10540 RETURN
10600 REM " TRIGGER LEVEL INSTELLEN "
10610 PRINT
10620 PRINT " HET TRIGGER LEVEL MOET LIGGEN "
10630 PRINT " TUSSEN 0 EN 255 "
10640 PRINT
10650 PRINT " HET TRIGGERLEVEL IS NU: "; PEEK( 1020 )
10660 INPUT " NIEUWE TRIGGERLEVEL "; AZ
10670 IF NOT( 0<=AZ AND AZ<255 ) THEN 10600
10680 POKE 1020,AZ
10690 RETURN
12100 REM " SAMPELEN "
12110 SYS 49152
12120 PRINT
12130 PRINT " KLAAR MET SAMPELEN "
12140 RETURN
50100 REM VOORKOM INTERRUPTS
50110 REM TIMER A VAN CIA#1 GENEREERT 60 KEER PER SECONDE EEN INTERRUPT
50120 REM OP BASIS VAN DEZE INTERRUPT LEEST HET SYSTEEM O.A. HET TOETSENBORD UIT
50130 REM WE MASKEREN NU DEZE INTERRUPT ( ZIE REF. GUIDE P.433 )
50140 POKE 56333,1 : REM MASK TIMER A INTERRUPT CIA#1
50150 RETURN
50200 REM VOORKOM VIC-BUSGEBRUIK
50210 REM BIJ GEWOON GEBRUIK HEEFT DE VIC6567 DE DATABUS NODIG
50220 REM DIT GEEFT PROBLEMEN
50230 REM DAAROM MAKEN WE HET SCHERM WIT (ZIE REF. GUIDE P.445)
50240 POKE 53265,PEEK( 53265 ) AND ( 255-16 )
50250 REM MAAK DEN BIT IN VIC-CONTROL REGISTER 0
50260 REM 255-16 KOMT OVEREEN MET 11101111
50270 RETURN
50300 REM MAAK INTERRUPTS WEER MOGELIJK
50310 REM ZIE COMMENTAAR BIJ SUBROUTINE 'VOORKOM INTERRUPTS' OP REGEL 50100
50320 POKE 56333,129 : REM ENABLE TIMER A INTERRUPT CIA#1
50330 RETURN
50400 REM MAAK VIC-BUSGEBRUIK WEER MOGELIJK
50410 REM ZIE COMMENTAAR BIJ SUBROUTINE 'VOORKOM VIC-BUSGEBRUIK' OP REGEL 50200
50420 POKE 53265,PEEK( 53265 ) OR 16

```

```

50430 REM MAAK DEN BIT IN VIC-CONTROL REGISTER 1
50440 RETURN
50500 REM " GEHEUGENPAGINA OP VRAGEN "
50510 REM UITVOERPARAMETER: BASIS
50520 PRINT
50530 PRINT " LAATSTE GEPLORTE PAGINA: "; PAG
50540 INPUT " NIEUW PAGINANUMMER "; PAG
50550 IF ( 0<=PAG AND PAG<=15 ) THEN 50590
50560 PRINT " PAGINANUMMER MOET LIGGEN TUSSEN "
50570 PRINT " 0 EN 15 "
50580 GOTO 50540
50590 BASIS = INT( 256*( 97+PAG ) ) : RETURN
62000 DATA 162,0,173,1,221,234,234,234,234,234,173,1,221,205
62010 DATA 252,3,144,244,234,234,234,234,173,1,221,157,0,97,232,208
62020 DATA 245,240,1,234,234,173,1,221,157,0,99,232,208,245,240,1
62030 DATA 234,234,173,1,221,157,0,99,232,208,245,240,1,234,234,173
62040 DATA 1,221,157,0,100,232,208,245,240,1,234,234,173,1,221,157
62050 DATA 0,101,232,208,245,240,1,234,234,173,1,221,157,0,102,232
62060 DATA 208,245,240,1,234,234,173,1,221,157,0,103,232,208,245,240
62070 DATA 1,234,234,173,1,221,157,0,104,232,208,245,240,1,234,234
62100 DATA 173,1,221,157,0,105,232,208,245,240,1,234,234,173,1,221
62110 DATA 157,0,106,232,208,245,240,1,234,234,173,1,221,157,0,107
62120 DATA 232,208,245,240,1,234,234,173,1,221,157,0,108,232,208,245
62130 DATA 240,1,234,234,173,1,221,157,0,109,232,208,245,240,1,234
62140 DATA 234,173,1,221,157,0,110,232,208,245,240,1,234,234,173,1
62150 DATA 221,157,0,111,232,208,245,240,1,234,234,173,1,221,157,0
62160 DATA 112,232,208,245,96,1,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96
62170 DATA 96,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96,96

```

READY.

Indien u over een matrixprinter beschikt kunt u de volgende regels toevoegen:

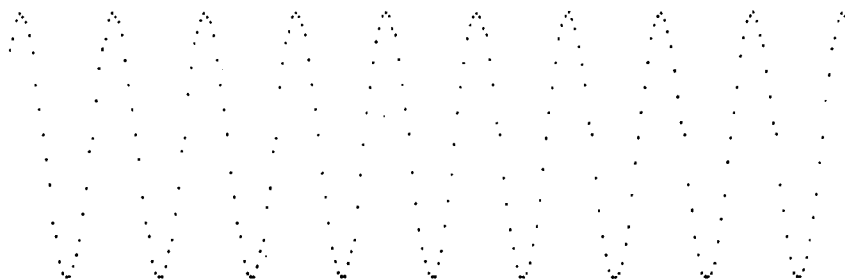
```

1135 PRINT " 8 SCHERM UITPRINTEN "
1275 IF A$="8" THEN GOSUB 10700: GOTO 10
00
10700 REM "SCHERM UITPRINTEN"
10710 COPY
10720 RETURN

```


APPARATUURGIDS

VOORBEELD MEETSERIE MET HET BOTSTREINTJE



1

1. Bepaling omzettingstijd A-D converter met een referentiesinus in dit geval 2000 Hz. We tellen 140 omzettingen in 5 perioden = 17,86 μ s per omzetting.

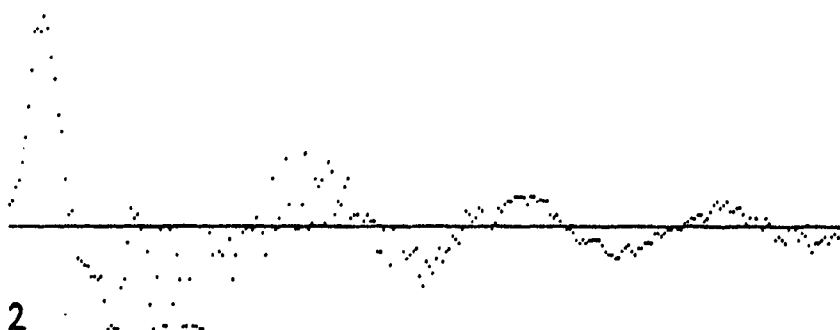
Twee voorbeelden van botsingen met het treintje opgenomen met het PLON storage-scoop programma.

meetserie 1

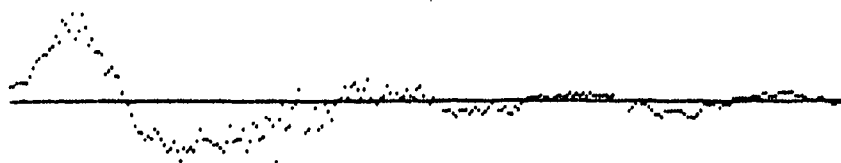
2. Botsing op 1 mm rubber (20 omz. = 0,36 ms botstijd)

meetserie 2

3. Botsing op 3 mm rubber (35 omz. = 0,6 ms botstijd)



2



3

Blz. 43 ONDERZOEK: Rolwrijving bij fietsen.

Materiaal: - afrijplank ± 2,5 m lang
 - fiets met berijder
 - personenweegschaal
 - meetlint 0-25 m
 - kleine unster 0-10 N

EEN VOORBEELD METING

Bepaal de rolwrijving van een fiets d.m.v. de helling-uitrij methode.

massa fietser = 79,5 kg
 massa fiets = 21 kg

totaal = 100,5 kg Zwaartekracht is dus 1005 N.

hellinghoogte $\Delta h = 0,08$ m

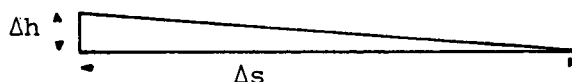
Deze proef is gedaan in een lange gang van een gebouw.

uitrij keer	s (m)
1	17,5
2	17
3	16
4	18
5	17,5

$\Delta s_{\text{gem.}}$ 17,2 m

Hellingpercentage = $\frac{\Delta h}{\Delta s} \times 100\% = 47\%$

$F_{\text{rolwrijving}} = 1005 \times 0,47\% = 4,7$ N



Blz. 44 ONDERZOEK: Totale weerstand bij fietsen

materiaal: - veerunster 0-12 kg/touw
 - fiets met berijder
 - personenweegschaal
 - stopwatch
 - kleine draagbare cassetterecorder (b.v. Walkman)
 - goede snelheidsmeter (IKU SPEEDOMAT 500)



APPARATUURGIDS

Om de totale weerstand F bij fietsen te bepalen kunnen we alweer gebruik maken van twee methoden: 1° de sleepmethode
2° de uitrijmethode.

De sleepmethode houdt in dat de fietser door een andere fietser of brommer wordt voortgetrokken aan een touw met een veerunster er tussen. De moeilijkheid hierbij is de snelheid van deze combinatie zo stabiel (eenparig) te houden dat de veerunster een reële weerstand F aangeeft direct kan worden afgelezen.

Een qua proef eenvoudiger uit te voeren methode is het laten uitrijden van de fiets, alleen de bepaling van de weerstand F is omslachtig. Het uitrijden gaat als volgt: we hangen een kleine draagbare cassetterecorder in de opneem-mode om de nek van de fietser en voorzien de fiets van een goede snelheidsmeter. Vervolgens maakt de fietser snelheid op een lange vlakke weg. De fietser probeert een zo hoog mogelijke snelheid te krijgen. Na het bereiken van de hoogste snelheid houdt de fietser op met trappen en laat de fiets uitrijden. Tijdens het uitrijden markeert de fietser op de cassetteband precies de snelheid die hij op dat moment bereikt, b.v..... 25 km/uur.....nu 20 km/uur.....enz.

We doen deze proef nogmaals maar dan in tegengestelde rijrichting. Daarna nemen we, van de cassetteband, met de stopwatch de vervaltijden van de snelheid op en berekenen het gemiddelde uit de twee richtingen.

Deze methode is ook bruikbaar bij het uitrijden met de brommer en de auto.

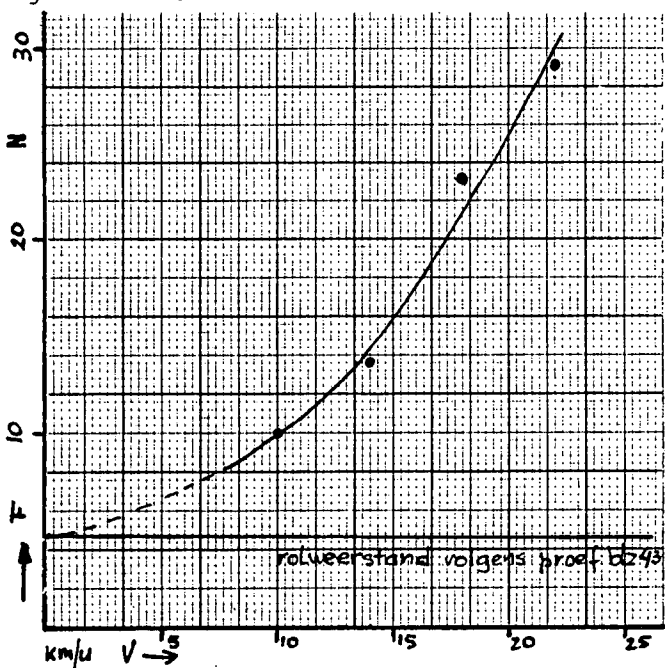
EEN VOORBEELD MEETSERIE

Bepaal de afhankelijkheid van de weerstand F aan de snelheid v .

Totale bewegende massa m fiets en berijder = 100,5 kg.

$\Delta v = 1,11 \text{ m/s}$

v (km/uur)	24	Δv	20	Δv	16	Δv	12	Δv	8	rijrichting
t (s)	0		5,2		11,4		22		36,2	←
	0		2,6		6,2		12		20,3	→
t _{gem.} (s)			3,9	Δt 4,9	8,8	Δt 8,2	17	Δt 11,3	28,3	



$$\Delta V = a \cdot \Delta t$$

$$F = m \cdot a$$

$$F = m \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

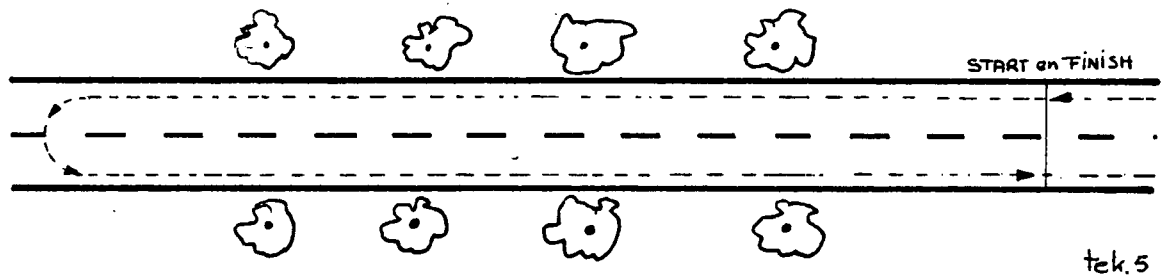
Voorbeeld: 16 naar 12 km/h

$$F = 100 \times \frac{1,11}{8,2}$$

$$F = 13,7 \text{ N}$$

Blz. 44 ONDERZOEK: Benzine verbruik van een bromfiets.

- Materiaal:
- bromfiets met versnelling en berijder
 - perspexbuis $\varnothing$ 10x 2 mm, lengte 75 cm met een maatverdeling per cm^3
 - trechtertje passend in perspexbuis
 - tankje benzine
 - rubberslangetje voor verbinding tussen perspexbuis en carburator ingang
 - stopwatch



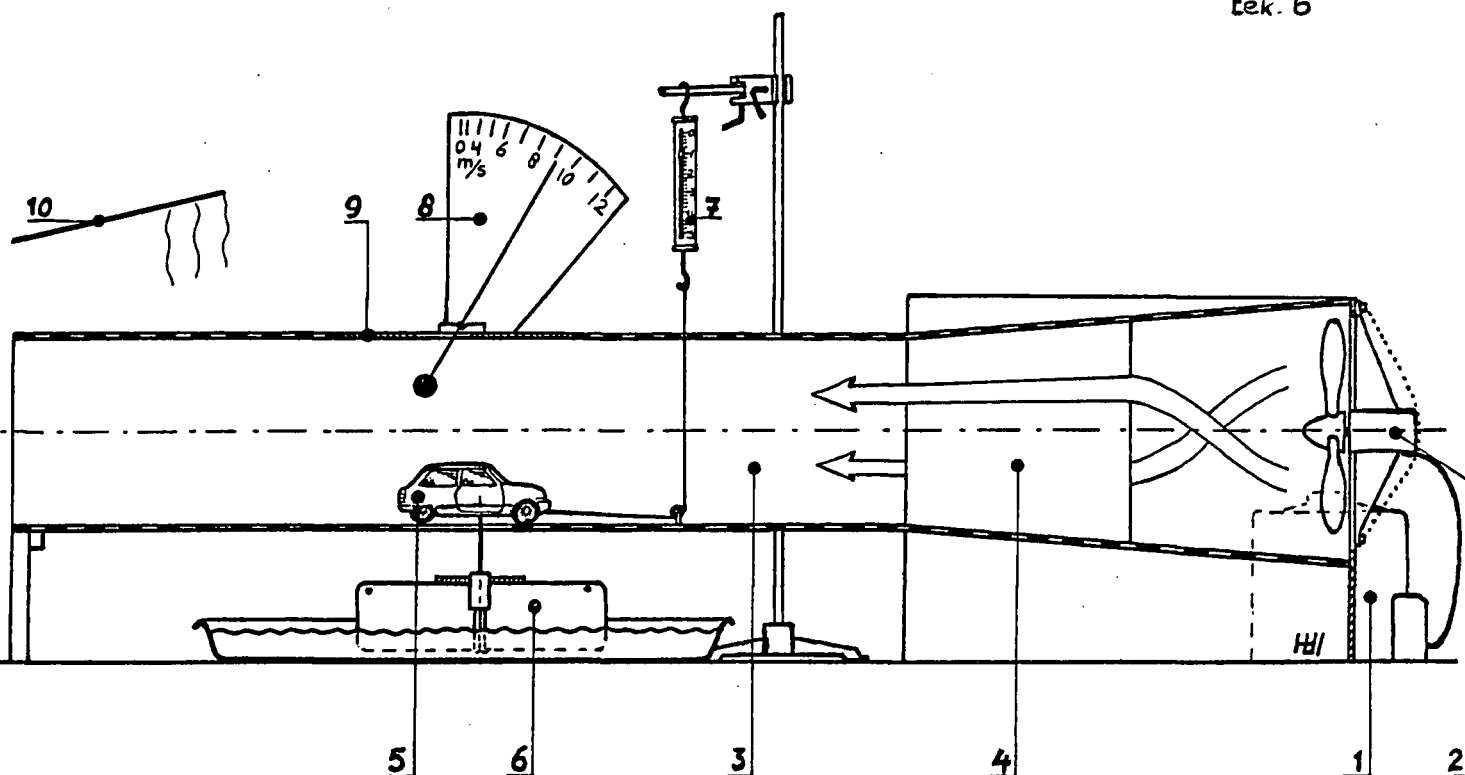
- Let op!
- Rijd met de brommer steeds in de hoogste versnelling - het benzine verbruik is sterk afhankelijk van het toerental.
 - Probeer het traject met een constante snelheid af te leggen.
 - Leg het traject bij iedere meting in twee richtingen af (zie tekening 5).

Blz. 45 ONDERZOEK: Luchtweerstand bij een auto

Materiaal: benodigdheden voor de windtunnel (zie tekening 6).

- Stuklijst
1. variac 0-260 V voor regeling van
 2. ITHO-ventilator type VRS 20
 3. luchtkanaal van geplastificeerd spaanplaat (zie maatschets 6a)
 4. aluminium schotten om luchtwerveling in het zog van de ventilator op te heffen (zie maatschets 6b)
 5. automodel op plateau (zie maatschets 6c)
 6. een vlot van frisdrankblikjes, drijvend in een grote foto-ontwikkelbak (zie maatschets 6d)
 7. veerunster, b.v. 0-30 gram (Breukhoven) of zelfbouw 0-20 gram, voor meting luchtweerstand
 8. luchtsnelheidsmeter (zie maatschets 6e)
 9. perspex inzetvenster (zie maatschets 6f)
 10. hengel met soepele draadjes kan worden gebruikt om het stromingspatroon te bekijken als het inzetvenster is verwijderd

tek. 6



Twee merken modelauto's lijken geschikt om in de windtunnel te worden gebruikt:
Burago schaal 1:24
Polistil schaal 1:25

Luchtkanaal

Gemaakt van geplastificeerd spaanplaat 10 mm dik met de volgende afmetingen:

2 stuks 800x170 mm (A + B)

2 stuks 800x150 mm (C + D)

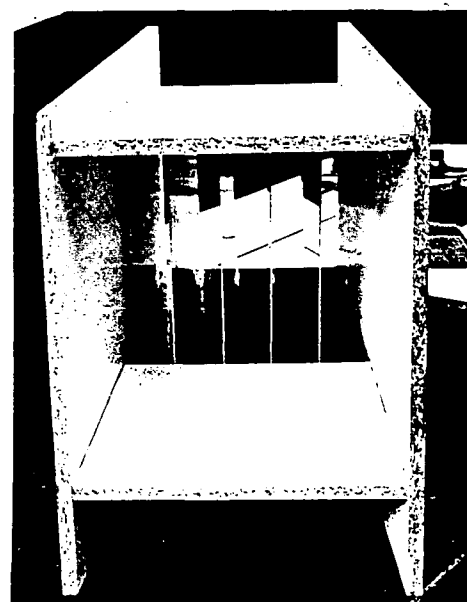
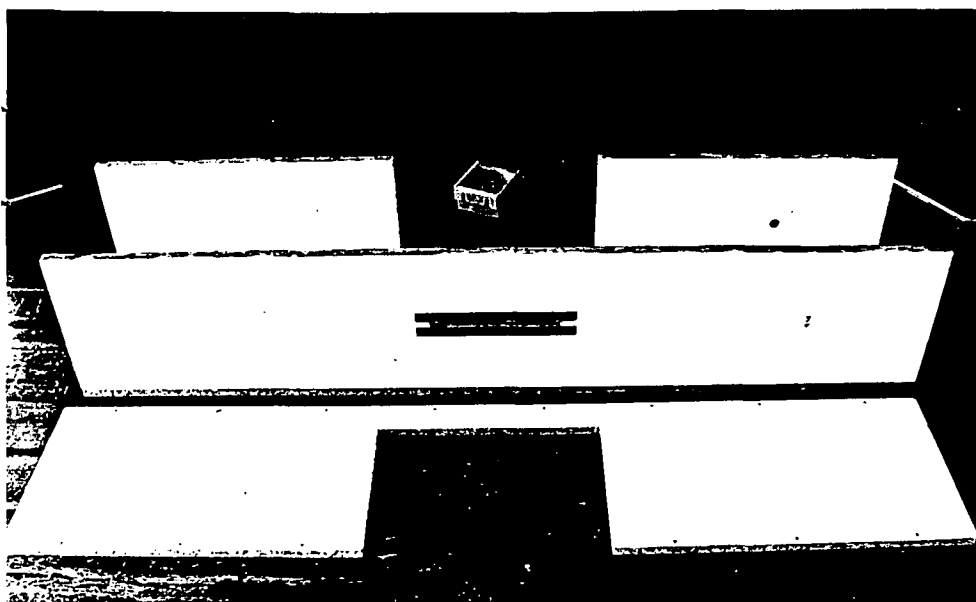
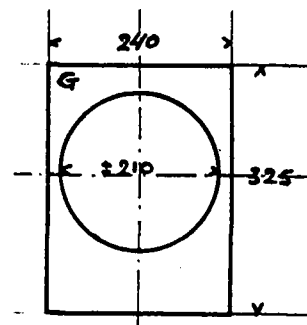
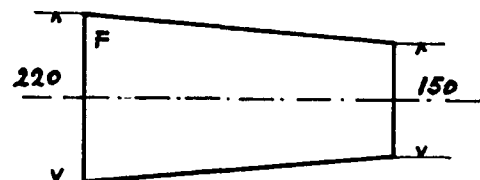
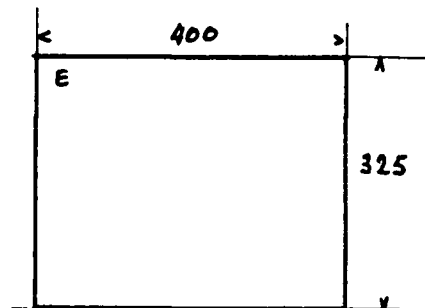
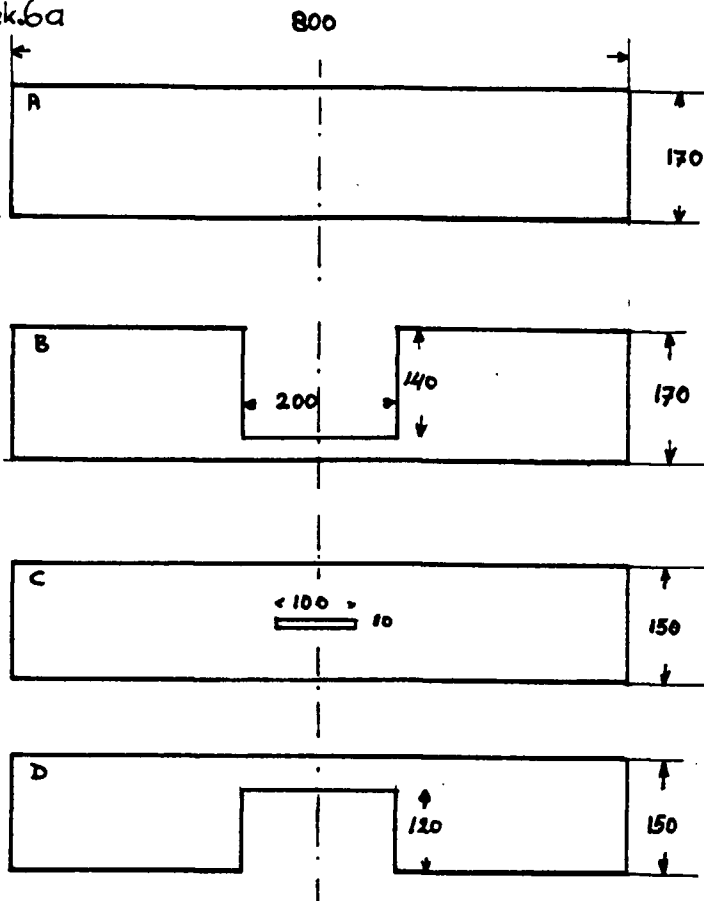
2 stuks 400x325 mm (E)

2 stuks 220x220 mm (F)

1 stuk 240x325 mm (G)

Het kanaal wordt vastgelijmd en geschroefd met kleine schroefjes (eerst voorboren!).

tek. 6a



APPARATUURGIDS

Aluminium luchtgeleidings schotten.

Gemaakt van aluminiumplaat 1 mm dik.

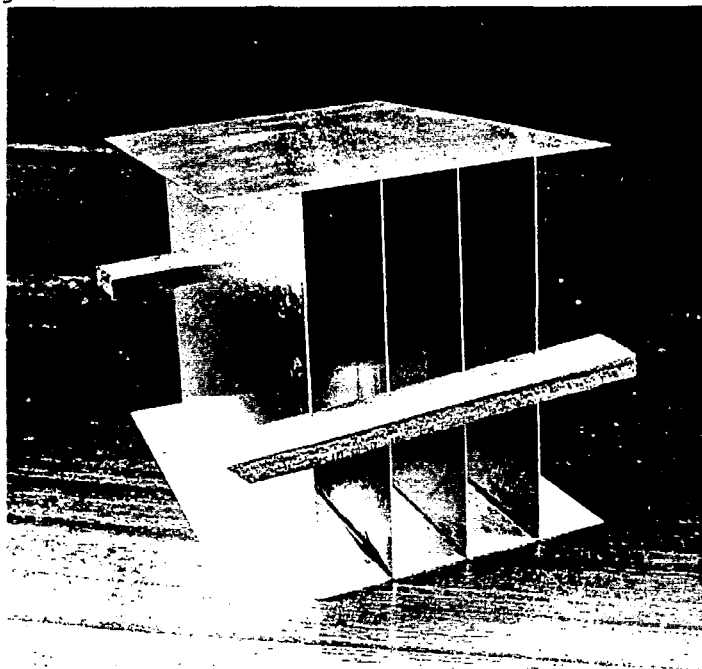
De platen hebben de volgende afmetingen.

4 stuks van 183x200 mm (H)

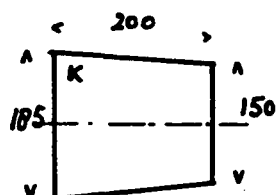
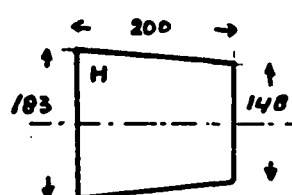
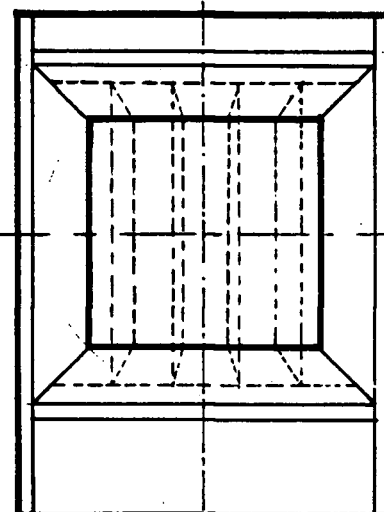
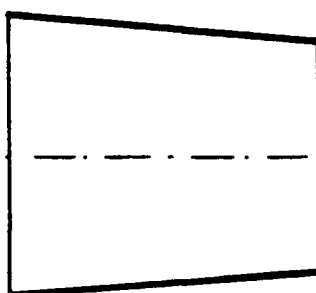
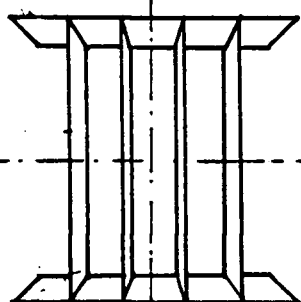
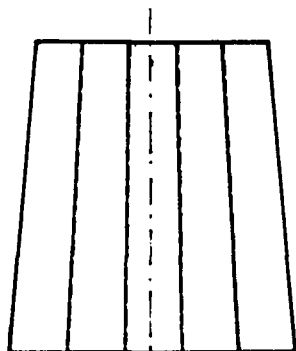
2 stuks van 185x200 mm (K)

De platen (H en K) zijn aan elkaar gelijmd met 2-componentenlijm.

Het complete luchtgeleidingsschot wordt in het convergerende deel van het luchtkanaal vast geklemd (gelijmd).



tek.
6b



Het vlot met het plateau voor de modelauto.

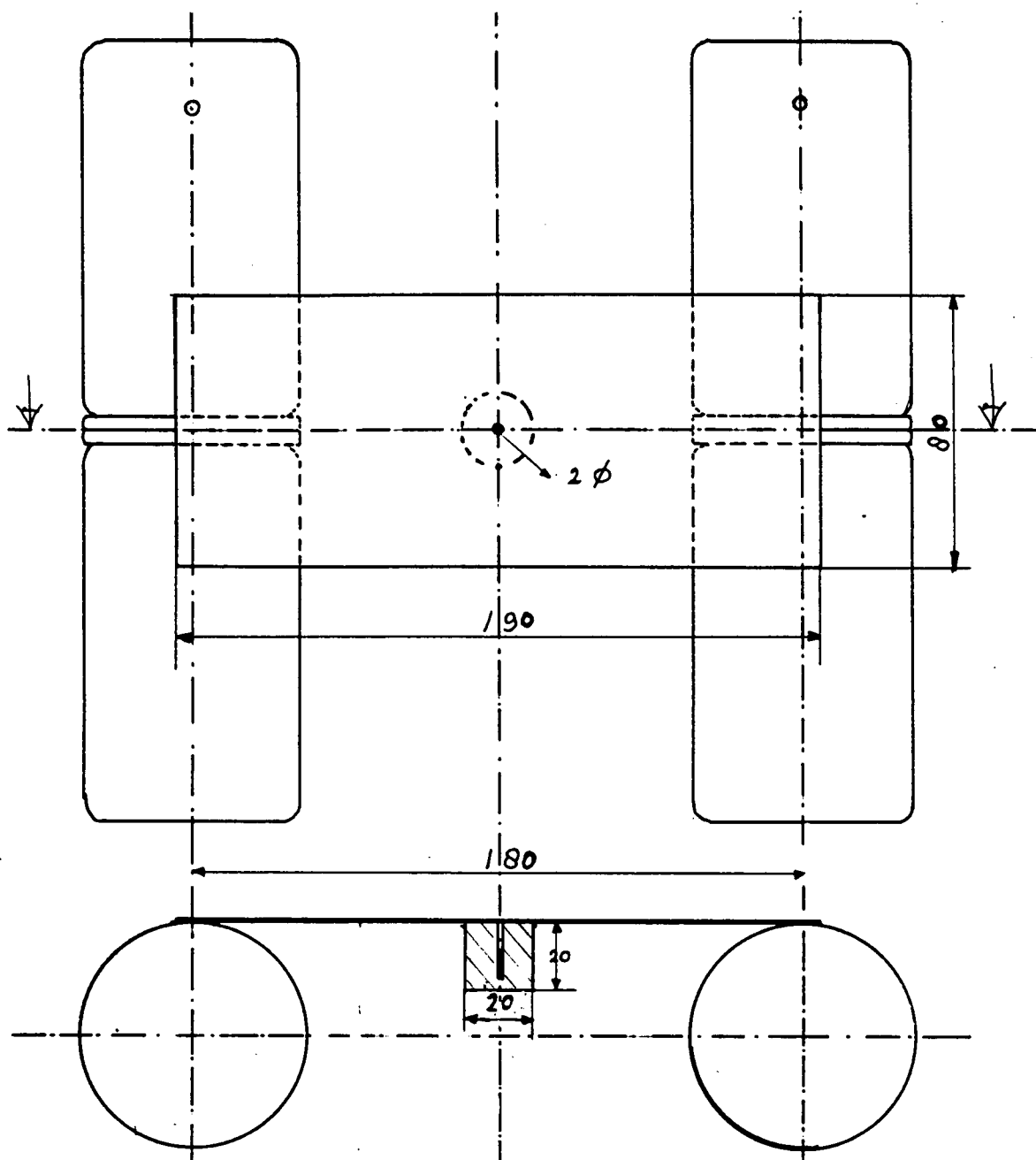
Het vlot is gemaakt van de volgende materialen:

- 4 frisdrankblikjes in paren aan elkaar gelijmd (2-componenten) of gesoldeerd
- 1 stuk aluminiumplaat 1 mm dik 190x 80 mm groot met 2-componentenlijm vastgelijmd aan de evenwijdig aan elkaar liggende blikken drijvers. Middenonder deze aluminiumplaat is, alweer met 2-componentenlijm, een stuk aluminiumstaaf $\varnothing 20$ mm x 20 mm hoog, gelijmd. In het midden is een niet doorlopend gat van 2 mm $\varnothing$ geboord, waarin het plateau wordt gestoken.

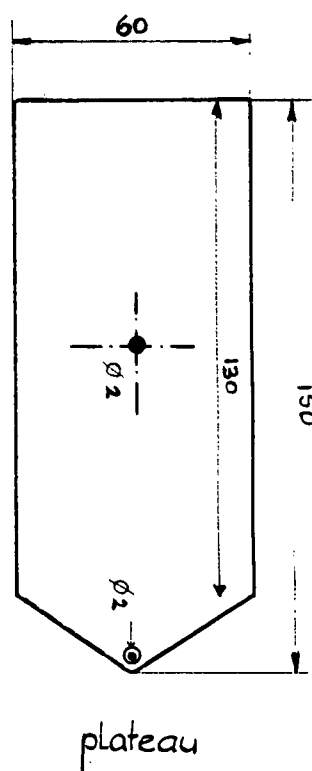
Het plateau is gemaakt van messingplaat 1 mm dik, groot 60x150 mm met in het midden een lasstaaf van 2 mm $\varnothing$ vastgesoldeerd haks op het plateau.

Aan de voorkant is een gaatje van 2 mm $\varnothing$ geboord voor het touwtje van de veerunster.

tek. 6d

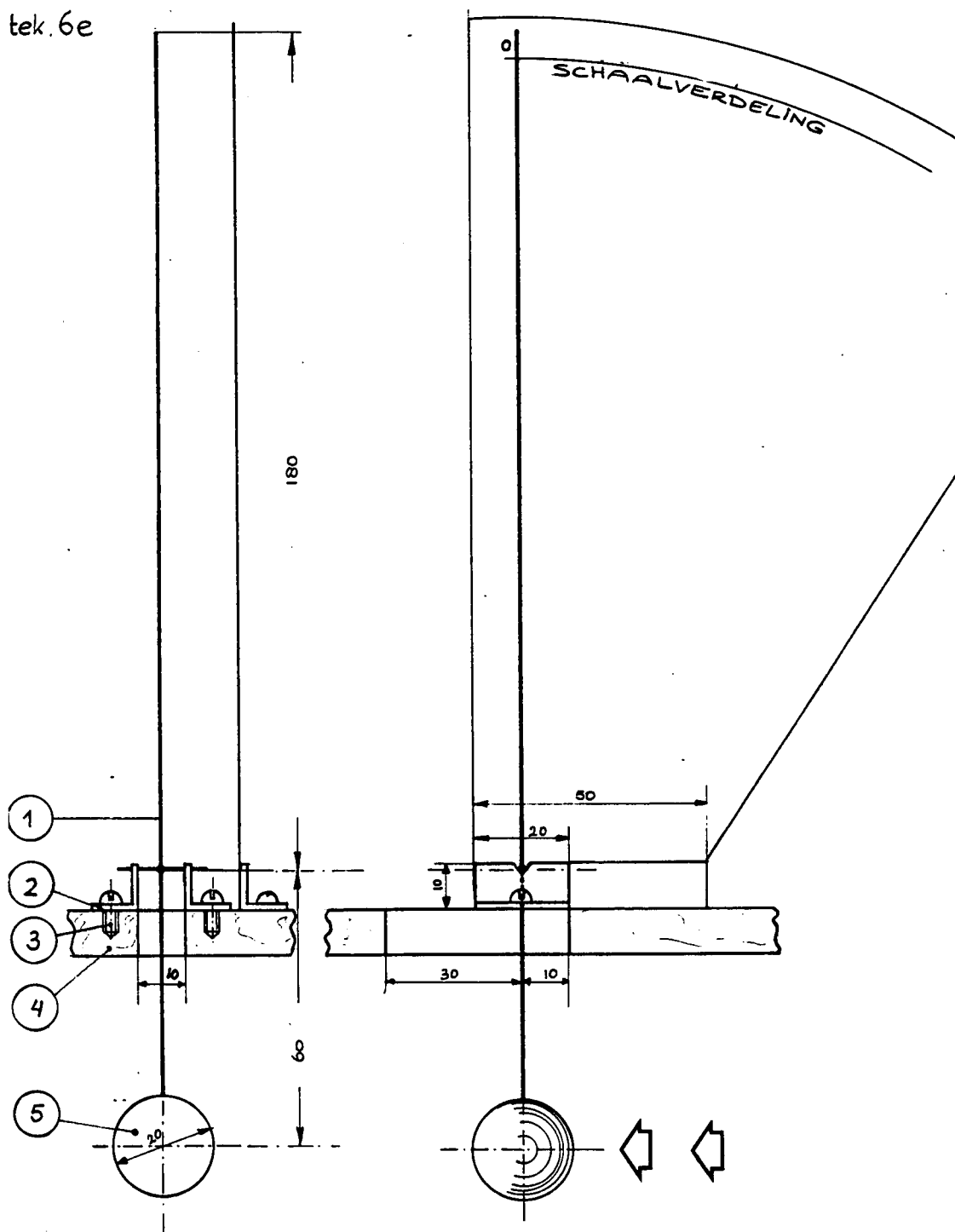


tek. 6c



APPARATUURGIDS

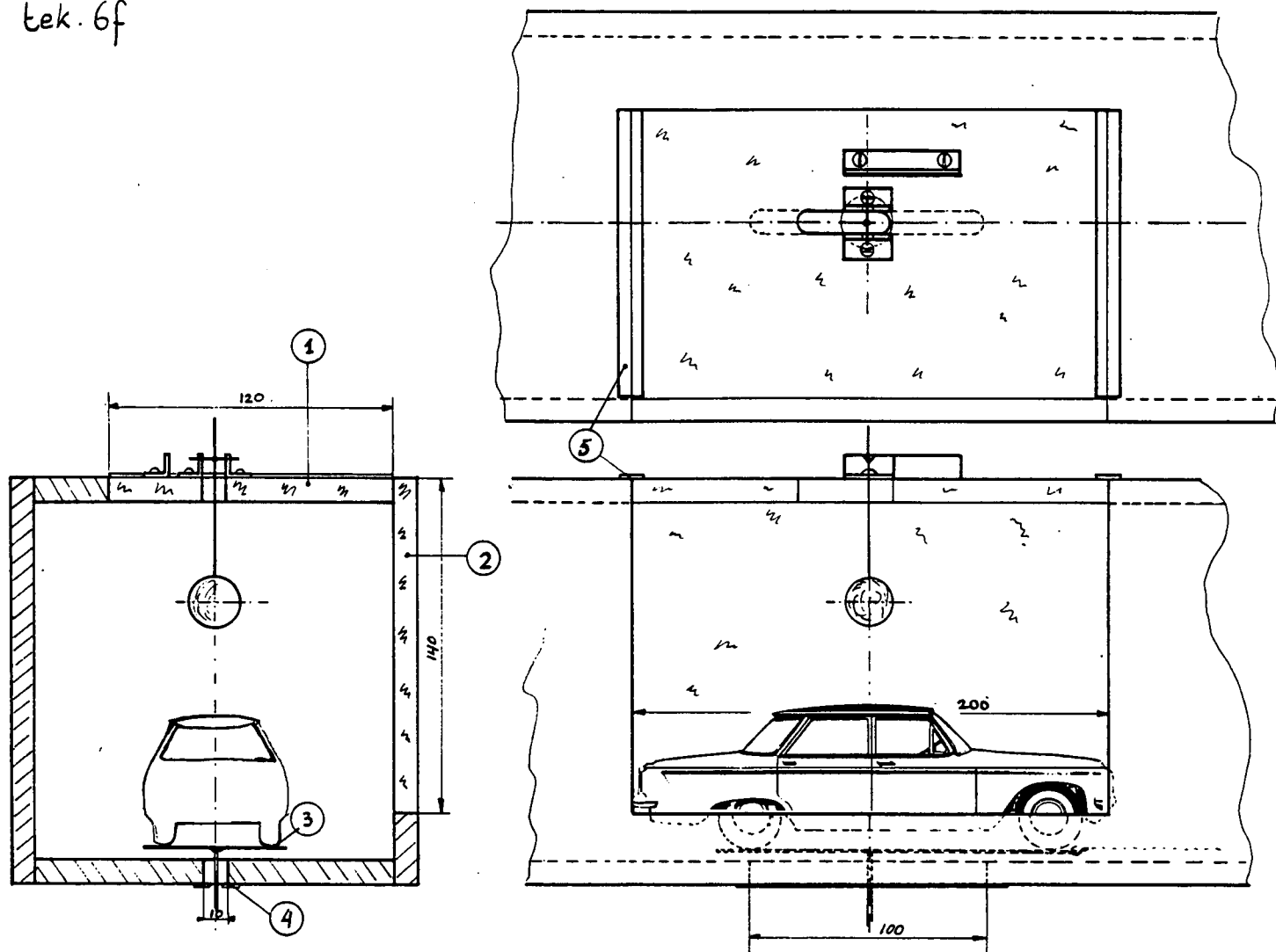
tek. 6e



Luchtsnelheidsmeter

1. wijzer gemaakt van 1 mm $\varnothing$ lasstaaf. (Draaipunt gesoldeerd.)
2. L steunen 10x10x 2 mm messing of aluminium voor wrijvinsarme ophanging draaipunt van de wijzer en bevestiging schaal-verdeling
3. 4 boutjes M3 x 8 mm
4. perspex inzetvenster, zie tek. 6f
5. gladde bol diameter $\pm$ 20 mm gewicht 1,5 à 2 gram (houten kraal!).

tek. 6f



Perspex inzetvenster

Op de tekening is links weergegeven doorsnede van het luchtkanaal t.h.v. het perspex inzetvenster.

Rechtsonder een zijaanzicht, en rechtsboven een bovenaanzicht van het inzetvenster.

Het venster is gemaakt van perspex van 10 mm dik afmetingen

1. 120x200 mm

2. 140x200 mm

5. 110x 10x 2 mm dik
perspex.

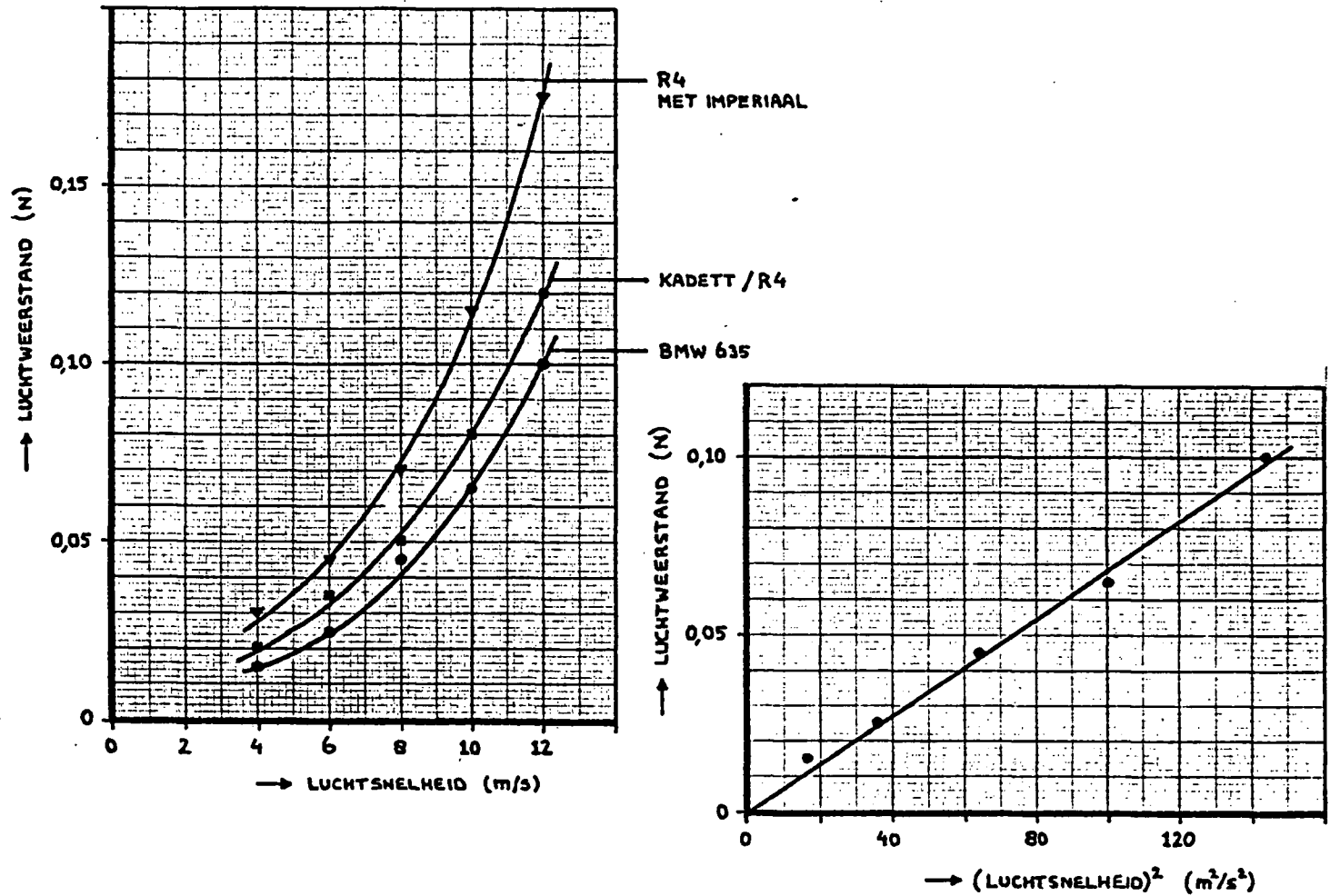
Het perspex kan worden verlijmd met twee-componentenlijm.

Speciale aandacht moet worden gegeven aan de doorvoering van het plateau (3): Om de wrijving van staaf van het plateau tegen de zijkanten van de sleuf te beperken zijn evenwijdig aan elkaar (4) twee messen gelijmd. Voor de messen is ieder dun, hard materiaal geschikt met een afmeting van 100x 10x 0,5 mm dik.

APPARATUURGIDS

EEN VOORBEELD MEETSERIE

Het verband tussen de luchtweerstand F_w en luchtsnelheid v bij verschillende automodellen.



Uit: NVON-maandblad 10-3 (1985)

H. JOOSTEN
Dukenburgcollege, Nijmegen

Onderzoek naar de relatie tussen stuwkracht en vaarsnelheid

In samenwerking met de afdeling vakdidactiek natuurkunde van de K.U.N. zijn er twee praktikumtoetsen ontworpen die beide dezelfde onderzoeksvraag hebben. De HAVO-toets gaat over rivierschepen, de VWO-toets over luchtschepen. Beide praktika zijn naar grote tevredenheid op enkele scholen in de regio als P.S.O. uitgevoerd. Hier volgt een korte beschrijving.

Het „boten“-praktikum

De snelheid waarmee een boot vaart hangt o.a. af van zijn belasting en van de stuwkracht van zijn motoren. Hoe beide factoren meespelen wordt in deze proef onderzocht.

Uiteraard werken de leerlingen aan een schaalmodel. Daarvoor gebruiken ze als rivier een plastic plantenbak van ca. 1 meter lengte die gevuld is met water. Als boot krijgen ze een plastic fritesbakje, als belasting gebruiken ze droog zilverzand en als motor wordt de zwaartekracht op één of meer paperclips gebruikt. Men werkt aan de volgende opstelling (figuren 1 en 2).

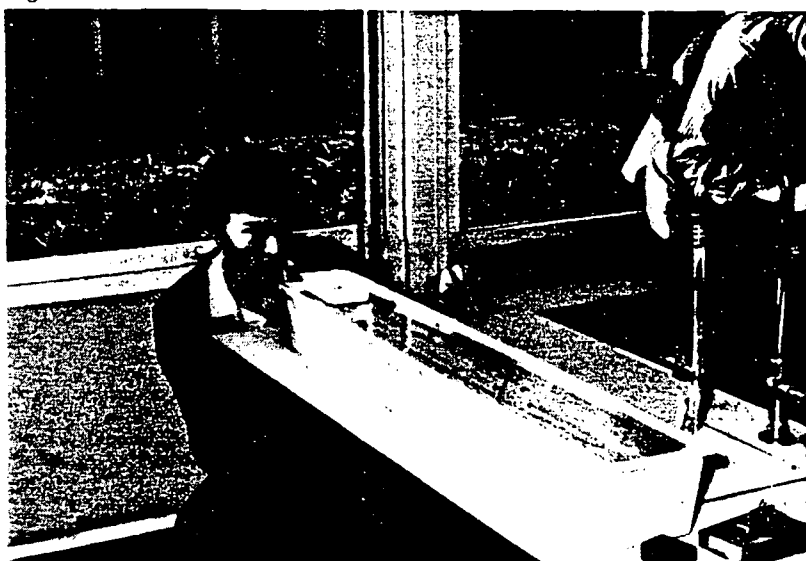
We geven de leerlingen de indruk dat ze als medewerkers van het Waterloopkundig Laboratorium aan het werk zijn. Ze krijgen een opdracht van een rederij om de volgende twee kwesties te onderzoeken.

Kwestie 1: Hoe kan men op de meest efficiënte manier een hoeveelheid zand van Rotterdam naar Bazel vervoeren m.b.v. schepen bij constante stuwkracht?

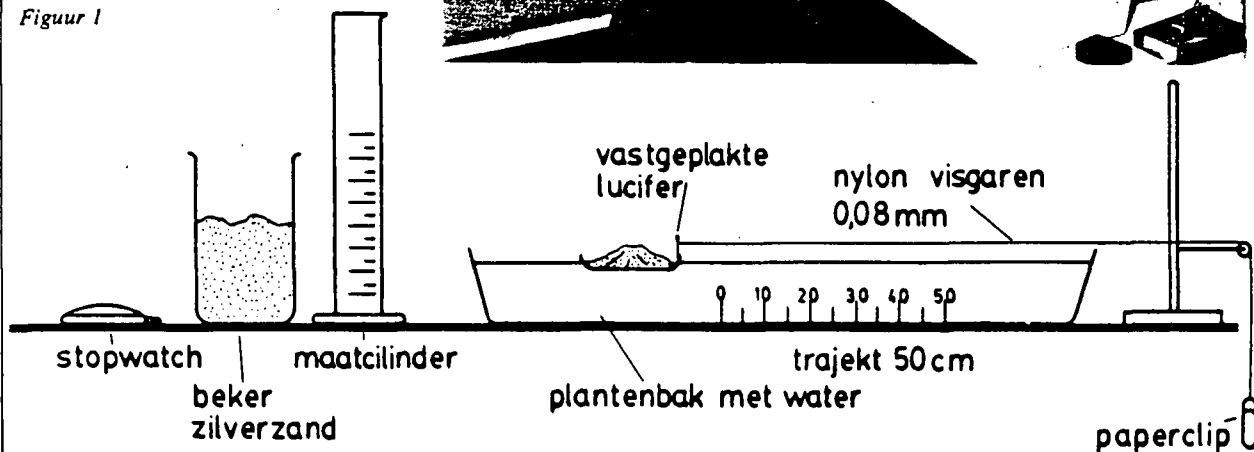
Kwestie 2: Hoe hangt bij constante lading de vaarsnelheid af van de stuwkracht?

Om kwestie 1 op te lossen bepalen ze de snelheid die de boot krijgt bij verschillende lading terwijl de stuwkracht constant is (één paperclip). De HAVO-kandidaten wijzen we wel op het feit dat ze pas moeten meten als de boot eenparig beweegt, dus als de wrijvingskracht even groot is als de trekkracht. Ze meten daarom de tijdsduur waarin de laatste 50 cm van de bak wordt afgelegd. De belasting meten ze met een maatcilinder van 100 ml en drukken ze uit in „cm³ zand“. Het resultaat vindt u in tabel 1 en grafiek 1.

Figuur 2



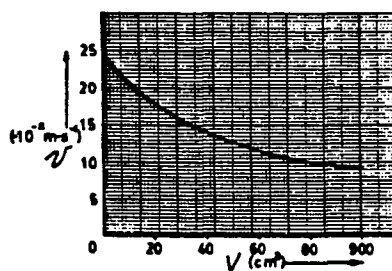
Figuur 1



ONDERWIJS IN BEWEGING

Tabel 1

belasting (cm ³ zand)	gem. tijd om 50 cm af te leggen (s)	v (m.s ⁻¹)
0	2,05	0,244
10	2,33	0,215
20	2,78	0,180
30	3,15	0,158
40	3,50	0,143
50	3,93	0,127
60	4,20	0,119
70	4,50	0,111
80	4,90	0,102
90	5,08	0,098
100	5,45	0,092



Grafiek 1

Bepaling van de snelheid van de modelboot als functie van de lading bij constante trekkraft (één paperclip: $F_t = 5,0$ mN)

Om kwestie 2 op te lossen vullen ze de boot met 100 cm³ zand en meten de vaarsnelheid bij een trekkraft veroorzaakt door 1 tot 5 paperclips. We geven twee mogelijke betrekkingen tussen F en v , nl. $F = c \cdot v$ en $F = c \cdot v^2$, en vragen welke formule het beste met hun meetresultaten in overeenstemming is. In tabel 2 en grafieken 2 en 3 zijn de meetresultaten weergegeven.

Beoordeling en tijdsduur

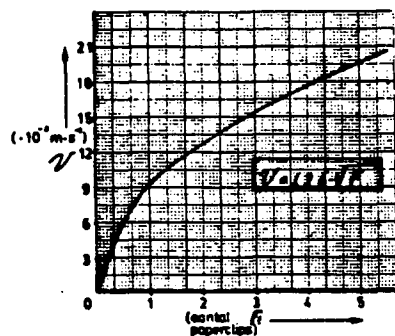
Dit praktikum toetst goed enkele praktische vaardigheden; verder worden in de leerlingenhandleiding 9 vragen gesteld. Het cijfer kan met een beoordelingsschema vrij objectief worden bepaald. Het door mij gebruikte normeringsschema zend ik u op aanvraag toe.

Een tijdsplanning van 1½ uur meten gevolgd door 1½ uur uitwerken is goed haalbaar gebleken.

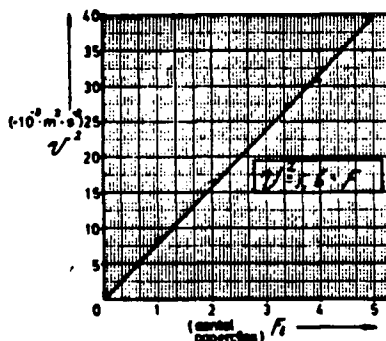
Tabel 2

aantal clips	F_t (mN)	Δt (0,50 m) (s)	v (m.s ⁻¹)	v^2 (m ² .s ⁻²)
1	5,0	5,45	0,092	0,0085
2	10	3,91	0,128	0,0164
3	15	3,24	0,154	0,0237
4	20	2,85	0,175	0,0306
5	25	2,53	0,198	0,0392

Bepaling van de snelheid van de modelboot als functie van de trekkraft bij een constante hoeveelheid lading.



Grafiek 2



Grafiek 3