VERKEER

BOVENBOUW

HAVO

vak-groep didaktiek PLON

HBB-LDB 4.2.1. 1980

© 1980 Rijksuniversiteit Utrecht, experimentele uitgave, 1e versie.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Rijksuniversiteit te Utrecht.
PLON, Lab. Vaste Stof, Princetonplein 1, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht, tel. 030-532717

INHOUD: blz.

1. Waarom verkeer? 1

1.1. De keus van dit thema 3
1.2. De opbouw van dit thema 6
1.3. De geschiedenis van het verkeer 7
1.4. De mens beheerst zijn leefwereld door de techniek 15
1.5. ..... of beheerst de techniek de mens? 17
1.6. Oplossingen 19

2. Kracht en beweging 21

2.1. Onderzoek in dit thema 23
2.2. Krachten bij het rijden 24
2.3. Krachten bij remmen en optrekken 27
2.4. Verschillende krachten tegelijkertijd 29

3. Veilig rijden 31

3.1. Botsingen voorkomen 33
3.2. Onderzoek opzetten 34
3.3. Fietsproeven 35
3.4. Remmende wagentjes 36
3.5. Reactietijd 37
3.6. Het oranje verkeerslicht 38

4. Botsen 39

4.1. Onveilig verkeer 41
4.2. Botsingen in beeld 43
4.3. Botsingen in het klein 46
4.4. Krachten bij botsingen 47
4.5. Botsingen in soorten 48

5. Zuinig rijden 49

5.1. Waarom zuinig? 51
5.2. Proeven hoe het zit 53
5.3. Buitenexperimenten 54
5.4. Binnenexperimenten 65

6. Prestaties 77

6.1. Snelheid 79
6.2. Remvertraging 81
6.3. Acceleratie 83
6.4. Transmissie 85
6.5. Verbruik en vermogen 88

7. Bewegingswetten 91

7.1. Traagheidswet 93
7.2. De versnellingswet 94
7.3. De wet van actie en reactie 96
7.4. De wet voor impuls en stoot 97
7.5. De wet voor kinetische energie en arbeid 99
7.6. Overzicht van grootheden en eenheden 101

8. Opgaven 103

9. Keuze-onderwerpen 105

1. WAAROM VERKEER?

1.1. De keus van dit thema

1.2. De opbouw van dit thema

1.3. De geschiedenis van het verkeer

1.4. De mens beheerst zijn leefwereld door de techniek . . .

1.5. . . . . of beheerst de techniek de mens?

1.6. Oplossingen

In dit hoofdstuk komen de volgende vragen aan de orde:
- waarom "verkeer" als thema in de natuurkundeles?
- waarom is verkeer zo belangrijk geworden in onze maatschappij?
- waarom wordt er in deze maatschappij zoveel tijd, geld, ruimte en energie in verkeer gestoken?

Library of Congress
Cataloging-in-Publication Data

1.1. De keus van dit thema

Dit thema gaat over verkeer. Meestal sta je er niet bij stil, dat verkeer veel invloed heeft op onze manier van leven. Maar als je je verdiept in de geschiedenis van het verkeer (zoals we zullen doen in 1.3.) zie je dat door de ontwikkeling van auto, fiets, vliegtuig en trein er veel veranderd is in onze manier van leven.
Nog steeds is het verkeer in ontwikkeling. Er worden meer wegen, autowegen en fietspaden aangelegd. De konstruktie van auto's en treinen verbetert. De energieschaarste vraagt om oplossingen.
Bij de ontwikkeling van verkeer spelen drie soorten vragen een rol: technische, maatschappelijke en natuurkundige. We zullen toelichten wat we bedoelen.

a) Maatschappelijke vragen zijn vragen als:
   - kan de overheid mensen verplichten om veiligheidsriemen en helmen te dragen?
   - moeten er extra wegen aangelegd worden (door natuurgebieden?) als er ergens iedere dag files staan?
   - moet er een maximumsnelheid voor auto's worden ingesteld?

   Beslissingen over maatschappelijke vragen worden niet alleen genomen op basis van argumenten. Een beslissing hierover wordt genomen op basis van meningen en belangen. Degenen die de meeste aanhangers hebben of de meeste macht winnen. Uiteindelijk is het antwoord op dit soort vragen een politieke keuze.

fig. 1.1. Aktiegroepen protesteren tegen de aanleg van rijksweg 27 door de bossen van Amelisweerd : een maatschappelijk vraagstuk

b) Technische vragen zijn vragen als:

- hoe ontwerp je een auto die zo zuinig mogelijk omspringt met benzine?
- hoe kun je ervoor zorgen dat een bromfietser die met 40 km/uur tegen een boom rijdt zo weinig mogelijk letsel zal oplopen?
- hoe moet je wegen voorzien van wegwijzers, stoplichten en dergelijke zo dat er weinig files optreden.

De oplossing voor technische vraagstukken wordt gezocht door technisch onderzoek te doen in onderzoeksinstituten (universiteit, TH, TNO). De "stand van de techniek" bepaalt voor een groot gedeelte hoe het verkeer is georganiseerd en welke politieke vragen aan de orde zijn.

fig. 1.2: Het afstellen van een auto: een technisch vraagstuk

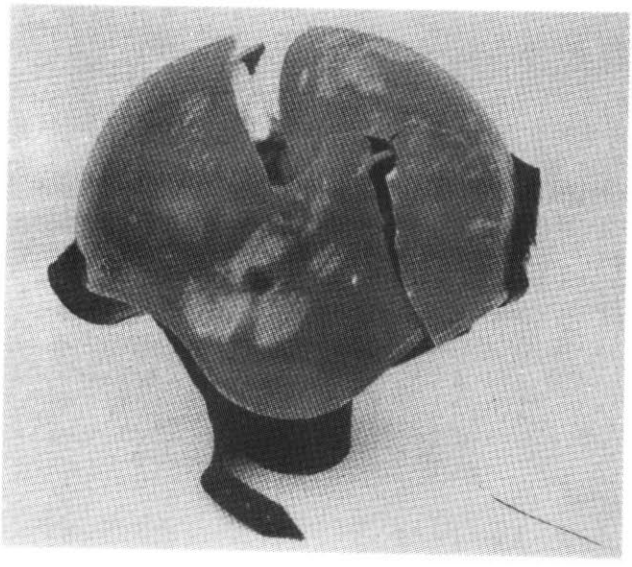


fig. 1.3: Testen van veiligheids-helmen

c) Natuurkundige vragen:
   - welke krachten treden er op de bestuurder op tijdens een botsing?
   - hoe hangt de remweg van een auto af van zijn snelheid?
   - hoe hangt de wrijvingskracht af van de snelheid?

   Je hebt inzicht nodig in deze natuurkundige vragen, voordat je technische problemen kunt aanpakken. Deze natuurkunde, die zich bezighoudt met beweging en krachten heet de mechanica.

We hebben dit thema gekozen omdat alle drie soorten vragen aan de orde komen. Je kunt dat zien aan de opbouw van dit thema in de volgende paragraaf. Bovendien is mechanica ook buiten het thema verkeer een belangrijk stukje natuurkunde omdat het de basis is voor veel andere natuurkunde.

o *Bekijk de volgende paragraaf om te zien wat je het komende twintigtal lessen verwachten kunt. Zoals je ziet komt in dit tijdsbestek natuurlijk niet alles over verkeer aan de orde.*

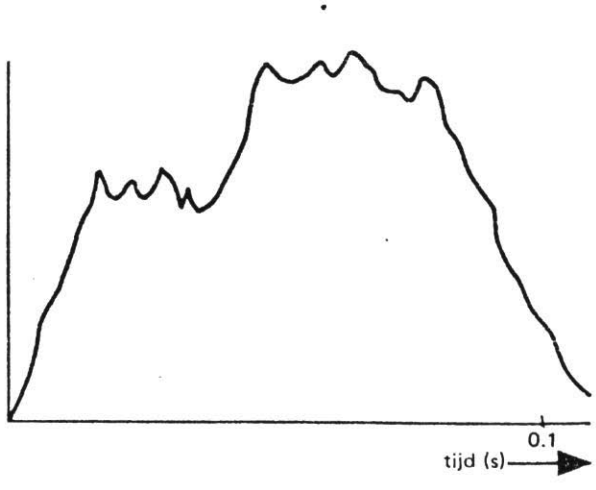
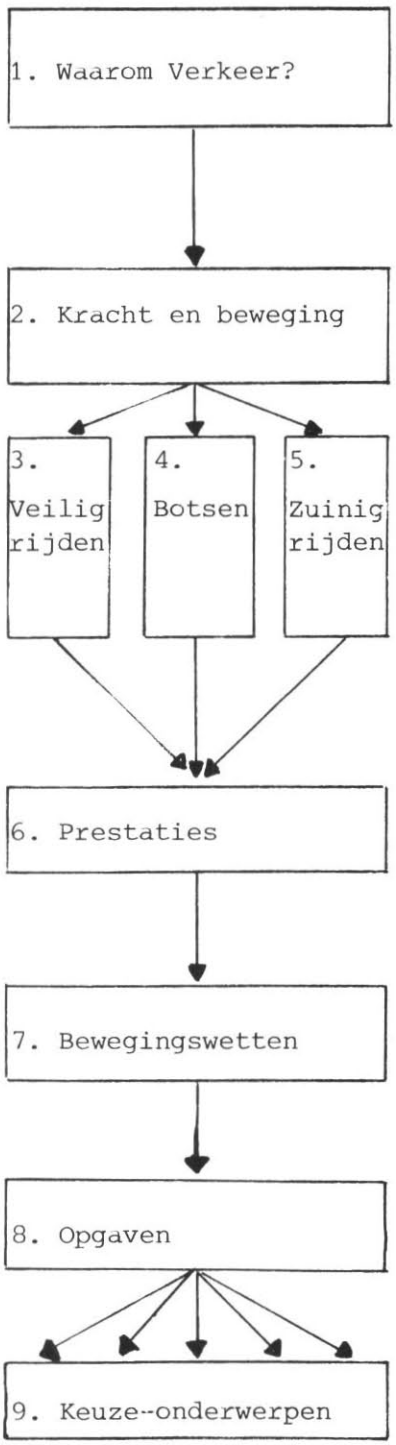


fig. 1.4: Verloop van de kracht tijdens een botsing

1.2. De opbouw van dit thema



Hoofdstuk	Inhoud
1. Waarom Verkeer?	Een historische schets van de ontwikkeling van het verkeer. Het geeft een verband tussen maatschappelijke, technische en natuurkundige aspekten van het verkeer.
2. Kracht en beweging	Overzicht van de krachten, die een rol spelen bij het rijden.
3. Veilig rijden 4. Botsen 5. Zuinig rijden	In deze hoofdstukken staan onderzoeken over de achtergrond van veilig rijden, botsen en zuinig rijden.
6. Prestaties	In dit theoriehoofdstuk worden de prestaties van een auto aan de hand van een testrapport geanalyseerd.
7. Bewegingswetten	Een hoofdstuk over de natuurkundige achtergrond.
8. Opgaven	Oefenopgaven om vertrouwd te raken met de stof.
9. Keuze-onderwerpen	Uit dit hoofdstuk kun je een onderwerp kiezen waarop je dieper wilt ingaan.

1.3. De geschiedenis van het verkeer

De geschiedenis van het verkeer hangt samen met een hele reeks technische uitvindingen.
De eerste uitvinding, die het mogelijk maakte om zware dingen (steden, bomen) gemakkelijker te verplaatsen was waarschijnlijk het wiel. Het wiel werd al duizenden jaren voor Christus uitgevonden en we weten dan ook niet wie dat gedaan heeft. Je kunt je voorstellen dat iemand op het idee kwam om zware dingen te verplaatsen door ze op boomstammetjes te laten rollen. Later zag iemand in, dat je niet de hele boomstam nodig had, maar dat een schijf met een as er doorheen voldoende was en veel lichter. Pas veel later toen men de houtbewerkingskunst onder de knie had maakte men geen massieve schijven meer, maar wielen met spaken.

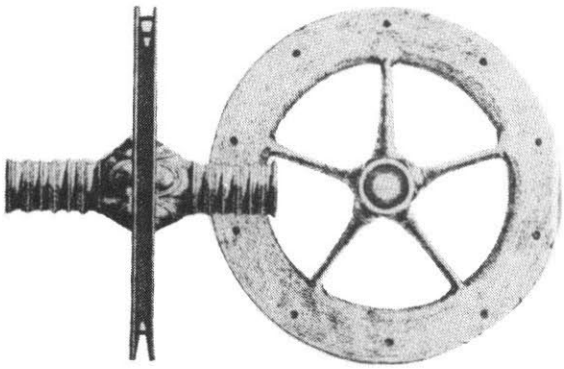


fig. 1.5:

fig. 1.6.

In de middeleeuwen gingen de mensen te voet of te paard ergens heen. Goederen werden vervoerd op primitieve karren. Tot aan de 19e eeuw was de behoefte aan vervoer ook niet erg groot. Familieleden woonden in de directe omgeving van het eigen dorp. De eerste levensbehoeften (aardappelen, graan, melkprodukten, hout, vlees en wol) produceerde de bevolking van een dorpje zelf. Alleen bij bijzondere gelegenheden werd er gereisd. Vanaf 1750 konden de rijke burgers gebruik maken van diligences en postkoetsen die door paarden werden getrokken over de weinige en onverharde, hobbelige weggetjes. In ons waterrijke Nederland was het reizen per boot vaak nog het comfortabelst.

Pas met de industriële revolutie werd de behoefte aan vervoer groter. Er werden overal fabrieken gebouwd die grondstoffen nodig hadden (steenkool, ijzererts, wol, vlas, leer).
De eindprodukten moesten over het hele land worden verspreid.
In Engeland begint die ontwikkeling rond 1820, in Nederland zo'n 40 jaar later. De ontwikkeling van het verkeer is vanaf die tijd zeer snel gegaan.
In 1800 bestonden er al eenvoudige stoommachines en in 1806 slaagde de Engelsman Richard Trevithick erin om met een verbeterde stoommachine een kleine treinlocomotief te bouwen. Door allerlei verbeteringen werd het vermogen en de snelheid van de treinen opgevoerd en in 1825 werd het eerste spoorlijntje voor goederen-vervoer aangelegd.

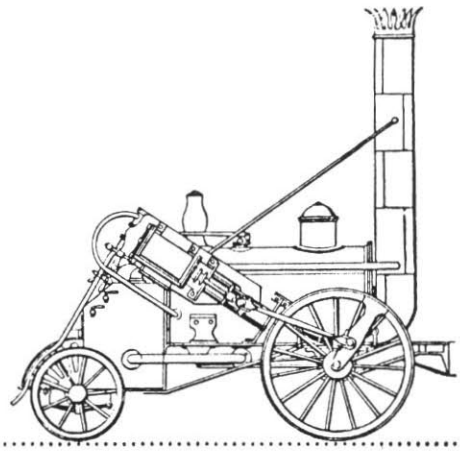


fig. 1.7: de stoomlocomotief "Rocket", ontworpen door George Stephenson (1829)

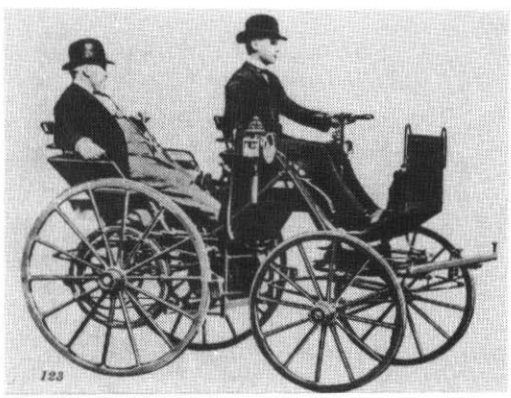


fig. 1.8: de eerste "Daimler-auto" (1886)

Voor auto's waren de stoommachines, die in de trein gebruikt werden echter veel te zwaar. Pas toen de Duitse ingenieur Daimler een krachtige en lichte benzinemotor ontwikkelde (1880) kon men auto's gaan ontwerpen.
Intussen waren ook al de voorlopers van onze fietsen uitgevonden. Deze gebruikte men in eerste instantie voor sport en recreatie, maar de fiets werd steeds meer een volksvervoermiddel. Pas in de jaren '60 wordt de fiets daarbij verdrongen door de auto.

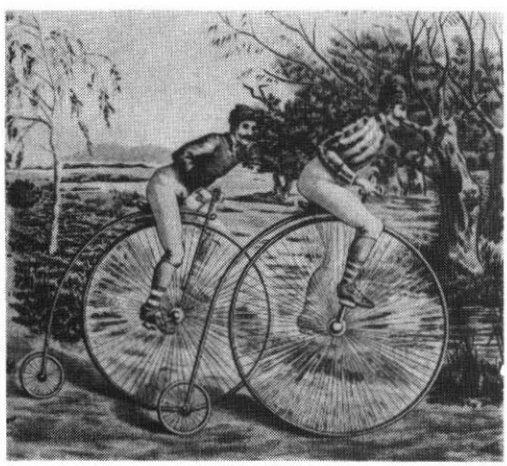


fig. 1.9: de vélocipède

Ook bij de ontwikkeling van vliegtuigen is een samenspel geweest van technische, natuurkundige en maatschappelijke factoren. Veel mensen hadden al geprobeerd te "vliegen als de vogels". Maar het lukte pas toen technisch begaafde pioniers als de gebroeders Wright zich verdiepten in de natuurkunde van het vliegen. Door zorgvuldig en geplande experimenten konden zij een vliegtuig ontwerpen, waarmee ze in 1903 een vlucht van enkele honderden meters maakten. De eerste wereldoorlog heeft een grote (maatschappelijke) invloed gehad op de verdere ontwikkeling van vliegtuigen.
Er werd toen door de oorlogvoerenden veel voor opzij gezet om het nieuwe vliegtuig-wapen te perfectioneren.

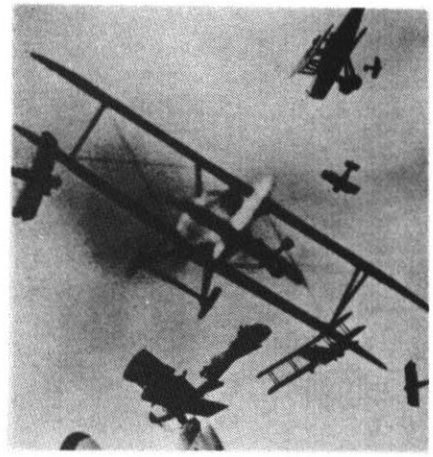


fig. 1.10: tijdens de 1e wereldoorlog kreeg de vliegtuig industrie een grote stimulans

o *Vraag aan oudere mensen, die je kent (opa, oma), of zij nog iets van vroeger tijden kunnen vertellen.*

Om je een verder beeld te geven van de ontwikkelingen, die het verkeer hebben beïnvloed, geven we hieronder een lijstje met technische vindingen en verkeersontwikkelingen. Het is niet de bedoeling dat je alle jaartallen van buiten leert. Wel is het belangrijk dat je verband ziet in de ontwikkelingen. Daarom volgen hieronder ook nog enkele opdrachten.

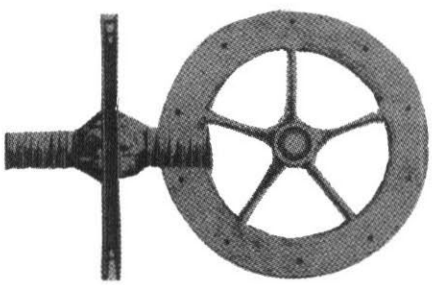


fig. 1.11.

v. Chr.

5000 In het laagveen van Scandinavië zijn resten van sleden uit deze periode ontdekt.

4000 De oudste afbeeldingen van het wiel geeft een Sumerisch bas-reliëf uit deze tijd.

3500 Het eerste lastdier, de ezel, wordt in Egypte en Sumerië gebruikt.

2000 In Mesopotamië wordt het massieve wiel door het spaakwiel vervangen. Omstreeks dezelfde tijd nemen de volken uit het Midden-Oosten een idee over dat afkomstig is uit Centraal-Azië: zij beginnen het paard op te tuigen en te berijden.

1000 Sporen van Myceense wegen uit deze periode zijn in Griekenland gevonden.

1000-500 De wagen wordt bekend in Europa

710 De Assyrische koning Sargon II organiseert een koeriersdienst met paarden.

700 Carthago legt een wegennet aan.

550 De Perzische koning Cyrus bouwt wisselplaatsen voor zijn koeriersdiensten.

312 Appius Claudius legt de Via Appia aan die 4m breed en 200 km lang is.

220 Gajus Flaminius legt de Via Flaminia aan.

200 Chinese ruiters uit de Han-dynastie maken gebruik van een hard zadel

120 Het Romeinse wegennet strekt zich uit tot de verst afgelegen provincies.

45 De al te talrijke zware voertuigen wordt de toegang tot de stad Rome door de Lex Julia Muncipalis ontzegd.

27 Particuliere ondernemingen voor de verhuur van wagens worden tijdens de regering van Augustus (27 v. Chr.- 14 n. Chr.) opgericht.

n. Chr.

200 Op het eind van de Han-dynastie rusten de Chinezen hun paarden met borstriemen uit.

476 Ineenstorting van het West-romeinse rijk ten gevolge van aanvallen van barbaarse ruiters.

790 Karel de Grote eist in zijn "Capitularis" van zijn leenheren met tolwegen dat zij niet alleen de tol gebruiken voor het onderhoud van de wegen maar ook om de wegen van gespuis te vrijwaren.

807 Karel de Grote opent drie officiële postwegen naar Duitsland, Italië en Spanje.

1294 Philips de Schone vaardigt een verbod uit voor vrouwen uit de burgerij om in wagens te rijden.

1400 De Inca's van Peru leggen een wegennet door de Andes aan. Een van de bergroutes is 3.000 km lang.

1455 In deze tijd legt een officiële koerier amper 60 km per dag af.

1457 Een Hongaar vindt de "chariot branlant" uit, de laat-middeleeuwse "schokkende wagen".

1553 De boekverkoper Charles Estienne publiceert een wegengids voor Frankrijk

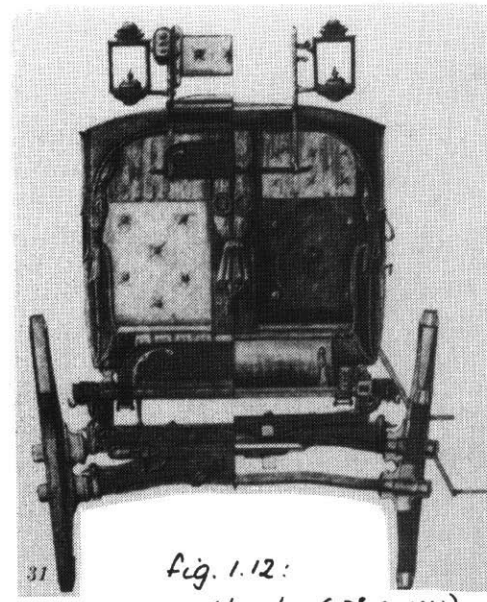


fig. 1.12: postkoets (18e eeuw)

1600 Simon Stevin bouwt voor Prins Maurits de beroemde zeilwagen.

1616 In Duitsland worden wegengidsen voor geheel Europa gepubliceerd, gelijk aan die van Estienne.

1625 In Londen worden de eerste rijtuigen voor het openbaar vervoer in bedrijf genomen.

1629 De Italiaan Fiovanni Branca maakt de plannen bekend van een voertuig dat door een windmolen wordt aangedreven. Ook beschrijft hij een soort stoomturbine.

1649 De Bristol Postal Service zet op de lijn Londen-Dover een nieuw en sneller voertuig in: de postwagen.

1655 De Duitse horlogemaker Stephan Farffler bouwt een mechanisch voertuig dat door zwengels wordt aangedreven.

1667 Opkomst van de cabriolet.

1680 De Hollandse natuurkundige Christiaan Huygens brengt door buskruit te laten ontploffen een zuiger in een cilinder in beweging.

1690 Denis Papin vervangt het buskruit door stoom.

1698 Thomas Savery uit Engeland bouwt de eerste bruikbare stoommachine.

1725 De 700 km tussen Parijs en Nimes kunnen in zes dagen met de postwagen worden afgelegd.

1769 James Watt vraagt octrooi aan op een machine die de stoom buiten de cilinder condenseert; een verbetering van de machine van Newcomen.

1769 Cugnots "fardier" is het eerste stoomvoertuig; het rijdt echter niet.

1783 De gebroeders Montgolfier maken de eerste luchtballon

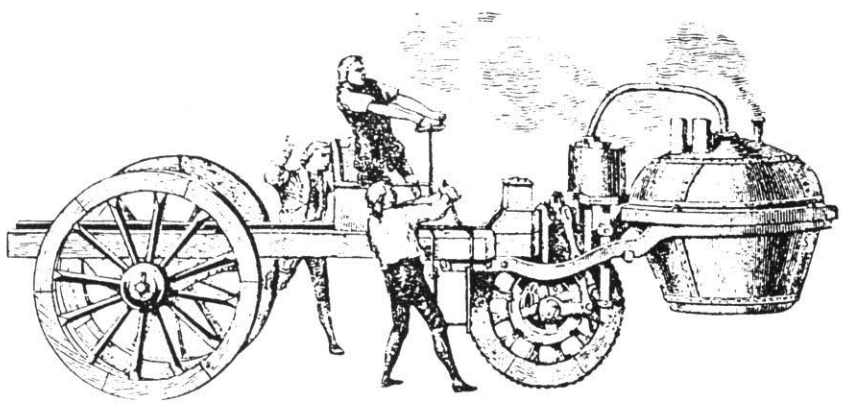


fig. 1.13: de "fardier" (1769)

1784 William Murdock rust een stoomvoertuig met een Watt-machine uit.

1790 De graaf van Sivrac vindt de "célérifère" uit, de voorloper van de fiets.

1801 Richard Trevithick en André Vivian bouwen een stoomkoets. In 1803 testen zij een stoom-driewieler in Londen.

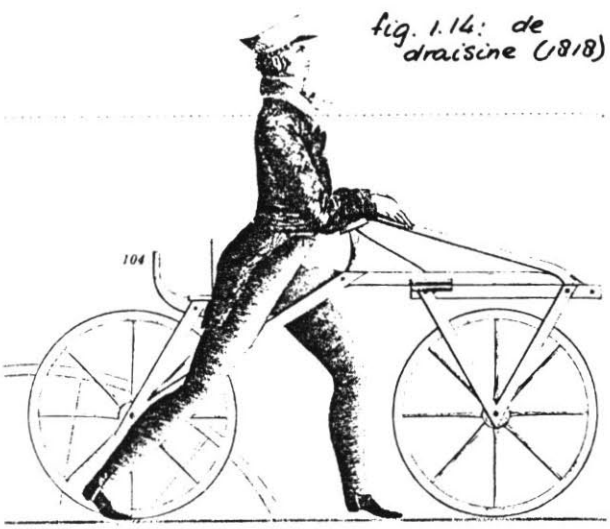
1807 Robert Fulton bouwt het eerste stoomschip.

1808 De "catch me who can" een Trevithick-locomotief, wordt tentoongesteld op een cirkelvormige spoorlijn bij het Euston Square in Londen.

1815 John Loudon MacAdam vindt tijdens zijn herstelwerkzaamheden aan de wegen in het graafschap Bristol een nieuwe bestratingsmethode (macadamwegen) uit die succesvol blijkt te zijn en weldra in heel Europa wordt overgenomen.

1818 Baron Drais van Sauerbronn uit Baden-Baden voorziet de vélocipède van een stuur en een vering onder het zadel en vindt aldus de draisine uit.

fig. 1.14: de draisine (1818)



1823 De eerste Nederlandse stoomboot 'de Nederlander' komt in de vaart.

1824 Samuel Brown vindt een explosiemotor uit waarvoor niemand belangstelling heeft.

1825 George Stephenson begint met de aanleg van een spoorweg tussen de kolenmijnen van Darlington en de haven van Stockton.

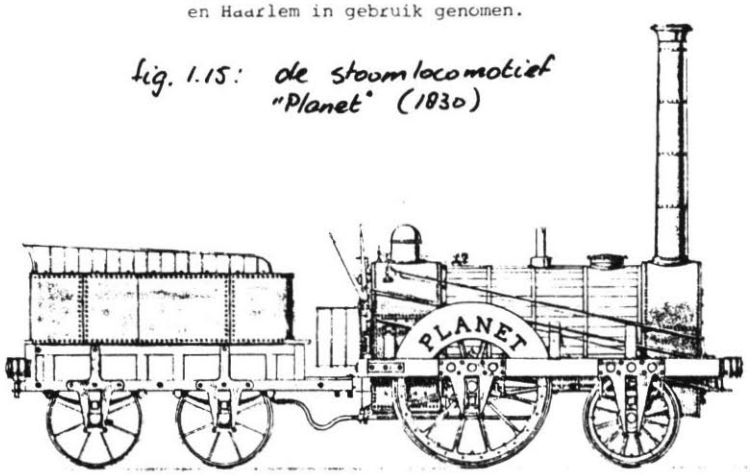
1828 Pecqueur ontwikkelt de moderne autobesturing en het differentieel van stoomwagens.

1830 Peter Coopers kleine Amerikaanse "Tom Thumb" wint op de lijn Baltimore-Ohio een wedstrijd tegen een paard.

1837 Aanleg van het eerste gedeelte van de spoorweg in het Londense gebied.

1837 In Nederland wordt de eerste spoorlijn tussen Amsterdam en Haarlem in gebruik genomen.

fig. 1.15: de stoomlocomotief "Planet" (1830)



1840 Tussen Londen en Southampton, Portsmouth, Brighton en Dover zijn spoorverbindingen aangelegd. Engeland heeft nu 76 spoorwegmaatschappijen. In dit jaar bezitten de V.S. een spoorwegnet van 4500 km, Engeland van 3500 km, Duitsland van 580 km, Frankrijk van 500 km, Rusland van 0 km en Nederland van 20 km.

1845 Robert W. Thomson vindt de luchtband uit, maar men heeft er geen belangstelling voor.

1846 Een locomotief van de Great Western-line trekt 100 ton met een snelheid van 100 km/uur.

1855 In Parijs wordt een paardentramlijn geopend tussen de Place de la Concorde en Passy.

1859 Exploitatie van de eerste oliebron in Titusville in Pensylvania.

1860 De Fransman Joseph Etienne Lenoir vindt een kleine maar bruikbare gasmotor uit.

1861 De Parijzenaar Pierre Michaux bouwt de eerste vélocipède door de draisine van pedalen te voorzien.

1861 In dit jaar en in 1865 worden in Engeland de Locomitive Acts aangenomen die de snelheid van stoomvoertuigen tot 4 mijl per uur beperken en eisen dat zij door een man met een rode vlag worden voorgegaan. Deze wetten hebben de ontwikkeling van het automobiel in Engeland vertraagd.

1863 Fransen bouwen de eerste onderzeeër met een samengeperste-lucht-machine.

1868 De kampioen-wielrijder James Moore haalt op zijn "Spider" een snelheid van bijna 13 km/uur tijdens de wesdstrijd Parijs-Rouen

1871 Zénobe Gramme vindt de dynamo uit.

1872 In Engeland wordt het eerste hoge rijwiel, de "Ariël" gebouwd. In 1878 bouwde de Fransman Victor Renard een rijwiel met een voorwiel van 2,50 meter hoog (de gebruikelijke hoogte was 1,80 meter).

1877 Otto vindt de viertakt-motor uit.

1879 Von Siemens laat op de Berlijnse expositie een kleine electrische trein lopen. Dit wordt doorgaans beschouwd als de eerste electrische trein.

1879 Harry John Lawson bouwt het eerste damesrijwiel.

1880 Edison doet de eerste proeven met electrische locomotieven in het Menlo Park in New Yersey.

1881 De eerste electrische tram wordt in de omgeving van Berlijn in bedrijf gesteld.

1883 Ingenieur Delamare-Deboutteville brengt een auto met een explosiemotor die op benzine loopt

1885 Gottlieb Daimler bouwt een motorfiets.

1886 De eerste Daimler-auto, de Victoria wordt gebouwd. Zij loopt op gas.

1886 Karl Benz bouwt zijn eerste automobiel, een driewieler met benzinemotor.

1888 John B. Dunlop vindt zijn luchtband uit.

1890 De helft van de Nederlandse koopvaardijvloot is uitgerust met stoommachines.

1891 De Panhard-Levassor-fabriek levert zeer "moderne" auto's af, compleet met ketting-aandrijving op het achterwiel, koppeling, versnelling, magneto-electrische ontsteking en voet- en handremmen.

1894 De graaf van Dion wint de race Parijs-Rouen met zijn stoomauto. Van de vijftien deelnemers hebben er slechts twee een stoomauto. Ofschoon Dion de snelste is, 22 km/uur blijkt de superioriteit van de benzinemotor.

1895 Een van de eerste electrische locomotieven wordt in Baltimore getest.

1896 Het Lagerhuis schaft de Locomotive Acts af, hetgeen een stimulans is voor de Britse auto-industrie.

1897 De Duitse ingenieur Rudolf Diesel bouwt zijn beroemde inwendige verbrandingsmotor.

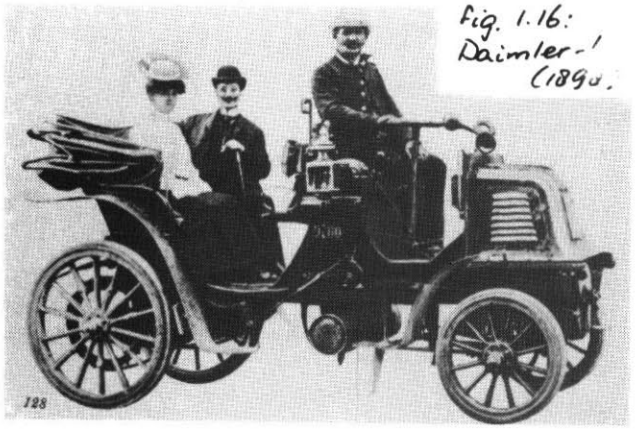


fig. 1.16: Daimler-1 (1890.

1899 De electrische auto "Jamais contente", slaat met 105 km/uur alle snelheidsrecords.

1900 Engeland heeft een spoorwegnet van 37.000 km, Duistland van 59.000 km, de V.S. 390.000 km en Rusland van 6.600 km.

1903 Orville en Wilbur Wright vliegen voor het eerst met hun vliegmachine. De vlucht duurt 12 seconden en de machine legt 40 m af.

1906 Mariott brengt met een stoomautomobiel het snelheidsrecord op 200 km/uur.

1908 Henry Ford vangt aan met de massaproductie van zijn beroemde goedkope T-Ford. In 20 jaar tijd produceert hij 20 miljoen auto's.

1914-1918 1e Wereldoorlog. Voor het eerst werden in deze oorlog vliegtuigen en zeppelins gebruikt.

1922 De eerste scooter verschijnt.

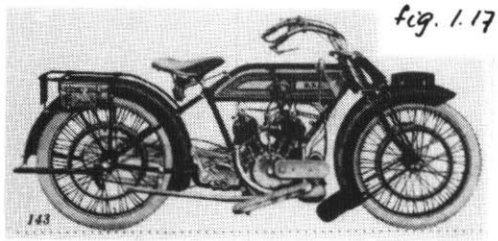


fig. 1.17: motorfiets (1920)

1923 Bij de Buick-fabrieken loopt de miljoenste auto van de band.

1925 De Ford-fabrieken produceren 9109 T-Fords per dag.

1927 Charles Lindbergh vliegt over de Atlantische Oceaan.

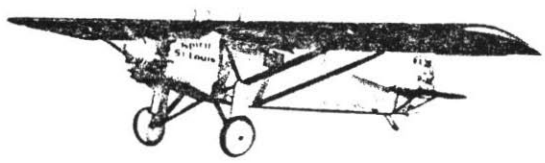


fig. 1.17: de "Spirit of St. Louis", waarmee Lindbergh voor het eerst over de Atlantische Oceaan vliegt

fig. 1.18: verkeersopstopping in St Louis in 1925!

1928 De Belg Vanderstuyft brengt het uurrecord wielrijden achter motoren op 122 km.

1935 Majoor Campbell haalt in zijn "Blue Bird" in Salt Lake City een snelheid van 485 km/uur.

1937 Het grote luchtschip "Hindenburg" explodeert bij New York. Hierdoor krijgt het luchtschip dat toch al steeds minder in trek kwam, opnieuw een zware slag in zijn concurrentiestrijd met het vliegtuig.

1939 Een Pacific-locomotief van de Londen-Midland Railway haalt 202 km/uur.

1939 De geemigreerde Rus Sikorsky bouwt in Amerika de eerste helicopter.

1944 Het in de oorlog ontwikkelde geheime Duitse raketwapen de V2, wordt gebruikt om Londen te bombarderen.

1947 Tubeless banden worden voor het eerst in de V.S. getest.

1947 De coureur John Lobb haalt een snelheid van 634 km/uur.

1955 General Motors verkoopt 5 miljoen auto's.

1957 Een luchtmonorail wordt in de buurt van Keulen in bedrijf genomen.

1962 Op 5 april ontmoeten Zwitserse en Italiaanse arbeiders elkaar: de tunnel door de St. Benard is gegraven. Deze tunnel, die in het voorjaar van 1964 gereed is gekomen, verbindt Italië met Zwitserland door een autoweg. Op 14 augustus werd de Mont Blanc doorboord; hieruit ontstond de 11.600 m. lange tunnel die Frankrijk met Italië verbindt door middel van een vierbaansweg.

1962 Zesenzestig jaar na de fabricage van de eerste Amerikaanse automobiel levert de Amerikaanse auto-industrie, in december, de 200 miljoenste auto af.

1973 Olie-ekspor terende landen dreigen de olie-aanvoer te stoppen. Nederland voert autoloze zondagen in.

1980 PLON-leerlingen onderzoeken het verkeer

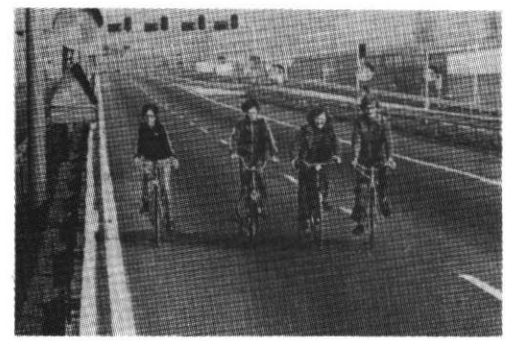


fig. 1.19: autoloze zondagen in 1973

OPDRACHTEN:

A. *Het is niet toevallig dat juist tijden de Romeinse bezetting lange wegen werden aangelegd, die het mogelijk maakten om snel (nou ja, snel!!) van de ene plaats naar de andere te kunnen reizen. Ze waren in eerste instantie ook helemaal niet bedoeld voor reizigers en handelaars.*

- o *Welke (maatschappelijke) reden hadden de Romeinen waarschijnlijk om deze wegen aan te leggen?*

B. *In 1769 bouwde Cugnot al een stoomvoertuig. Toch kwam pas in 1825 de eerste trein commercieel in gebruik. En in 1840 zijn er in Engeland al 76 spoorwegmaatschappijen met totaal 3500 km. spoorwegnet. In het leesstuk hierboven wordt een oorzaak gegeven, waarom de ontwikkeling van de trein vanaf 1825 in zo'n stroomversnelling raakt, terwijl de eigenlijke uitvinding al in 1769 gedaan werd.*

- o *Welke oorzaak is dat? Zou je dat een maatschappelijke, technische of natuurkundige oorzaak noemen? Waarom?*

C. *Het treinverkeer nam steeds meer toe. Maar langzamerhand groeide ook het protest tegen deze voertuigen. De boeren, die paardenhaver verbouwden, klaagden dat vonken uit de schoorsteen branden konden veroorzaken. Bovendien waren er geruchten (zelfs "bewijzen") dat de koeien zo schrokken van langszoevende voertuigen, dat ze minder melk gaven. In Engeland kwam een voorstel in stemming om de maximumsnelheid van voertuigen te beperken tot 6,5 km/uur. Bovendien werd geëist dat ieder voertuig voorafgegaan werd door een man met een rode vlag.*

- o *Stel je voor dat je zelf in die tijd leefde. Zou je deze voorstellen steunen of verwerpen? Waarom?*
- o *Het voorstel werd gesteund door paardenkoetsiers, paardenhandelaars, tolmaatschappijen en (haver)boeren en waarschijnlijk door de druk van hun aangenomen. Welke belangen hadden deze groeperingen bij deze wetten?*

Ook tegenwoordig spelen belangengroeperingen een rol bij besluiten over verkeersproblemen.

- o *Kun je een voorbeeld noemen dat op het bovenstaande lijkt?*

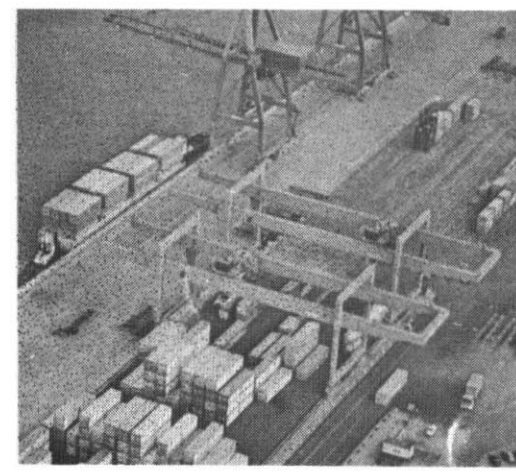
D.
- o *Ga na wanneer de eerste volwaardige auto's werden gebouwd? Vergelijk dat tijdstip met dat van de opkomst van de trein. Verbaast je dat?*
- o *In het bovenstaande leesstuk wordt een oorzaak genoemd voor het verschil in ontwikkeling van trein en auto. Welke oorzaak? Is die oorzaak een maatschappelijke, technische of natuurkundige factor? Licht je antwoord toe.*

1.4. De mens beheerst zijn leefwereld door de techniek .....

Door de ontwikkeling van het verkeer heeft de mens zijn leefpatroon ingrijpend kunnen veranderen. Zoals de vorige eeuw de eeuw van de industriële revolutie wordt genoemd, wordt de 20e eeuw al aarzelend de eeuw van communicatie en verkeer genoemd. Het verkeer heeft zich ontwikkeld op twee gebieden: het goederenverkeer en het privéverkeer. Beide hebben erg veel, maar verschillende invloeden gehad.

Goederenverkeer:
Zeer veel producten kunnen alleen gemaakt worden doordat grondstoffen en halfproducten uit zeer verschillende werelddelen bij elkaar worden gebracht. Denk bijvoorbeeld eens aan een auto. De aluminium motorcylinders worden gegoten in Duitsland met ruwe blokken aluminium uit de smelterijen uit Zeeland.
Het bauxiet (aluminiumhoudend erts) wordt gewonnen in Suriname. De motoren die zo gebouwd worden, worden in Nederland ingebouwd in auto's.
Eenzelfde verhaal kun je houden voor de banden, carosserie, ruitenwissers enz. Deze auto's worden dan weer in heel Europa verkocht. Tussen al deze bewerkingen is vervoer nodig.

fig 1.20: kontainervervoer



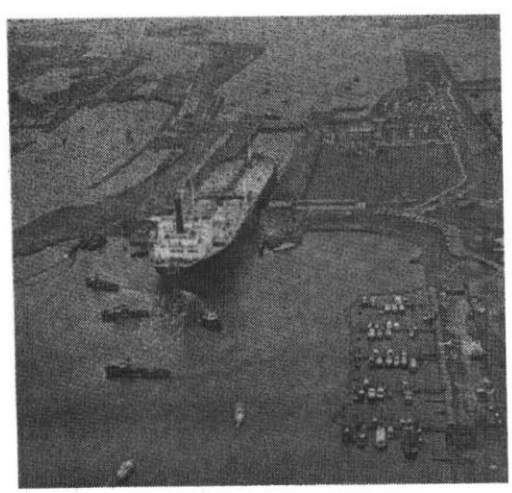
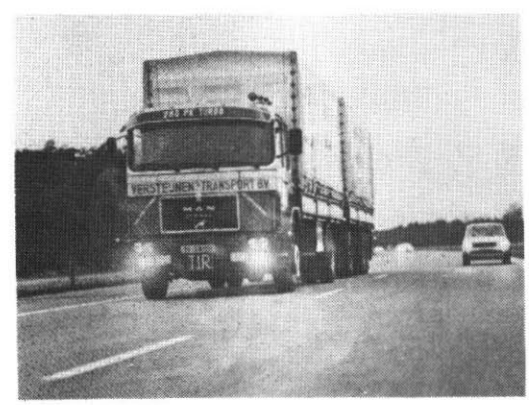


fig. 1.21: olievervoer

Een ander voorbeeld:
In het kader van hulpprogramma's worden miljoenen tonnen graan over de wereld vervoerd. We eten in Nederland buitenlands fruit. Nederlandse bloemen en tuinbouwproducten vinden hun weg over de hele wereld.
De welvaart zou ondenkbaar zijn zonder zeer uitgebreide vervoersmogelijkheden (infrastructuur). Het is dan ook niet verbazingwekkend dat het verkeer in de rijke westerse landen veel beter ontwikkeld is dan in ontwikkelingslanden.

fig. 1.22
Vervoer van stukgoederen



Privé-vervoer:
Iedereen is tegenwoordig zo vertrouwd geraakt met vervoersmiddelen als auto, fiets, trein en vliegtuig, dat weinigen zich realiseren dat ze pas zo'n 100 à 150 jaar bestaan. Het leven is door die vervoersmogelijkheden natuurlijk drastisch gewijzigd.
Als je in de 18e eeuw vanuit Ede een familielid in Maastricht wilde opzoeken was je zeker een week onderweg. Als je met de postkoets ging was het niet veel sneller en erg duur. Gewone mensen liepen en kwamen hun hele leven zelden buiten een straal van 15 km van hun woonplaats.
De reismogelijkheden zijn tegenwoordig zeer uitgebreid. Iedereen (met wat geld) kan praktisch iedere plaats op aarde binnen een paar dagen bereiken.

fig. 1.23: Iedere plaats op aarde is binnen een paar dagen te bereiken

Nu gebeurt het niet dagelijks, dat je familieleden in een ander werelddeel gaat opzoeken. Maar ook in het dagelijkse leven is veel veranderd. Boodschappen doen kan gemakkelijk met fiets of auto. Het is niet ongewoon als je een congres of beurs organiseert kan iedereen in Nederland daar naar toe. Leerlingen kunnen met bus of trein naar school.
Veel mensen maken van de mogelijkheid gebruik om in het buitenland op vakantie te gaan.

o *Kijk nog eens naar de titel van dit hoofdstuk. Begrijp je die?*

fig. 1.24: Ondanks het feit, dat in moderne grootschalige polders (rechts de Flevopolder) mensen ver van elkaar wonen, zijn ze niet geïsoleerd, omdat ze gebruik kunnen maken van de auto. Vroeger woonden mensen dichter bij elkaar in vaak geïsoleerde gemeenschappen (Links oud terpdorp).

1.5. ..... Of beheerst de techniek de mens?

Zoals we in de vorige paragraaf zagen heeft de ontwikkeling van het verkeer veel bijgedragen aan de welvaart van het rijke westen, ook in Nederland. Steeds meer worden we echter geconfronteerd met de nadelen van de technische ontwikkelingen.

Verkeer doet grote aanslagen op het milieu. Er zijn steeds meer wegen nodig, die vaak ten koste gaan van natuur- en landbouwgebieden. Er zijn weinig plekjes in Nederland waar je zover van wegen en vliegwegen af zit, dat je geen verkeer op de achtergrond hoort. In de dichtbevolkte randstad Holland lopen wegen zo dicht langs woonbuurten, dat er allerlei voorzieningen getroffen moeten worden om het verkeerslawaai nog enigszins binnen de perken te houden. Daarnaast veroorzaken uitlaatgassen verontreiniging van de lucht, die schadelijk is voor de gezondheid van mensen, dieren en planten.

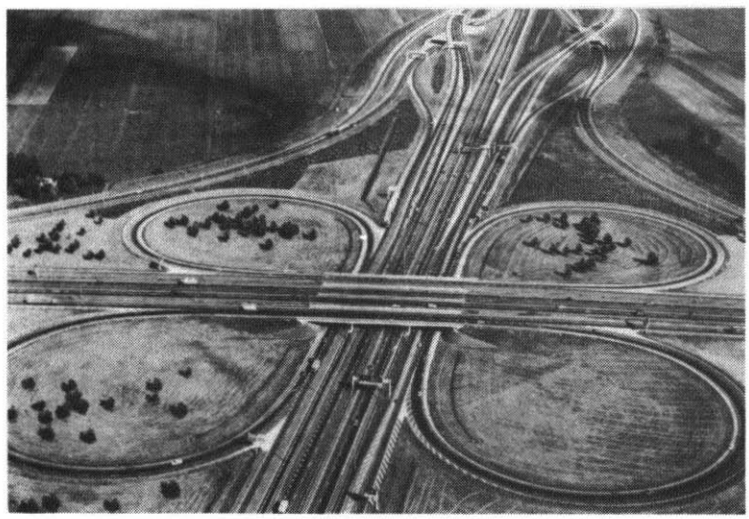


fig. 1.25: Het verkeersplein Oudenrijn neemt heel wat hektaren polderin beslag

Het verkeer eist jaarlijks honderden doden en duizenden gewonden. Naast al het leed dat dit veroorzaakt, kost dit ook zeer veel geld.

fig. 1.26: één van de duizenden gewonden per jaar in Nederland

We moeten zuinig zijn met energie. Gemotoriseerd verkeer is afhankelijk van hoogwaardige brandstoffen als olie. Doordat onze welvaart samenhangt met een goed functionerend verkeerssysteem zijn we nog eens extra afhankelijk van schaarser wordende olie.

fig. 1.27:

fig. 1.28: parkeerproblemen in de binnenstad. Geen plaats voor spelende kinderen.

Vooral in de binnensteden van grote steden bestaan veel ruimteproblemen. Omdat veel mensen auto's aanschaffen is er nauwelijks genoeg plaats om die te parkeren. De straat funktioneert veel minder dan vroeger als plaats waar kinderen kunnen spelen en waar buren elkaar ontmoeten.

Om binnensteden voor auto's goed bereikbaar te maken werden grote wegen door steden aangelegd.
Door het toenemende autoverkeer hebben veel steden hun gezellig karakter verloren. Veel rust en woningen werden vaak opgeofferd aan de wens om de binnenstad voor auto's goed bereikbaar te maken.

Het wordt ook steeds moeilijker voor mensen om in het weekend in de natuur door te brengen. Immers vele natuurgebieden zijn opgeofferd aan nieuwe wegen. Het gevolg is dat ze niet meer in de buurt terecht kunnen en dus de auto pakkken om er op uit te trekken. Veel mensen uit de randstad hebben een caravan buiten de randstad staan voor het weekend. Maar het gevolg van die weekend-uittocht is wel, dat de bestaande wegen de stroom auto's niet aankunnen, dus .....

o *Kijk nog eens naar de titels van de vorige en deze paragraaf. Wat vind jij ervan?*

1.6. Oplossingen

De problemen die in de vorige paragraaf werden genoemd, spelen een belangrijke rol in een dichtbevolkt land als Nederland. Op allerlei manieren worden er oplossingen gezocht.
Die oplossingen kunnen technisch (of verkeerstechnisch) zijn:
- energiegebruik kun je beperken door zuiniger auto's te bouwen;
- het dodental kun je verkleinen door veiliger auto's te bouwen.

In de volgende 4 hoofdstukken zullen we ons vooral bezighouden met dit soort oplossingen. Maar we zullen dan ook zien dat technische oplossingen niet voldoende zijn. De twee bovenstaande eisen aan auto's zijn bijvoorbeeld strijdig. Auto's met veiligheidsvoorzieningen zijn zwaarder en zwaardere auto's gebruiken meer energie.
Steeds zul je je dus moeten realiseren dat naast technisch oplossingen ook maatschappelijke (politieke) keuzes voor verkeersproblemen moeten worden gemaakt. Denk bijvoorbeeld aan:
- autovrij maken van binnensteden;
- invoering maksimum snelheid om dodental te verkleinen en energie te besparen;
- verplichting tot het dragen van helmen en autogordels;
- aktie voeren tegen de aanleg van steeds meer wegen.

Het aandragen van technische oplossingen betekent dus niet, dat je daarmee politieke keuzes kunt vermijden. In dit thema zul je dit ook merken.
Het is de bedoeling, dat je aan het eind van dit thema meer gefundeerd je mening kunt geven over een verkeersonderwerp.
We willen dat op de volgende manier proberen:

o *Schrijf voor jezelf een vraag op uit deze inleiding over een verkeersvraag, waar je zelf een duidelijke mening over hebt. Je kunt ook een verkeersvraag nemen, die net in de krant of bij jullie in de buurt erg belangrijk is.*
Het is van belang, dat het een vraag is, die met verkeer te maken heeft en dat je er een eigen mening over hebt.

o *Kies met de hele klas uit alle vragen enkele waar je de komende weken meer informatie over wil verzamelen.*

o *Organiseer over die vragen een enkète in je eigen klas, onder leraren, ouders of leerlingen.*

o *Verzamel tijdens de komende weken informatie uit kranten over de vragen. Vraag ook informatie aan bij instellingen die iets van de problematiek kunnen weten (zie adreslijst aan het eind van dit hoofdstuk).*

Aan het eind van dit thema ga je via een soort forum na of je eigen mening en die van de klas is veranderd en of je gebruik hebt gemaakt van wat je hebt geleerd en van de verzamelde informatie.

ADRESLIJST van instellingen, die iets weten over verkeer:

- Shel Nederland, Verkoopmaatschappij B.V.
  Antwoordnummer 175
  3000 VB ROTTERDAM
  tel. 010-696112

- Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO
  Schoenmakerstraat 97
  Postbus 237
  DELFT
  tel. 015-569330

- Veilig Verkeer Nederland
  Postbus 287
  1200 AG HILVERSUM
  tel. 035-11441

- Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
  Postbus 71
  VOORBURG

- Stichting Weg

2. KRACHT EN BEWEGING

2.1. Onderzoek in dit thema
2.2. Krachten bij het rijden
2.3. Krachten bij remmen en optrekken
2.4. Verschillende krachten tegelijkertijd

KACHLI EN BELGIQUE

2.1. Onderzoek in dit thema

In dit thema kunnen we natuurlijk niet alles over verkeer onderzoeken. We hebben gekozen voor 3 onderwerpen die momenteel (1980) belangrijk zijn en waarbij je tegelijkertijd heel wat natuurkunde kunt leren.
Die onderwerpen zijn:

A. Van welke faktoren is de remweg van voertuigen afhankelijk? Druk en snel verkeer vereist dat je snel tot stilstand kunt komen. De remafstand hangt onder andere af van de reaktietijd van de bestuurder en de snelheid waarmee je rijdt.
In hoofdstuk 3 doe je onderzoek naar deze faktoren.

B. Hoe kun je bij een botsing de schade voor inzittenden beperken? Bij een botsing komt de auto plotseling tot stilstand. De inzittenden stoten daardoor met een enorme klap tegen het interieur van de auto. Bovendien wordt de auto ingedrukt.
In hoofdstuk 4 doe je onderzoek hoe deze klap het beste kan worden opgevangen.

C. Hoe kun je energie besparen in het verkeer?
De chemische energie uit de benzine wordt gebruikt om de auto in beweging te brengen en te houden. Er zijn heel wat tips om zuiniger te rijden. In hoofdstuk 5 onderzoek je waar het energiegebruik in het verkeer van afhangt.

In deze drie onderwerpen speelt het een rol hoe voertuigen worden afgeremd (door remmen of botsen) of in beweging worden gehouden (door energietoevoer). Voordat we naar technische oplossingen van de gestelde vragen zoeken, houden we ons eerst bezig met de natuurkundige achtergrond. De vraag daarbij is: "Welke krachten werken er op een voertuig als het stilstaat, optrekt, remt en rijdt?"

2.2. Krachten bij het rijden

Om een fiets, een slee, een auto of andere voertuigen in beweging te zetten is altijd een kracht nodig. Een duidelijk voorbeeld is de slee. Je moet aan de slee trekken om hem vooruit te krijgen. De kracht waarmee je trekt kun je meten met een veerunster. Behalve de trekkracht werkt er op de slee ook een tegenwerkende kracht, namelijk de wrijvingskracht tussen de slee en de grond. Door de ruwheid van de grond wordt de slee tegengehouden. Als die wrijvingskracht groter wordt, zul je harder moeten trekken. Het is veel gemakkelijker om een slee over sneeuw te trekken dan over droge straatsteken.
Als je ophoudt met trekken remt de slee snel af door de tegenwerkende wrijvingskracht. Op een gladde ondergrond zal hij verder doorglijden dan op een ruwe met veel wrijving.

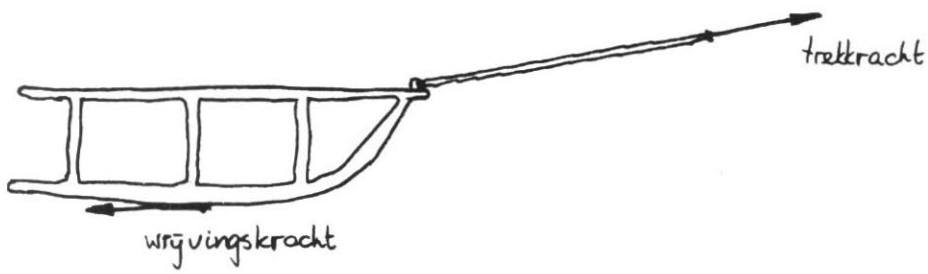


fig 2.1: Als je de slee vooruit trekt gaat er een wrijvingskracht werken.

Ook bij fietsen en auto's werken er bij hetrijden vooruitstuwende duw- of trekkrachten en tegenwerkende wrijvingskrachten. Als je op een fiets rijdt en niet trapt komt de fiets langzaam tot stilstand door de wrijving met lucht en grond.
Om de fiets in beweging te houden moet je de wrijving overwinnen. Er moet, net als bij de slee, een trekkracht op de fiets werken. Die kracht wordt geleverd, doordat je via het trappen ervoor zorgt dat de wielen zich afzetten tegen het wegoppervlak en zo de fiets vooruitduwen (bij de fiets werkt er dus eigenlijk een duwkracht in plaats van een trekkracht). Deze duwkracht zou je weer met een veerunster kunnen meten.

O *Geef aan welke wrijvingskrachten er op een rijdende auto werken? Welke kracht houdt de auto in beweging?*

fig. 2.2 : kracht moet je je voorstellen als iets, dat aan een voorwerp trekt of ertegen duwt.

Een kracht moet je je dus voorstellen als iets dat tegen een voorwerp duwt of eraan trekt. Als je die kracht laat duwen of trekken via een veerunster kun je daarop aflezen hoe groot die kracht is. Let er wel op dat een voorwerp best kan bewegen zonder dat er iets aan duwt op trekt. Op een fiets die uitrolt werkt geen kracht vooruit, wel werkt er nog de tegenwerkende wrijvingskracht op.

o *Als het wagentje van fig. 2.3 tegen een obstakel botst vliegt de kogel er af. Aan welke kant gebeurt dat denk je? Waarom? Is er een kracht die de kogel duwde of trok?*
Kontroleer je antwoord door de proef te doen.
Waardoor komt de kogel uiteindelijk tot stilstand?

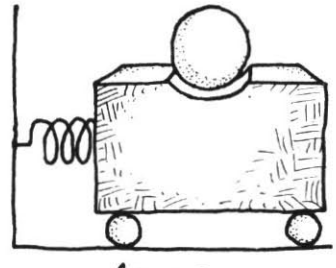


fig. 2.3.

fig. 2.4.

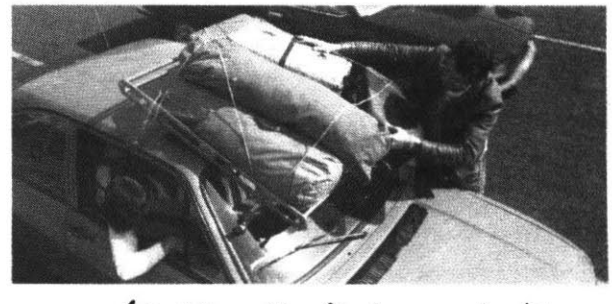


fig. 2.5 : Heeft deze auto te snel gereemd of te snel opgetrokken?

o *De auto van figuur 2.4. is volgepakt met zware koffers.*
Voorspel wat er kan gebeuren bij krachtig remmen. Wat gebeurt er bij snel optrekken?
Werkt er een kracht op de koffers waardoor ze van de auto vallen? Leg uit.

Uit voorgaande vragen zul je begrepen hebben dat voorwerpen doorschieten als ze eenmaal vaart hebben. Er is helemaal geen kracht voor nodig om ze in beweging te houden. Het is meestal de schuld van de wrijving dat voorwerpen stil komen te liggen.

o *Noem enkele methoden waarmee je de wrijving van een fiets zou kunnen verkleinen.*

o *Voorspel wat er gebeurt als een wagentje zonder wrijving zou rijden?*

Een luchtkussenbaan is een toestel waarmee de wrijving zeer klein kan worden gemaakt. Een wagentje drijft daarbij als het ware op een luchtkussen, dat wordt gevormd door lucht onder het wagentje te persen.

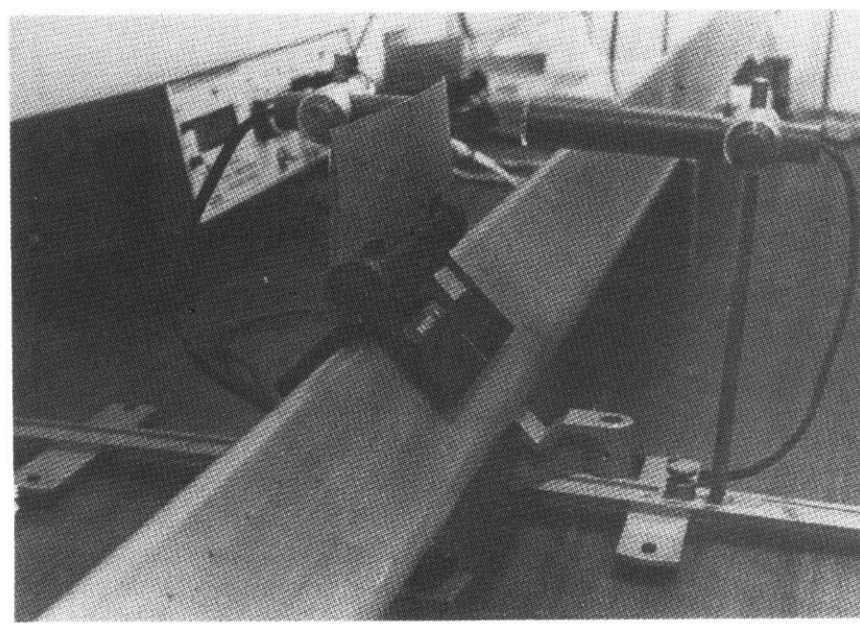


fig.2.6 Een luchtkussenbaan is een buis waarin lucht geblazen wordt. Door diverse gaatjes gaat de lucht naar buiten. Op deze lucht drijft een slee, die vrijwel wrijvingsloos beweegt.

o *Geef het wagentje op zo'n luchtkussenbaan een zet. Meet de snelheid op verschillende tijdstippen. Wat is je konklusie? Waardoor neemt de snelheid toch nog af?*

2.3. Krachten bij remmen en optrekken

In de vorige paragraaf zagen we dat het moeite kost om te stoppen als je eenmaal rijdt. Voorwerpen schieten uit zichzelf door. Er moet een remkracht werken om ze tot stilstand te brengen. Deze remkracht hoeft niet altijd even groot te zijn. Beantwoord maar eens de volgende vragen.

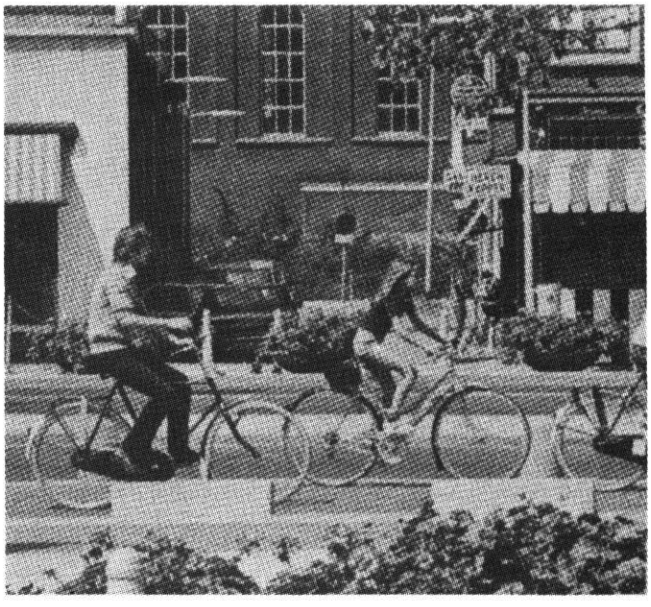


fig. 2.7. *Welke van de twee fietsers in fig. 2.7. is gemakkelijker tot stilstand te brengen?*

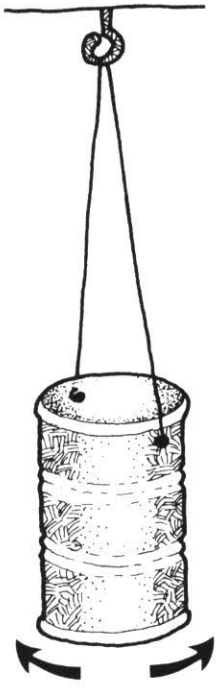


fig. 2.8.

Laat een leeg blik van een bepaalde stand naar beneden slingeren. Rem het blik in zijn onderste stand af. Vul het blik daarna met zand en herhaal de proef. Wat is je konklusie?

Trek nu een konklusie waar de kracht vanaf hangt, die nodig is om een voorwerp binnen een bepaalde tijd tot stilstand te brengen.

Iets dergelijks geldt ook als voertuigen optrekken. Het is moeilijker om op te trekken met iemand achter op je fiets dan in je eentje. Daarom doen we nog eens een proef. We gebruiken daarvoor de luchtkussenbaan om de wrijving uit te schakeln.

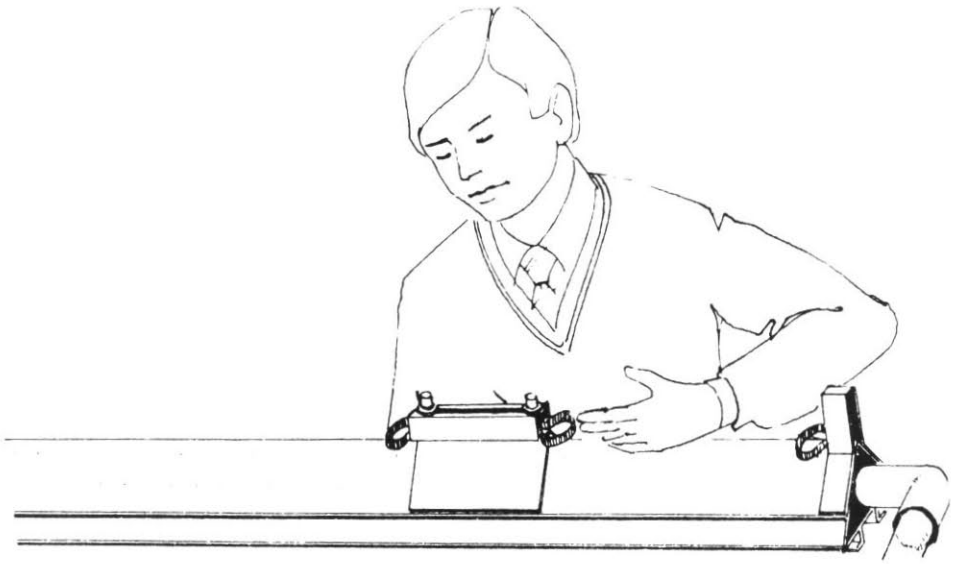


fig. 2.9.

PROEF:

- *Schiet een karretje over de baan en bepaal de snelheid, die het karretje krijgt. Verzwaar daarna het karretje en bepaal of je de schietkracht moet veranderen om het karretje weer dezelfde snelheid te geven (zie fig. 6).*

- *Trek nu je konklusie waar de kracht van afhangt, die nodig is om een voorwerp op een bepaalde snelheid te brengen.*

2.4. Verschillende krachten tegelijkertijd

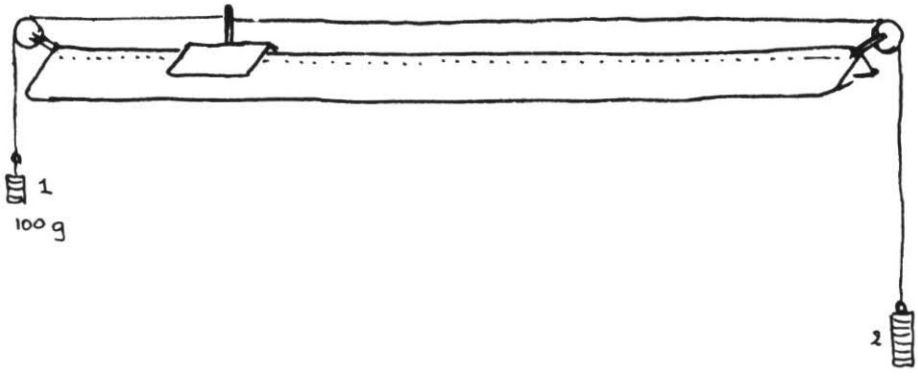
Meestal werken op een voertuig meer krachten. Een fietser duwt de fiets vooruit en tegelijkertijd houdt de wrijving de fietser tegen.

- o *Een fietser trapt, zodat hij met konstante snelheid rijdt. Wat zou er gebeuren als er plotseling geen wrijving zou zijn?*

- o *In werkelijkheid is er wel wrijving. Moet de fietser harder, even hard of minder hard trappen dan de grootte van de wrijvingskracht om met konstante snelheid te blijven rijden?*

Om de wrijving uit te schakelen kun je weer een proef doen met de luchtkussenbaan:

- o *Bevestig een gewichtje aan het wagentje volgens figuur*



- o *Bepaal hoe groot gewichtje 2 moet zijn om het wagentje precies stil te laten staan.*

- o *Bepaal hoe groot gewichtje 2 moet zijn om ervoor te zorgen dat het wagentje met een konstante snelheid naar rechts beweegt (nadat je het een zetje hebt gegeven).*

Tot nu toe hebben we alleen nog maar gekeken naar horizontale krachten. Maar tegelijkertijd wordt het wagentje (of de fiets) ook nog naar beneden getrokken.

- o *Welke kracht verhindert dat het wagentje op de luchtkussenbaan zakt?*

- o *Welke kracht verhindert dat de zwaartekracht een auto niet door het wegdek trekt?*

Als een voertuig horizontaal beweegt wordt de zwaartekracht opgeheven door een kracht naar boven. Dat geldt ook voor een vliegtuig of een boot.

3. VEILIG RIJDEN

3.1. Botsingen voorkomen
3.2. Onderzoek opzetten
3.3. Fietsproeven
3.4. Remmende wagentjes
3.5. Reaktietijd
3.6. Afstelling verkeerslichten

3.1. Botsingen voorkomen

Het verkeer is tegenwoordig veel drukker en sneller dan vijfig jaar geleden. Daardoor gebeuren er ook meer ongelukken. Door verschillende maatregelen probeert de overheid het aantal ongevallen te voorkomen. Ze wordt daarbij geadviseerd door het onderzoeksinstituut de SWOV, de Stichting voor wetenschappelijk onderzoek van de verkeersveiligheid. Maatregelen, die genomen kunnen worden zijn bijvoorbeeld:

- zoveel mogelijk scheiden van voetgangers, fietsers en auto's op de wegen;
- aanbrengen van verkeersborden en verkeerslichten;
- duidelijke wegmarkeringen;
- instellen maksimumsnelheid.

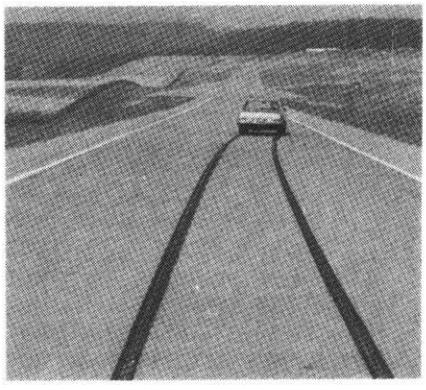


fig. 3.1.

Daarnaast wordt van autobestuurders, fietsers en voetgangers geëist dat ze proberen vooruit te zien wat er in een verkeerssituatie zal gebeuren. Bestuurders moeten hun snelheid aanpassen aan de afstand die ze kunnen overzien.
Toch blijven er altijd noodgevallen, waarin bestuurders zo snel mogelijk moeten kunnen stoppen.
Als je verkeerstechnische maatregelen wil nemen moet je rekening houden met de remweg die auto's nodig hebben. Een verkeerslicht moet bijvoorbeeld lang genoeg op geel staan om bestuurders, die niet op tijd konden remmen, de gelegenheid te geven het kruispunt vrij te maken. Bij onoverzichtelijke stukken weg wordt een maksimum snelheid aangegeven, waarmee je dat stuk weg veilig kunt berijden (met andere woorden op tijd kunnen stoppen voor plotselinge obstakels).
De wetgever heeft minimumeisen gesteld aan het remvermogen van verschillende voertuigen. De remvertraging van auto's moet minimaal 6,2 m/s^2 kunnen zijn. (In de rest van dit hoofdstuk komen we wel tegen wat hiermee wordt bedoeld).
Maar de remweg hangt niet alleen af van de konditie van de remmen. Als plotseling een bal voor een rijdende fiets rolt, zal de fietser schrikken en pas na korte tijd reageren. Deze tijd is de reaktietijd van de fietser.
In het verdere hoofdstuk doen we onderzoek naar de remweg.
In 3.2., 3.3. en 3.4. staan eksperimenten om te bepalen waar remweg en remtijd van afhangen tijdens het remmen zelf. In 3.5. besteden we aandacht aan de reaktietijd van de bestuurder. In 3.6. zullen we een toepassing geven: "Hoe lang moet een verkeerslicht op geel staan om bestuurders genoeg gelegenheid te geven om te stoppen voor het rode licht?".

3.2. Onderzoek opzetten

In de volgende paragrafen doe je onderzoek naar de remweg van voertuigen. Dat onderzoek is zowel theoretisch als praktisch De theorie, die je nodig hebt staat apart in hoofdstuk 6.
Voordat je begint met onderzoek via proeven zul je eerst een onderzoeksplan moeten maken. Daarvoor dient deze paragraaf. Neem voor onderstaande vragen rustig de tijd. Zorg dat aan het eind alle groepsleden het eens zijn over het plan en weten waar het over gaat.

- *Remafstand en remtijd van een voertuig zijn afhankelijk van verschillende faktoren. Probeer enkele van die faktoren te bedenken.*

- *Lees de proeven van 3.3. en 3.4. door en beslis welke faktor je met welke proef wil nagaan.*

- *Aan het eind van elke proef zul je een konklusie moeten kunnen opschrijven. Zorg ervoor dat je dat kunt doen volgens het principe van eerlijk vergelijken: Als je verder alles hetzelfde laat en de ..... 3 x zo groot maakt, wordt de remweg ..... x zo groot en de remtijd ..... x zo groot.*

- *Schrijf van de eerste proef op wat je wilt weten en konstant houden, zodat je zeker weet dat je na afloop de konklusie kunt invulllen.*

- *Ga na, of iedereen in je groep precies weet wat de bedoeling is van de eerste proef.*

3.3. Fietsproeven

In deze proef bepaal je de remweg van een fietser. Je kunt verschillende faktoren die de remweg beïnvloeden variëren en nagaan wat het effekt ervan is. Afhankelijk van je onderzoeksplan kun je bijvoorbeeld de massa variëren (door iemand achterop te laten zitten), de beginsnelheid of de remkracht veranderen.

Praktische aanwijzingen:

- Als je de snelheid konstant wilt houden, is het handig om een fiets met snelheidsmeter te hebben. Wel zul je deze eerst moeten ijken, omdat ze meestal onnauwkeurig zijn.
- Als je de remkracht konstant wil houden, kun je een blokje onder de handrem bevestigen zoals in figuur 3.2.
- De remkracht kun je meten door de fiets langzaam voort te trekken met een veerunster (zie de tweede vraag van 2.4.).

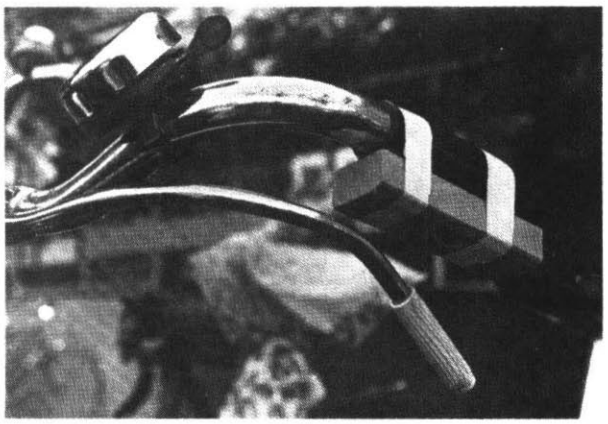


fig. 3.2: De fiets op deze foto kan remmen met een steeds even grote remkracht. Aan het stuur zit een houten blokje vast. Als je de rem tegen het blokje aanknijpt remt de fiets met een steeds even grote remkracht.

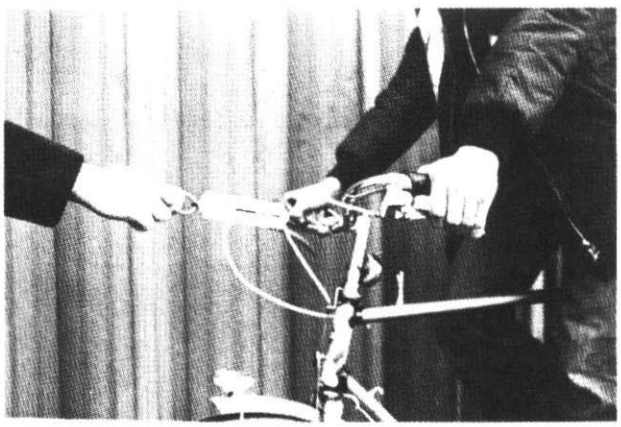


fig. 3.3: de wrijving van de fiets kun je meten door de fiets met een veerunster voort te trekken

o *Zet een parcours uit zoals in onderstaande tekening*

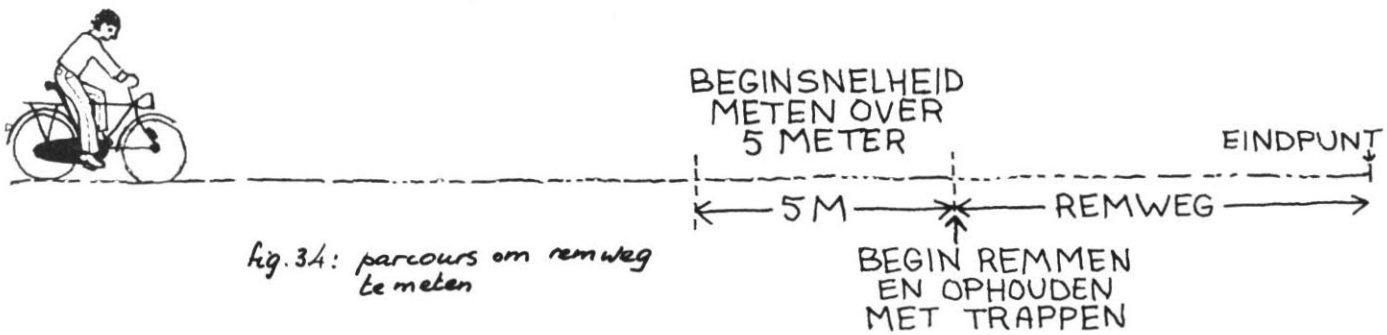


fig. 3.4: parcours om remweg te meten

o *Doe een serie metingen, waarbij je meet hoe de remweg varieert als je een faktor (bijvoorbeeld de beginsnelheid) varieert. Houd andere faktoren zoveel mogelijk konstant. Noteer je metingen duidelijk in een tabel. Wissel af en toe eens de taken in je groepje.*

o *Schrijf je konklusie op. Zorg dat iedereen in je groep die snapt.*

o *Doe (eventueel) een nieuwe serie proeven waarbij je een andere faktor varieert. Schrijf weer je konklusie op.*

3.4. Remmende wagentjes

In deze proef bepaal je de remtijd en de remweg van een wagentje met behulp van een tikkerstrook. Afhankelijk van je onderzoeksplan kun je bijvoorbeeld de massa, de beginsnelheid of de remkracht veranderen.

Praktische aanwijzingen:

- De beginsnelheid van de kar kun je hetzelfde maken door hem steeds van eenzelfde hoogte van een helling te laten rollen.
- Het wagentje moet een rem hebben, die je in werking kunt stellen.
- De tijdtikker zet om de 1/50 s (=0,02 s) een stipje op de tikkerband. De lengte van een stukje tikkerstrook, dat ligt tussen 5 stippen is dus in 5 x 0,025 = 0,1 s door de tijdtikker getrokken (zie fig. 3.5.). De gemiddelde snelheid van stukje A in fig. 3.5. is dus 1.8 cm in 0,1 s, dat is 18 cm/s.
- Des te langer de afstand tussen 5 stippen is, des te groter was de snelheid. Als je wil zien hoe de snelheid afneemt knip dan de hele tikkerstrook om de 5 stippen in stukken. Plak daarna de stroken naast elkaar zoals in fig. 3.6. Je krijgt zo een snelheidsdiagram van de beweging.

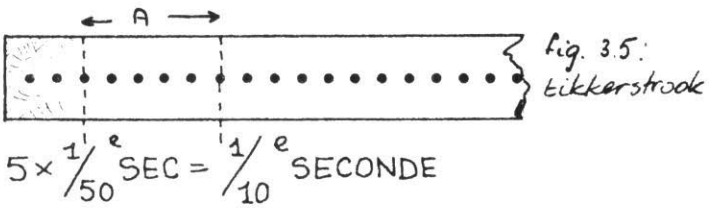


fig. 3.5: tikkerstrook

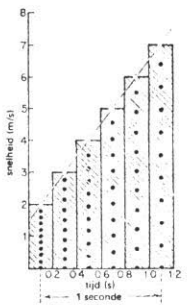


fig. 3.6: snelheids-diagram met tikker-strookjes

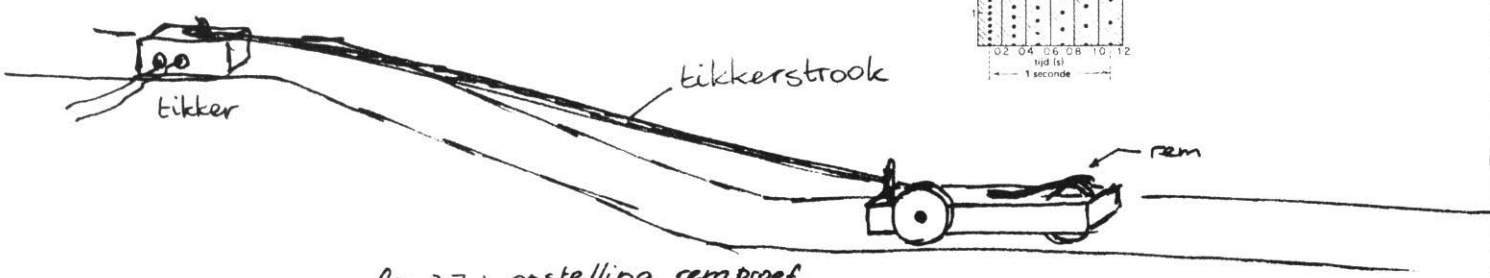


fig. 3.7: opstelling remproef.

- o *Bouw de opstelling.*
- o *Doe een serie metingen waarbij je één faktor (bijvoorbeeld de massa) varieert. Maak steeds een snelheidsdiagram zoals hierboven is aangegeven. Wissel af en toe de taken in je groepje.*
- o *Bepaal hoeveel de snelheid van de beweging afneemt in 1 s. De afname van de snelheid in 1 s heet de remvertraging van dat voertuig.*
- o *Formuleer weer een konklusie als in 3.3.*

3.5. Reaktietijd

Tussen het moment dat een bestuurder iets voor zich ziet op doemen en het moment dat hij de rem heeft ingedrukt is er een tijd verstreken: de reaktietijd. In deze tijd gaat de fiets of auto gewoon met bijna konstante snelheid vooruit. Als die snelheid hoog is, kan de afgelegde weg in die tijd nog vrij groot zijn.

- o *Bedenk enkele factoren waar de reaktiesnelheid van de bestuurder van af kan hangen.*

- o *Kies daaruit één faktor. Bedenk een meetplan waarmee je kunt bepalen hoe die faktor van invloed is op de reaktiesnelheid. Probeer alle andere omstandigheden zoveel mogelijk gelijk te houden. Hieronder staan enkele voorbeelden van faktoren.*

- o *Voer de metingen zorgvuldig uit en formuleer je konklusie*

- o *Bespreek hoe je konklusie van belang kan zijn in verkeerssituaties. Bereken hoeveel de remweg van een fiets (20 km/uur) of een auto (100 km/uur) erdoor beïnvloed wordt.*

Voorbeelden van reaktietijdmetingen:
- Start een elektronische klok (onverwacht) en laat de proefpersoon de klok stoppen zodra hij ziet dat de klok is gestart.
- Meet bij een verkeerslicht hoe lang het duurt voordat mensen reageren op groen worden van het licht. Korrigeer wel voor je eigen reaktietijd.
- Teken de schaalverdeling hiernaast op een plankje (lineaal). Vraag de proefpersoon het latje tegen de muur te drukken als hij het latje ziet vallen. De cijfers bij de schaalverdeling geven aan hoe lang het latje nodig heeft om de afstand te vallen, die bij dat streepje hoort.

Faktoren die je kunt variëren:
- Afstand die je met hand of voet moet afleggen om te reageren.
- Verschil in reaktietijd tussen hand en voet.
- Verschil tussen zo snel mogelijk en rustig reageren
- Verschillen tussen personen.

3.6. Het oranje verkeerslicht

In 3.1. zeiden we dat kennis van de remweg van auto's belangrijk is voor bijvoorbeeld de afstelling van verkeerslichten. We zullen dat nu nagaan.
Neem de situatie van fig. 3.10. in gedachten. Het kruispunt wordt beveiligd met verkeerlichten. De lichten op de zijweg springen op groen als de lichten op de grote weg rood worden. Op de grote weg is een maksimumsnelheid van 80 km/uur ingesteld.
De vraag is hoe lang het verkeerslicht op de rijksweg op oranje moet staan.

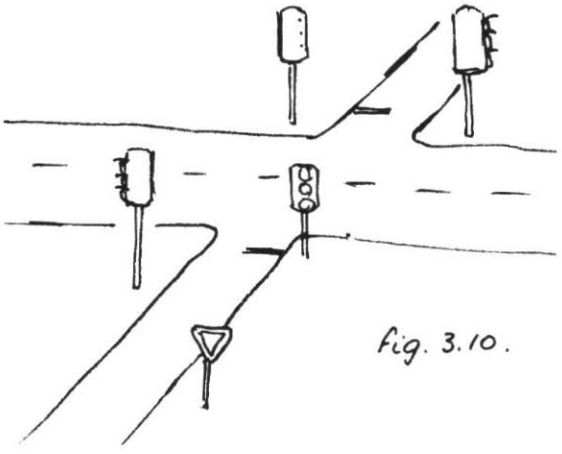


Fig. 3.10.

- *Wat gebeurt er als het licht te kort op oranje staat?*
- *Wat is het nadeel als het licht erg lang op oranje staat?*
- *Wat denk je gevoelsmatig dat een goede tijd is om de lichten op oranje te laten staan?*

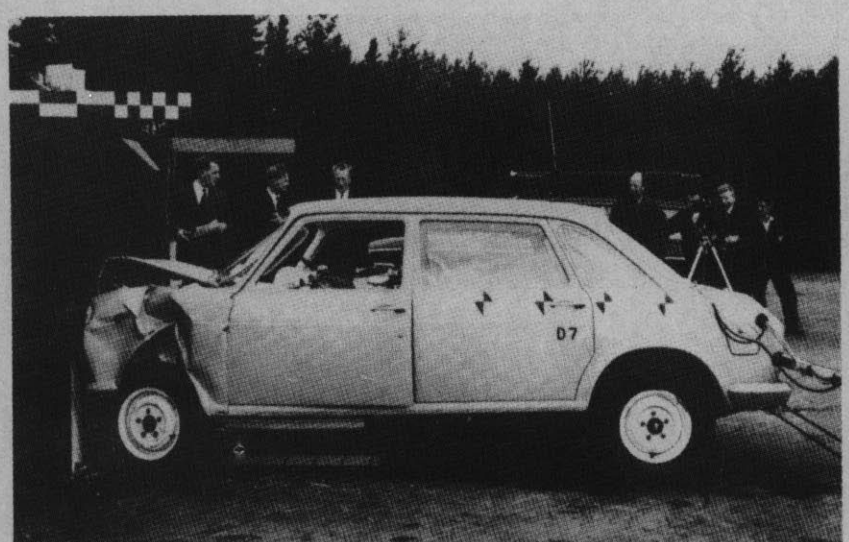
De remvertraging, waarmee personenauto's moeten kunnen remmen bedraagt 6,2 m/s^2, dat is ongeveer 22 km/uur per seconde.

- *Bereken hoe lang de lichten zeker op oranje moeten staan (houd ook rekening met de resultaten van je onderzoek over reaktietijd).*
- *Probeer te schatten of te berekenen hoe ver de auto nog doorrijdt nadat het licht op oranje sprong. Maak daarbij onderscheid tussen de periode, dat de bestuurder nog moet reageren en de periode, dat hij op de rem trapt.*
- *Had je bovenstaande antwoorden verwacht? Kontroleer eens de lichtafstelling bij een verkeerslicht bij je in de buurt.*

4. BOTSEN

4.1. Onveilig verkeer
4.2. Botsingen in beeld
4.3. Botsingen in het klein
4.4. Krachten bij botsingen
4.5. Botsingen in soorten

Sinds 1975 zijn autobestuurders verplicht hun veiligheidsgordel te gebruiken, en dat geldt ook voor passagiers voorin.
Deze dwang is voor je bestwil, zegt de overheid, om het risico bij botsingen te verkleinen.
Dit hoofdstuk gaat over botsingen: wat gebeurt er, hoe is dat te verklaren, en wat kun je doen om de klap op te vangen?



Bij botsingen zijn de krachten op personen heel erg groot. Te groot om te kunnen weerstaan. Veiligheidsgordels en andere voorzieningen zijn dan erg nodig. In deze foto is een experiment gedaan met botsingen.

OVERZICHT VAN AKTIVITEITEN

in 4.1.:	Grafieken interpreteren: wat kun je afleiden uit de gegevens? Lezen: iets over onderzoek van ongevallen
in 4.2.:	Lezen: iets over botsingsproeven van TNO Analyseren van fotoseries: wat gebeurt er met de "bestuurder"
in 4.3.:	Experimenteren met een wagentje dat tegen een muur botst
in 4.4.:	Toepassen van enkele regels uit de theorie
in 4.5.:	Experimenteren met een wagentje dat tegen een ander botst

4.1. Onveilig verkeer

In 1975 vielen in het Nederlandse verkeer 2360 doden. Dat was een "gunstig" aantal, ruim 900 minder dan in 1972. De figuur hieronder geeft een beeld van de verkeersonveiligheid over een aantal jaren. Daarbij moet je bedenken dat de aantallen zwaar- en lichtgewonden veel groter zijn dan de aantallen doden.

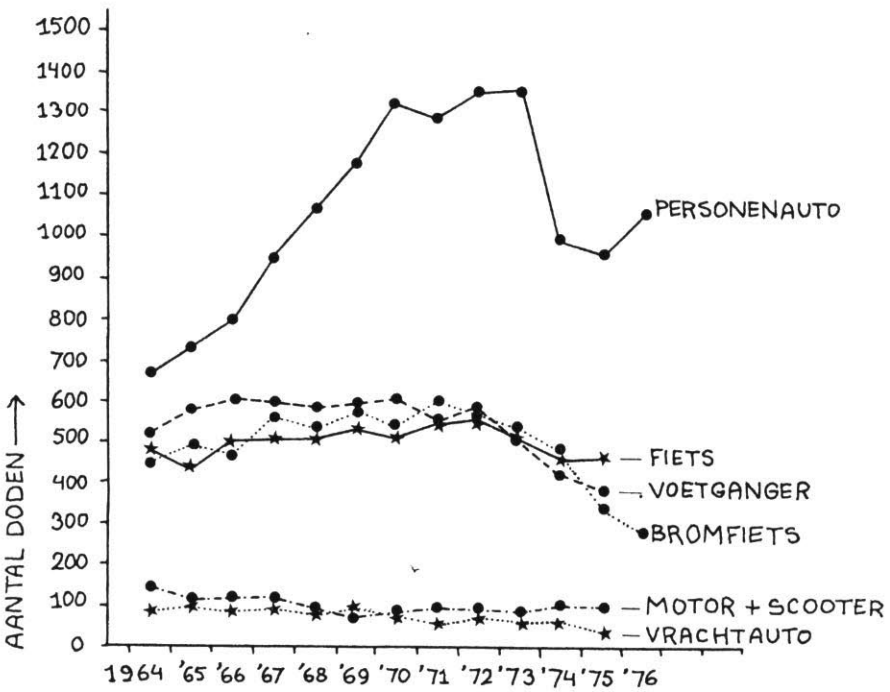
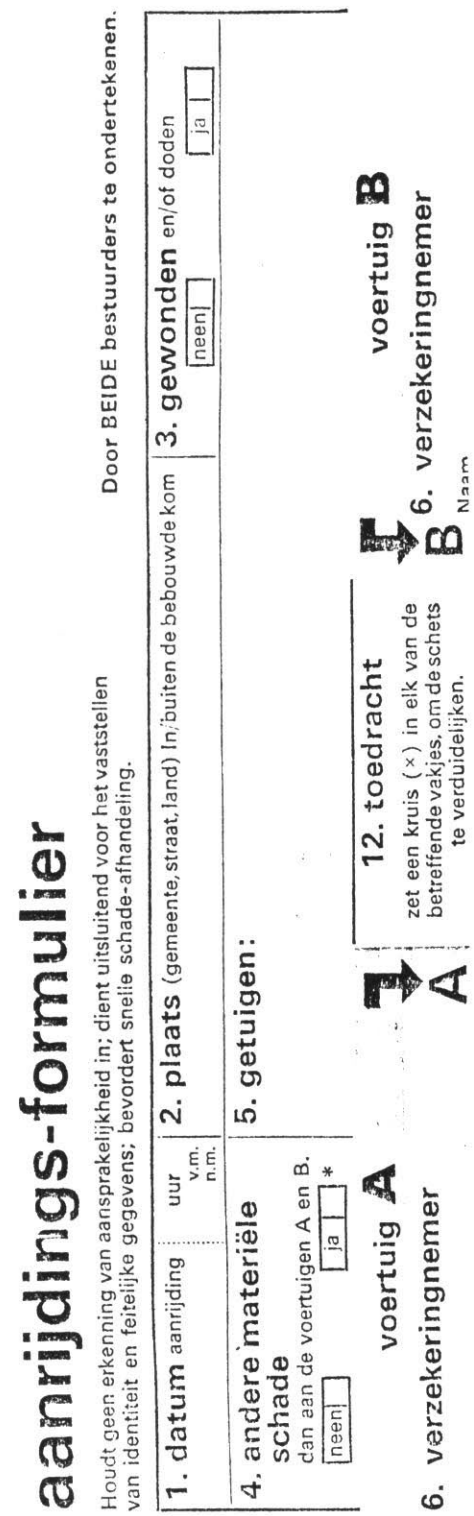


fig. 41: Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden naar wijze van deelname aan het verkeer in de jaren 1964 t/m 1976

OM TE BESPREKEN:

In hoeverre ben je het eens met de volgende conclusies uit de grafiek?

1. *Motorrijders lopen minder gevaar dan automobilisten*
2. *In 1975 werd minder op straat gewandeld dan in 1972*
3. *Het verplicht stellen van de bromfietshelm (1 febr. 1975) heeft gunstige invloed gehad.*
4. *De daling in 1975 van het aantal slachtoffers in auto's is te danken aan snelheidsbeperkingen en verscherpte controle op alcoholgebruik.*
5. *Door het verplichte gebruik van veiligheidsgordels, sinds 1975, zijn honderden mensenlevens gespaard.*


aanrijdings-formulier

Houdt geen erkenning van aansprakelijkheid in; dient uitsluitend voor het vaststellen van identiteit en feitelijke gegevens; bevordert snelle schade-afhandeling.

Door BEIDE bestuurders te ondertekenen.

1. datum aanrijding ..... uur v.m. n.m.

2. plaats (gemeente, straat, land) In; buiten de bebouwde kom

3. gewonden en/of doden neen ja

4. andere materiële schade dan aan de voertuigen A en B. neen ja *

5. getuigen:

voertuig A

6. verzekeringnemer

12. toedracht

zet een kruis (×) in elk van de betreffende vakjes, om de schets te verduidelijken.

A

B

voertuig B

6. verzekeringnemer

B Naam

fig. 4.2.

In ons land verwerken de verzekeringsmaatschappijen jaarlijks ongeveer 800.000 aanvragen voor vergoeding voor schade, opgelopen in het verkeer. De aanvragers moeten op een formulier aangeven, waar en hoe en door wiens schuld het ongeluk gebeurde en wat de aard is van de schade. Bij ernstige ongelukken komt de politie de schade opnemen en rapport opmaken.

Bij een ongeluk is vaak een combinatie van allerlei verschillende factoren in het spel. Sommige factoren zijn zeldzaam (automobilist werd door wesp gestoken), andere komen regelmatig voor (automobilist had teveel gedronken). Door het verzamelen en vergelijken van een groot aantal gevallen zijn soms belangrijke conclusies te trekken.

Bijvoorbeeld: op sommige weggedeelten gebeuren verhoudingsgewijs veel ongelukken. Nader onderzoek leidt dan vaak tot verbeteringen, bijvoorbeeld vangrails, waarschuwingsborden, verkeerslichten, langere opritten, betere verlichting.

Bijvoorbeeld: bepaald gedrag is vaak oorzaak van ongelukken, bijvoorbeeld verkeerd invoegen, rijden onder invloed, te snel rijden in de bebouwde kom. Daar probeert dan "Veilig Verkeer" iets tegen te doen, of anders de politie.

Bijvoorbeeld: automobilisten die autogordels dragen komen er in het algemeen beter af dan wie het niet doen. Daarom is het gebruik van gordels verplicht gesteld.

Wat het laatste voorbeeld betreft: in de jaren 1971-1975 heeft de SWOV (Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid) diverse enquetes gehouden en de gevolgen van meer dan 10.000 autobotsingen onderzocht. Op grond daarvan werd geconcludeerd: "De kans dat een voorinzittende overlijdt tengevolge van een ongeval vermindert met tenminste 60% als hij een gordel gebruikt".

OM TE BESPREKEN:

Bekijk een schadeformulier. Welke gegevens zijn van belang voor onderzoek naar risico-factoren?

4.2. Botsingen in beeld

Bij een autobotsing moet de veiligheidsgordel voorkomen dat je te ver naar voren schiet of uit de auto geslingerd wordt. De gordel krijgt een hevige ruk te verduren en moet behoorlijk sterk zijn.

Veiligheidsgordels worden gekeurd in een laboratorium van TNO (Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek). Bij zo'n keuring schieten ze een slee met een snelheid van 50 km/uur tegen een betonnen muur. Volgens een wettelijke norm moeten de gordels bij deze snelheid worden getest, voor een "bestuurder" die een massa heeft van 75 kg, net als de gemiddelde volwassen Nederlander. Voor aan de slee zitten stangen met veren, die een flink eind in te drukken zijn. Daardoor heeft de botsing ongeveer hetzelfde verloop als in werkelijkheid, wanneer de auto enkele decimeters in elkaar gefrommeld wordt.

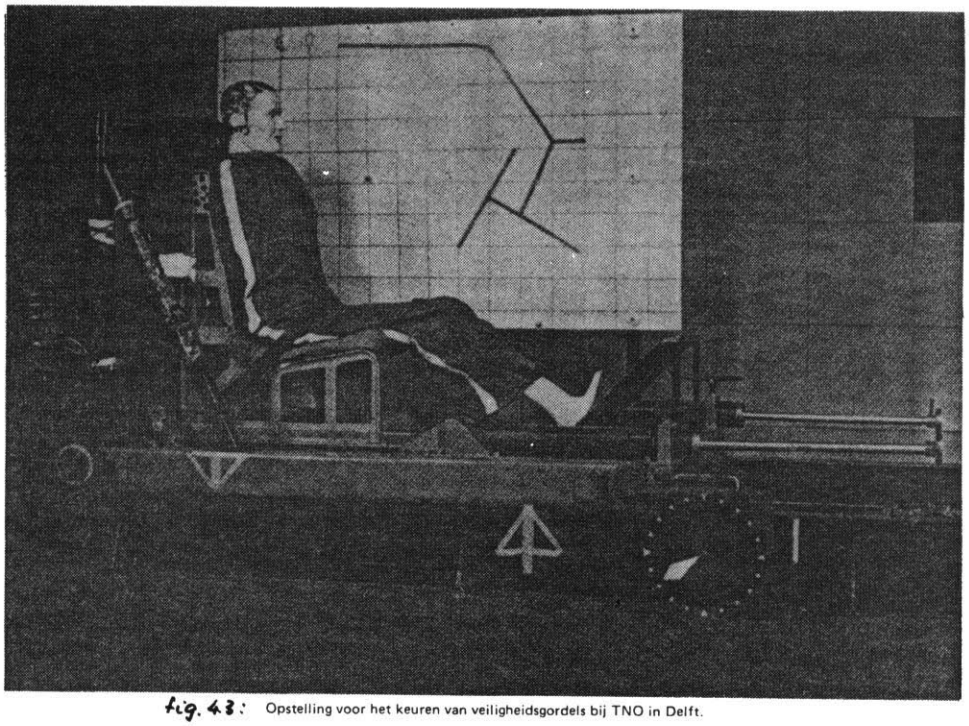


fig. 43: Opstelling voor het keuren van veiligheidsgordels bij TNO in Delft.

Een tekening van de kabine staat op een bord dat met de slee meebeweegt. Daardoor kun je zien of de proefpop het stuur en de voorruit of de rand daaronder raakt. Achterop de slee zitten instrumenten waarmee de vertraging wordt gemeten.

De botsingen worden gefilmd. Het verloop van de botsing is te analyseren door de film langzaam af te draaien of beeldje voor beeldje te bekijken. Dat laatste kun je zelf doen met de series op de volgende bladzijde.

Gegevens bij deze fotoserie:
- opnamesnelheid 64 beeldjes per seconde; tijdsverloop tussen twee beeldjes dus 1/64 (= 0,0156) seconde;
- afstand tussen opeenvolgende lijnen op de slee en het bord: 10 cm;
- afmetingen van de muurtegels: 30 bij 30 cm;
- het eerste plaatje is gemaakt op het moment dat de stootstaven de betonnen muur raakten (niet te zien op de foto).

OPDRACHTEN:

Beschrijf en verklaar wat er gebeurde. Gebruik hierbij natuurkundige begrippen als snelheid, tijd, traagheid, kracht.

Maak een zo goed mogelijke schatting van
a) de tijd waarin de "auto" tot stilstand kwam;
b) de afstand die de "auto" in die tijd nog aflegde (door het indrukken van de bufferstangen).

Maak een zo goed mogelijke schatting van
a) de extra afstand die de "bestuurder" aflegde voordat hij teruggetrokken werd naar de stoel (over deze afstand rekte de gordel uit);
b) de tijd waarin de pop tot stilstand kwam.

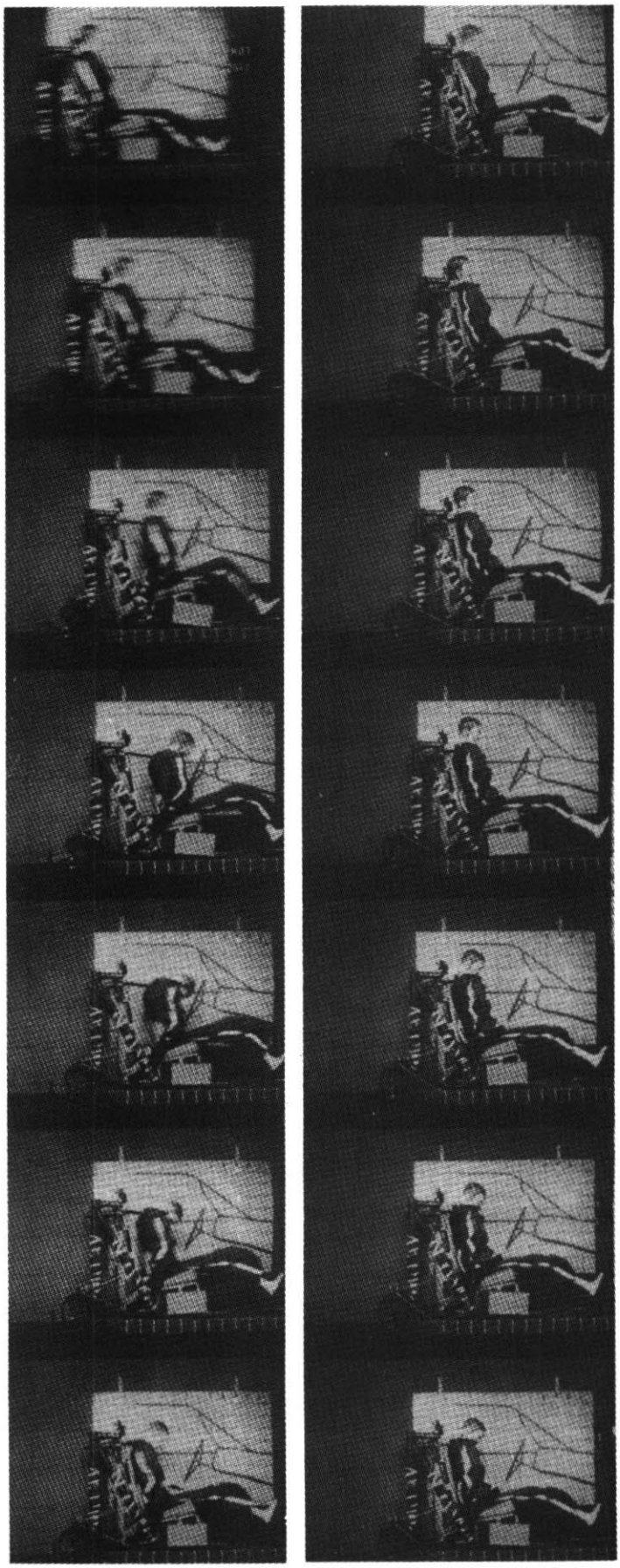


fig. 44: botsingsproef bij TNO

Gegevens bij deze fotoserie:
- deze serie is net zo opgenomen als de vorige;
- ook hier begint de "auto" te botsen op het eerste plaatje;
- in dit geval knapte de veiligheidsriem. De pop had nog een reserveriem aan, om te voorkomen dat hij tegen het beton zou schieten.

OPDRACHTEN:

Beschrijf en verklaar wat er gebeurde. Maak hierbij weer zo goed mogelijk gebruik van "natuurkundige taal".

Maak een zo goed mogelijke schatting van de snelheid waarmee het hoofd van de "bestuurder" de "voorruit" treft.

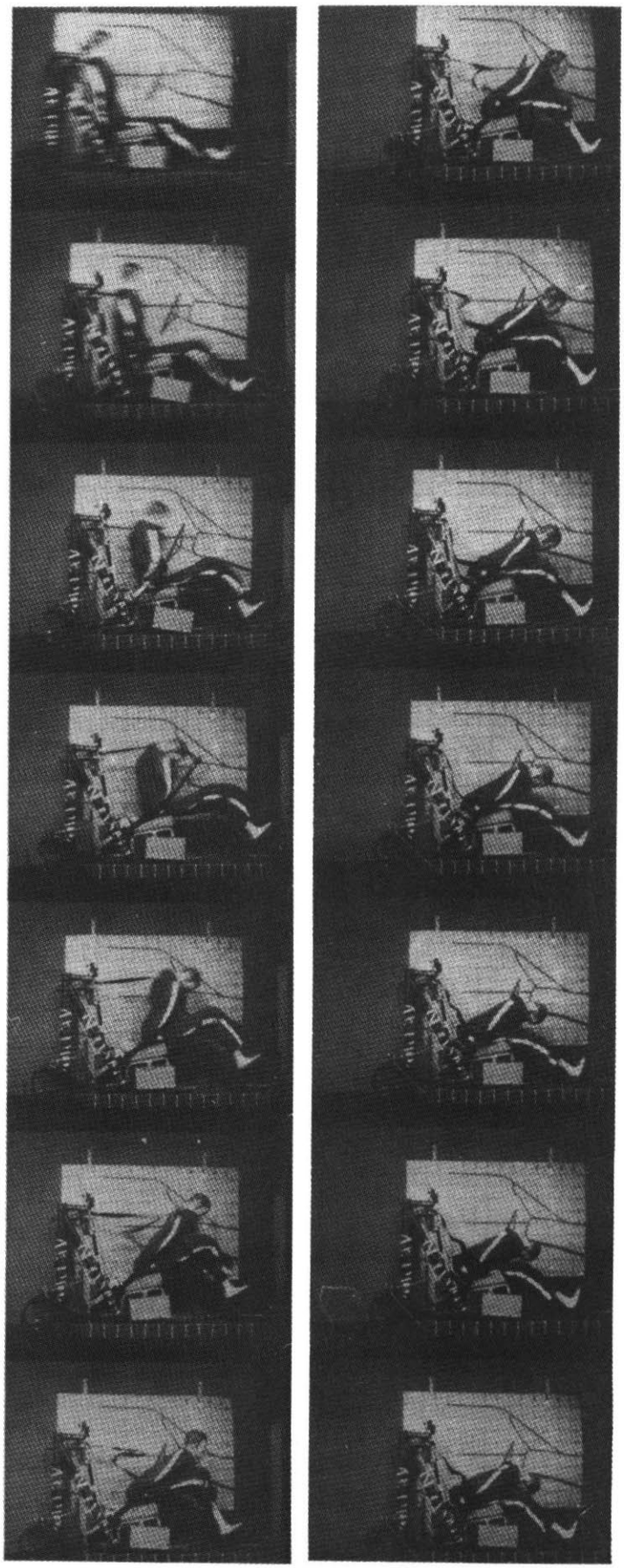


fig. 4.5:
Nog een botsingsproef bij TNO.

4.3. Botsingen in het klein

PROEF: krachten bij botsingen

Hieronder zie je een "auto met bestuurder" - wat simpeler dan de apparatuur van TNO - voor je eigen botsingsproeven. Als "veiligheidsgordel" dient een veerbalans; daarmee kun je bepalen hoe groot de kracht wordt die tijdens een botsing op de pop werkt.

Een moeilijkheid is natuurlijk, dat de veer meteen weer samentrekt. Om toch te kunnen meten hoever de pop naar voren schoot en hoe groot de veerkracht werd, moet je een stukje papier verschuifbaar bevestigen aan het staafje dat achter de veerbalans uitsteekt.

De snelheid van het wagentje vlak voor de botsing kun je bepalen met behulp van een papierstrook die door een tijdtikker loopt. Een hellende plank geeft je de mogelijkheid om het wagentje een aantal keren met dezelfde snelheid te laten botsen.

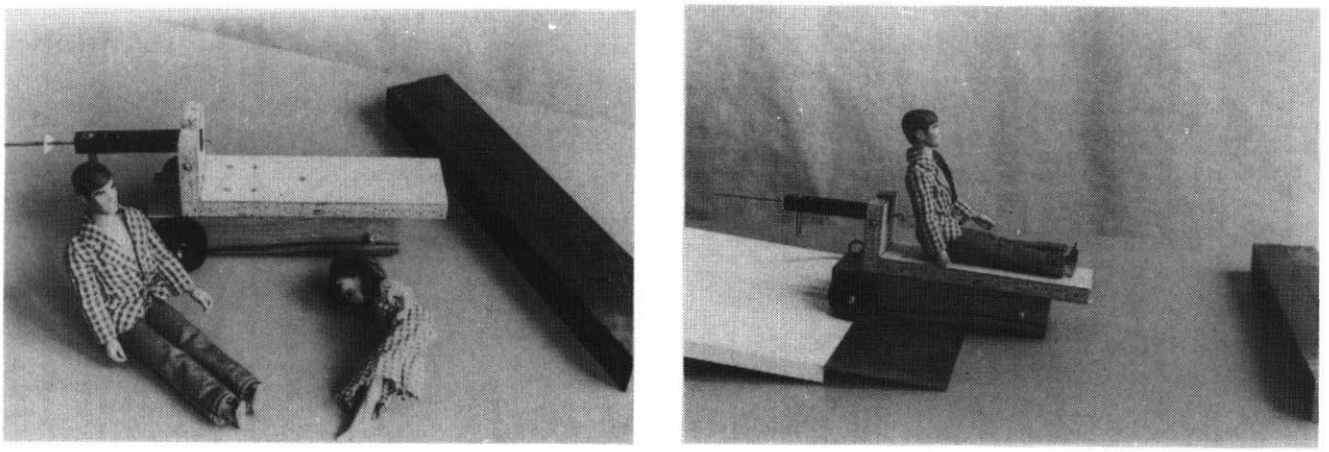


fig. 4.6 : Meting van de maksimale kracht bij een botsing.

- o *Noteer steeds de massa van de pop (m), de snelheid (v), de afstand waarover de veer uitrekt (s) en de maximale kracht (F_{max}).*
- o *Doe je proeven met verschillende snelheden.*
- o *Ga ook na hoe verandering van massa (andere pop of pop + ballast) doorwerkt in s en F_{max}.*
- o *Vergelijk de optredende krachten met het gewicht van de pop.*
- o *Onderzoek ook het effect van "kreukzones" die je kunt maken van opgevouwen of opgerold papier of aluminiumfolie.*
- o *Formuleer op grond van je onderzoek enkele veronderstellingen over de krachten die in veiligheidsriemen optreden bij autobosingen.*

4.4. Krachten bij botsingen

Bij je eigen proeven werkte je waarschijnlijk met massa's in de orde van grootte van 0,1 kg, snelheden omstreeks 1 m/s. Daarbij traden krachten op van enkele newtons. In de filmserie van TNO ging het om een massa van 75 kg bij een snelheid van ongeveer 15 m/s. Wel schoot die proefpop van TNO misschien wel tienmaal zo ver door als de jouwe, maar toch: die riem moest heel hard trekken.

Het probleem bij botsingen is traagheid: de neiging van ieder ding en ook van je eigen lichaam, om met konstante snelheid rechtdoor te gaan. Om die snelheid "weg te werken" is een remmende kracht nodig. Hoe korter de beschikbare tijd, hoe groter de benodigde kracht.

Volgens de wettelijke voorschriften moet een veiligheidsgordel kunnen trekken met een kracht van 18 000 N, ongeveer het gewicht van drie "Eendjes". Vergelijk dat eens met de krachten die je zelf met je armen en benen kunt uitoefenen als je je schrap zet.

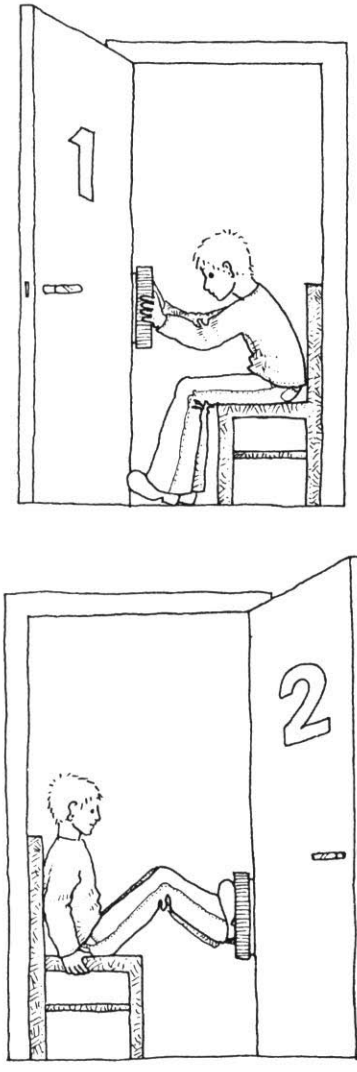


fig. 4.7: Meting van de kracht die je met armen en benen kunt uitoefenen

PROEF:

Ga met een ruggesteun voor een vertikaal opgestelde weegschaal zitten en druk de weegschaal met je armen zover mogelijk in. Hoe groot is de kracht die je met je armen kunt uitoefenen?
Doe ditzelfde met je benen.

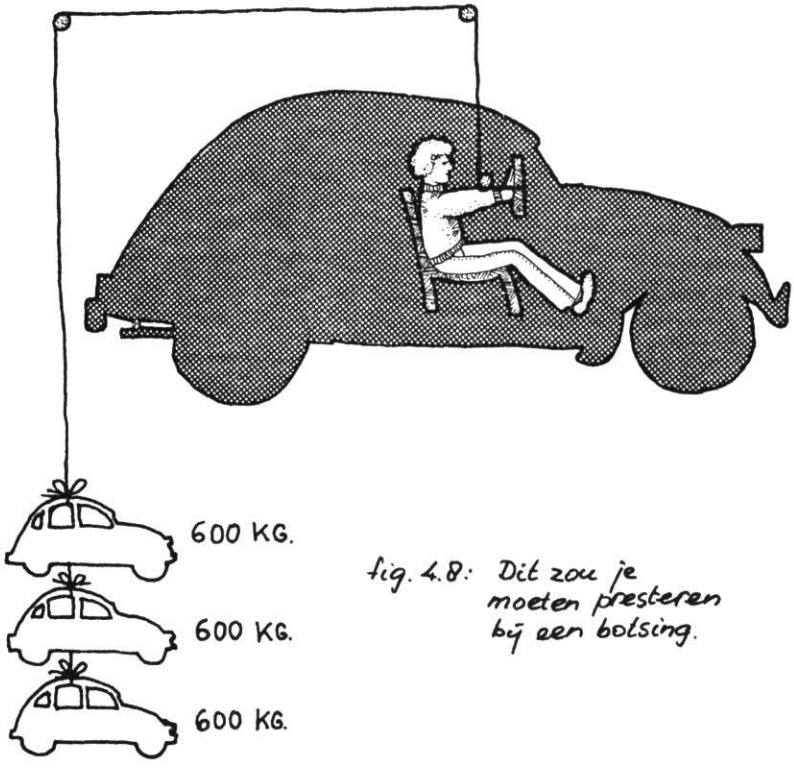


fig. 4.8: Dit zou je moeten presteren bij een botsing.

4.5. Botsingen in soorten

Tot zover heb je alleen gekeken naar frontale botsingen met een vast obstakel. In het verkeer botsen auto's vaak met elkaar, soms frontaal, soms kop-staart, soms dwars, vaak in allerlei andere richtingen: schuin van voren of schuin van achteren. En dan zijn er nog allerlei kombinaties van snelheden mogelijk, terwijl ook de massa's van de auto's vaak nogal verschillen. Daar valt heel wat aan uit te zoeken!

Bij een botsing tussen twee auto's A en B is de snelheidsverandering van A meestal niet gelijk aan die van B. Bij de grootste snelheidsverandering hoort de grootste kracht, dus in het algemeen het grootste risico. Als je tijd hebt, en beschikt over twee karretjes en een tijdtikker, kun je een aantal gevallen onderzoeken.

PROEF:

Laat een wagentje A botsen tegen een wagentje B; zorg ervoor dat ze na de botsing aan elkaar vast blijven zitten (zo'n botsing heet "volkomen inelastisch"). Bepaal met behulp van de registratie op een tikkerband de snelheid van A voor de botsing en de snelheid van A en B na de botsing. Doe dat bijvoorbeeld voor de volgende gevallen:

- *A botst tegen stilstaande B die even grote massa heeft*
- *A botst tegen stilstaande B die dubbele massa heeft*
- *A botst tegen tegemoetkomend B, die gelijke massa en snelheid heeft.*

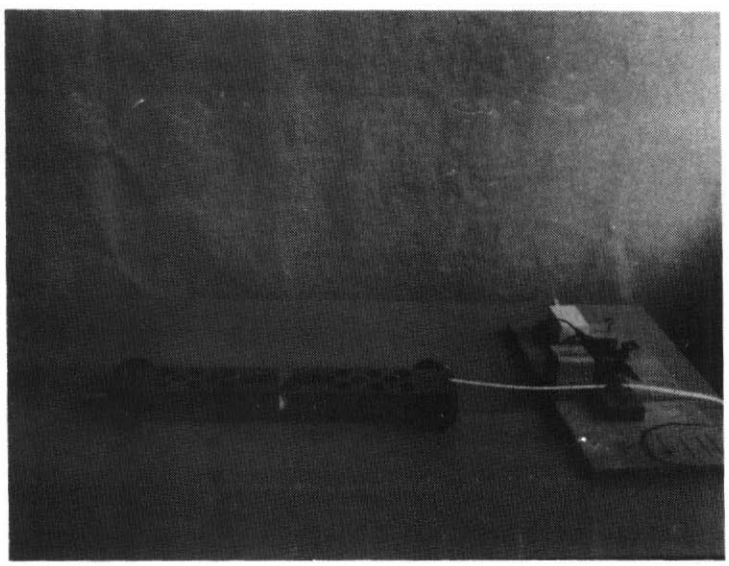


fig. 4.9: Meten van de snelheidsverandering bij botsingen

5. ZUINIG RIJDEN

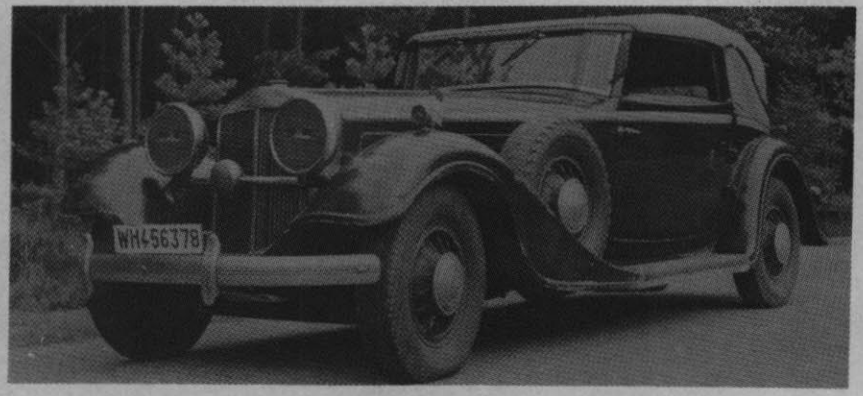
5.1. Waarom zuinig

5.2. Proeven hoe het zit

5.3. Buiten-experimenten

5.4. Binnenexperimenten

In dit hoofdstuk onderzoeken we waarom er energie nodig is als je een voertuig in beweging wilt houden.
Een aantal experimenten onder normale dagelijkse omstandigheden en experimenten waarin we wat "wetenschappelijker" te werk gaan, laten ons zien hoe je via natuurkundige regels greep krijgt op energie en beweging.



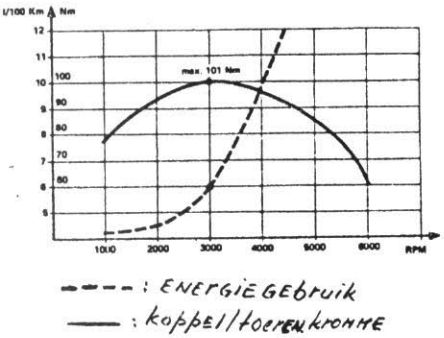
Studies Edited

bespaar / energie

vijf procent moet toch haalbaar zijn! — ja, vast wel, maar hoe dan?

5.1. Waarom zuinig?

In onze hedendaagse wereld bestaat een energieprobleem.
Een onderdeel van dat probleem is het brandstofprobleem; brandstof voor het verkeer op de weg, in het water en door de lucht.
Nu is een kenmerk van dit soort problemen dat er bij het zoeken naar en het beoordelen van mogelijke oplossingen, sprake is van zakelijke feiten, maar ook van - vaak subjectieve - meningen of oordelen.



---- : ENERGIEGEBRUIK
—— : KOPPEL/TOERENKROMME

fig. 5.1.

Zakelijke gegevens over de technische mogelijkheden en de technische beperkingen van bijvoorbeeld motortypen, vorm van auto's, schepen en vliegtuigen zijn te halen uit de bronnen van de natuurkunde en van de techniek.
Hoe mensen het gebruik van hun voertuigen en de consequenties daarvan ervaren is vaak een kwestie van persoonlijke voorkeuren en van persoonlijke beslissing.

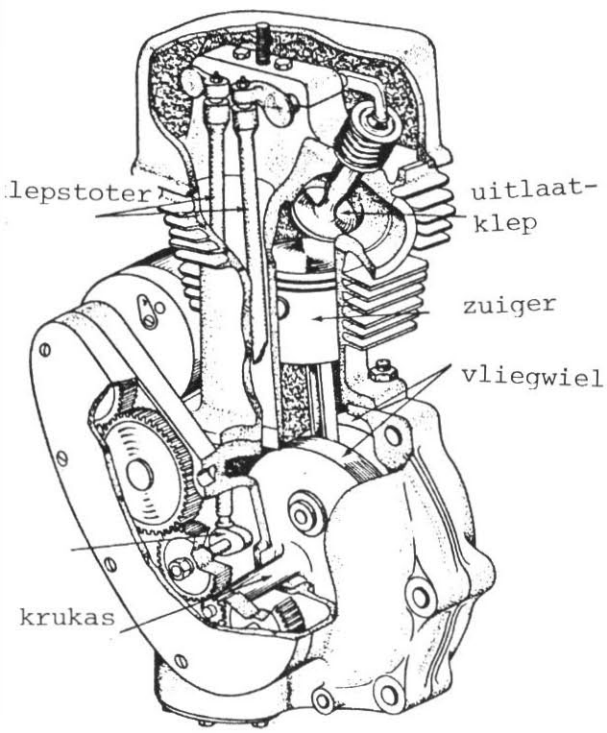
In de volgende lijst staan vragen waarmee je je kennis en je opvattingen nagaat over dit deelthema.
Wat je moet doen is:
- *eerst voor jezelf je reactie op de beweringen scoren;*
- *gedurende enige tijd met anderen praten over een aantal van deze beweringen, dus niet over elkaars feitelijke score;*
- *voor jezelf nu nagaan of je hebt gescoord op basis van feitenkennis of van een persoonlijke opvatting*

	eens	*on-eens*	*weet ik niet*
Nederland bezit genoeg aardgas voor de toekomst			
De wetenschap zal zorgen voor steeds zuiniger auto's			
Voor harder rijden is steeds meer brandstof nodig.			
De luchtweerstand van een voetbal is groter dan die van een rugby-bal			
De bewegingsenergie van een brommer neemt evenredig toe met zijn snelheid			
Benzinegebruik van je bromfiets hangt niet af van de motorafstelling			
Eigen vervoer gebruik mag wettelijk worden beperkt			
Veel en hard remmen kost veel benzine			
Rustig rijden is eerder veilig rijden dan zuinig rijden			
Per afgelegde kilometer gebruikt een auto meer dan 5x zoveel benzine als een bromfiets			
Bromfietsen zijn sterkere luchtvervuilers dan auto's			
Dieselmotoren zijn veel trager dan benzinemotoren.			

fig.5.2

	eens	*on-eens*	*weet ik niet*
Vrachtvervoer gebruikt dieselmotoren vanwege hun zuinig gebruik			
Personenvervoer gebruikt benzinemotoren vanwege hun geringere geluidsproductie			
Snelheidsbeperking betekent besparing van brandstofgebruik			
Snelheidsbeperking beperkt de individuele vrijheid			
De wrijvingsweerstand tussen weg en voertuig is het kleinst bij de trein			
Stoomlocomotieven zijn veel beter dan elektrische treinen.			
Er is meer dan genoeg benzine en gas voor de wereld beschikbaar.			
Verhogen van de olieprijzen door Opec is oneerlijk tegenover de rest van de wereld.			
Grote auto's gebruiken meer benzine dan kleine auto's.			

Een indeling waarin je de vragen uit de lijst ook kunt onderbrengen is in vragen van fysische of van technische aard, vragen van politieke aard en vragen van economische aard.
In dit hoofdstuk gaan we in op de vragen van technische, van fysische aard en op de economische vragen. Daarmee wordt voor jou de mogelijkheid om aan het eind van het thema wat aan te kunnen met de politieke vragen vast groter. Je kunt immers dan je keuzen maken met kennis van de feiten van de wetenschap en de economie.



ééncylinder viertaktmotor

fig. 5.3.

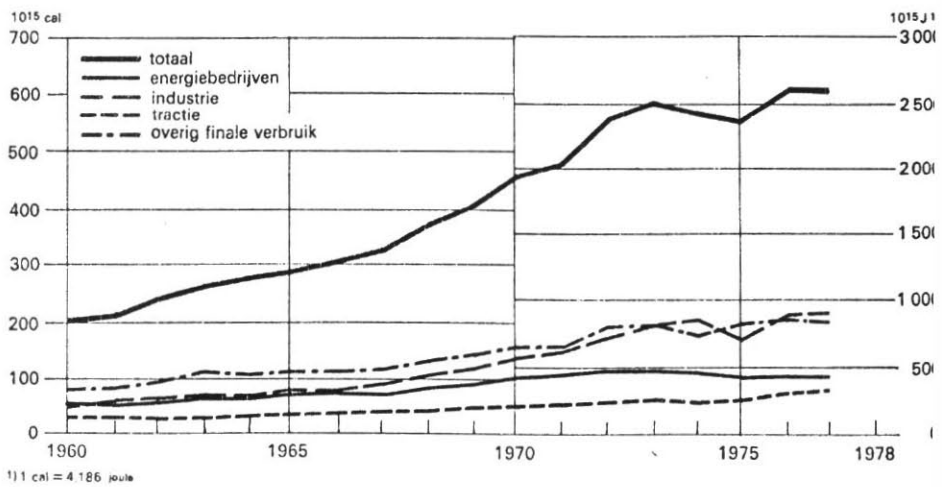


fig. 5.4: **Totaal binnenlands energieverbruik**

5.2. Proeven hoe het zit (experimenten buiten en in de klas)

In de vorige paragraaf is gezegd dat we bij het nadenken over het thema "Zuinig met brandstof in het verkeer" gebruik zouden moeten maken van feiten en kennis uit de fysica en uit de techniek.
Over dat soort kennis gaat het in deze paragraaf.
We doen een aantal experimenten die ons op het spoor van die kennis brengen.

Er zijn twee soorten experimenten.
De ene soort voeren we buiten uit. Proeven met een fiets, een bromfiets en misschien ook met de auto met je vader of moeder.
Waarschijnlijk is het vrij lastig om bij dit soort proeven eenvoudige verbanden te zien tussen de experimentele uitkomsten van een proef.
De andere soort voeren we uit in het lokaal met speciale proefopstellingen. Je zult nu misschien meer moeite hebben om in de bewegende karretjes op de rijbaan, fietsen, bromfietsen of auto's te zien. In modelproeven heb je wel de variabelen beter in de hand; variabelen als de wrijving, de grootte van de werkende krachten enzovoort. Ook is het makkelijker snel variaties van één proef uit te voeren.

De experimenten in vogelvlucht

Buiten-experimenten:

Fietsproeven
- wrijving bij verschillende fietssnelheid
- uitrijden vanaf verschillende snelheid

Bromfietsproeven
- windkracht bij verschillende snelheid
- benzinegebruik, rijsnelheid en rijgedrag

Binnen-experimenten:

Luchtkussenproeven
- arbeid en beweging:
  optrekken
  afremmen

Stromingsonderzoek
- stromingstypen en snelheid
- stromingsweerstand en vormgeving

De werkmethode

Bij het experimenteren onderscheiden we drie fasen:

- de *voorbereiding*, die je voor het doen van de proeven - thuis - bestudeert;
- de *uitvoering*, waarin je resultaten verzamelt die nodig zijn voor
- de *verwerking*, waarbij je antwoord ziet te krijgen op de probleemstellingen.

We geven je voor deze drie onderdelen aparte aanwijzingen en bruikbare informatie. Het lijkt ons verstandig dat je je houdt aan dit fasenschema. Dat kan door je ruim van te voren voor te bereiden op de uitvoering van de proeven en tijdens het experimenteren te zorgen dat je bij de verwerking over de nodige gegevens beschikt, doordat je weet op welke vragen het antwoord moet komen.

5.3. Buiten-experimenten

5.3.1. De fiets-proeven

Voorbereiding:
Denk na over de volgende vragen en geef je mening door middel van een kruisje in de tabel

	eens	on-eens	weet ik niet
- Als je fietst moet je je alleen bij het versnellen en vertragen inspannen			
- Alleen, met constante snelheid fietsen is makkelijker dan met iemand achterop			
- Bij windstil weer is je luchtweerstand onafhankelijk van je snelheid			
- De rolweerstand van je fiets is kleiner als je banden harder zijn opgepompt			
- Wielrenners die aanzetten voor een sprint pakken het stuur in het midden vast			
- De snelheid waarmee je op de fiets een heuvel afgaat, is groter als je zwaarder bent			
- Omdat een toerfiets zwaarder is dan een race-fiets, loopt ie zwaarder			

fig. 5.5

ZWAARDER?

Schrijf de vragen waar je het antwoord niet op hebt kunnen geven op en probeer een proef te bedenken die je zou helpen om het antwoord te vinden.

fig. 5.6

UITRIJDEN OF UIT RIJDEN?

Door de fietsproef te doen krijg je een goede indruk van de energie die door een fietser wordt opgebracht tijdens het fietsen.
Je merkt ook waar die energie zoal in gaat zitten. Niet heel nauwkeurig zodat je je "energierekening" kunt kontroleren, maar wel globaal.

In het eerste deel van de proef bepaal je hoe groot de rolwrijving van je fiets is onder verschillende omstandigheden.
Daar kom je nog meer van te weten door vanaf verschillende snelheden uit te rijden en te kijken hoe ver je zonder verder trappen komt.

In het tweede deel van de proef krijg je een indruk over de samenhang tussen de luchtweerstand en je snelheid.
Je gebruikt daarbij een eenvoudige windkrachtmeter (figuur 5.7.) en een snelheidsmeter. Als je het goed voorbereidt kun je er best in slagen zoveel metingen te verzamelen dat je in een diagram kunt laten zien hoe de windkracht, gemeten met de windkrachtmeter, verandert in een snelheidsgebied van 0 tot 20 km/uur.

Bekijk tenslotte de opdrachten bij de fietsproef en overleg over een verdeling van de groepsleden over de verschillende taken.

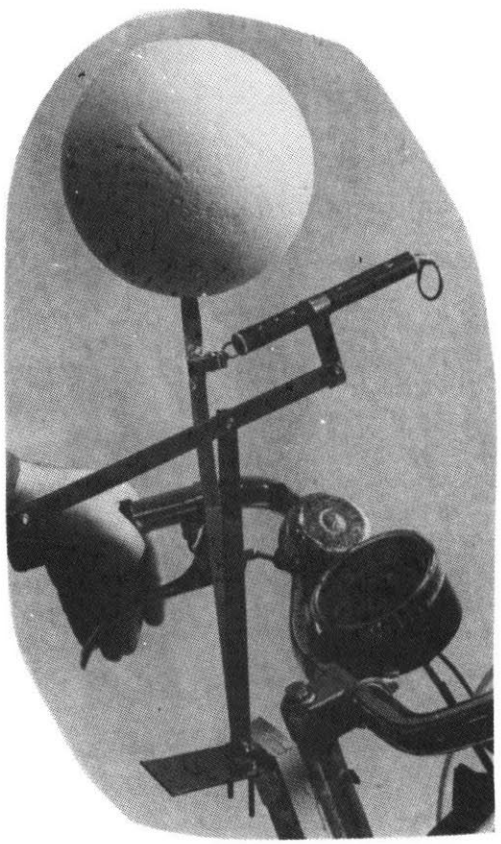


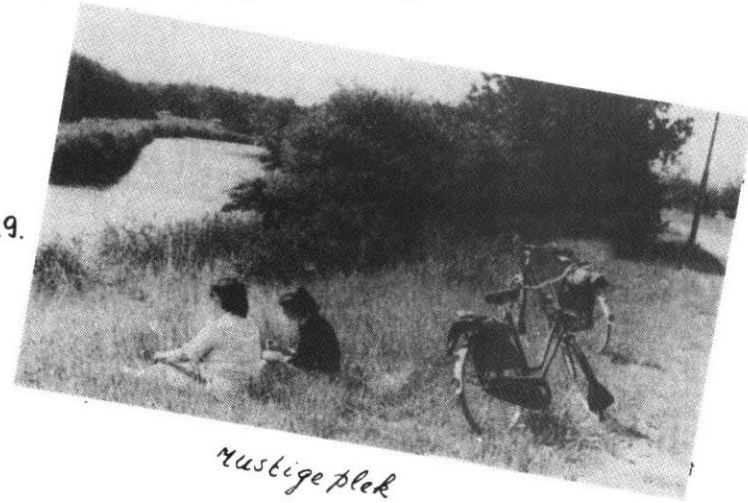
fig. 5.7: windkrachtmeter

Uitvoering van de fietsproeven

Experimenteren met de weerstand bij het fietsen:

Bij de proeven heb je twee fietsen nodig, één waarmee getrokken wordt, voorzien van een snelheidsmeter en één die via een krachtmeter wordt voortgetrokken. De fietser die wordt getrokken leest de trekkracht af. Vanzelfsprekend heb je een *rustige plek* nodig waar je zonder op verkeer te moeten letten, kunt eksperimenteren.

fig. 5.9.



o *In figuur 5.10. is een diagram getekend waar op de assen zijn uitgezet de op de getrokken fietser uitgeoefende trekkracht en zijn snelheid.*
Geef in dit diagram de uitkomst van je proeven als een grafiek die het verloop van de trekkracht op de fietser met zijn snelheid weergeeft.

Overleg welke metingen je zult doen en maak een taakverdeling voor de groepsleden.
Voer de metingen uit en schrijf de resultaten op een overzichtelijke manier op.
Verwerk je resultaten tot de gevraagde grafiek in het diagram in figuur

N.B. Geef de meetpunten duidelijk aan in de grafiek.

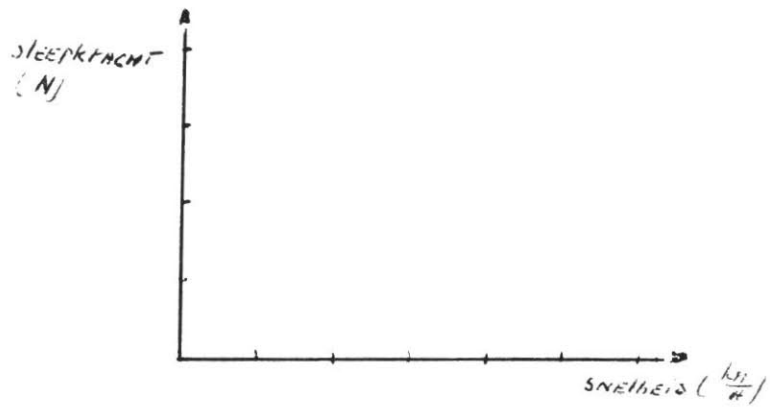


fig. 5.10 : Sleepkracht als funktie van de snelheid

Uitrijproeven met de fiets

Bij de proeven heb je een fiets nodig die is voorzien van een snelheidsmeter. Zoek een *rustige plek* op waar je over een afstand van 50 meter recht kunt uitrijden zonder te veel op verkeer te moeten letten of tussen gebouwen door te moeten.

o *In het diagram in figuur 5.12. zijn op de assen uitgezet de beginsnelheid bij het uitrijden en de afstand waarover de fietser vanaf die snelheid is uitgereden.*
De uitkomsten van je proeven moeten je in staat stellen in het diagram een grafiek te tekenen hoe de uitrijafstand verandert met de beginsnelheid.
Overleg welke metingen je wilt doen en maak een taakverdeling. Door wat vóór te eksperimenteren kom je op het spoor van problemen die zich tijdens de werkelijke proeven, als je gaat meten, zullen voordoen. Bereid je daar in het overleg op voor.
Voer de eksperimenten uit en leg de resultaten op overzichtelijke wijze vast.
Verwerk je resultaten tot de gevraagde grafiek in het diagram in figuur

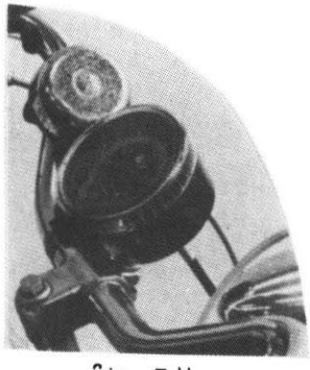


fig. 5.11.
Snelheidsmeter

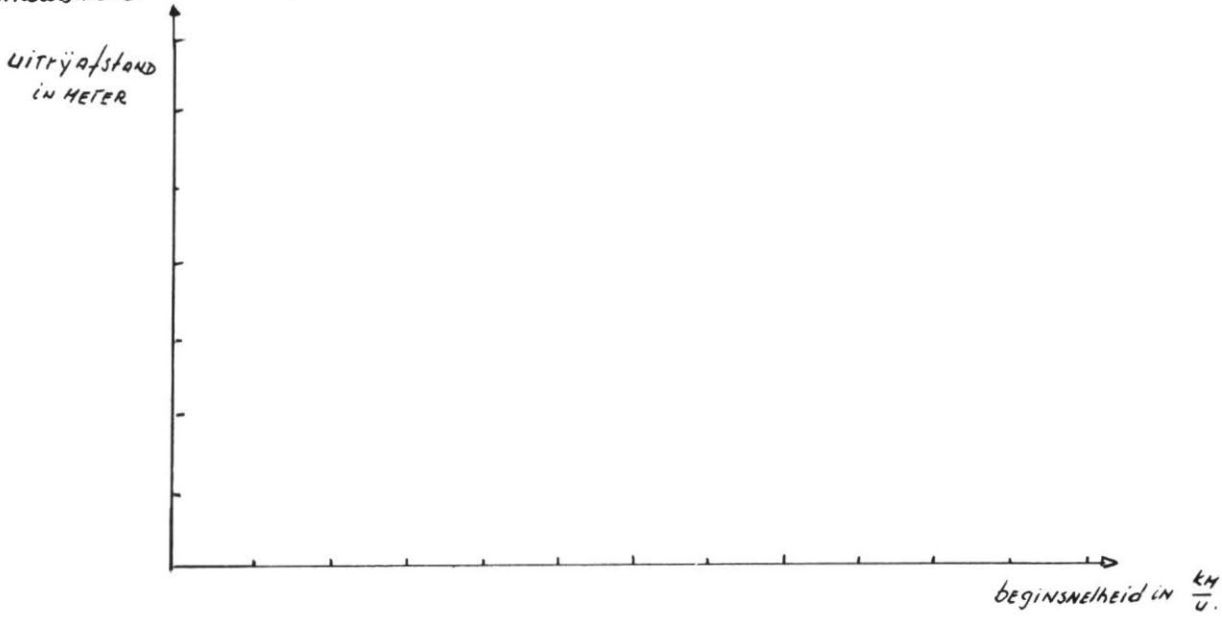


fig. 5.12 : uitrij-afstand als funktie van de beginsnelheid.

Luchtweerstand en fietssnelheid

Voor de proeven heb je een fiets nodig voorzien van een snelheidsmeter en een windkrachtmeter* die op het stuur zijn gemonteerd. Zie figuur 5.13.
Om rustig en veilig te kunnen eksperimenteren heb je een plek nodig waar je over een afstand van 100 meter kunt werken zonder te moeten rekenen met verkeer of tussen gebouwen door te moeten.

o *De windkracht die via de bol van de windkrachtmeter wordt gemeten, is een maat voor de luchtweerstand die de fietser moet overwinnen.*
Overleg welke metingen je wilt doen om antwoord te kunnen geven op de vragen die staan vermeld in de tabel
Voer de eksperimenten uit en leg de resultaten overzichtelijk vast. Verwerk je resultaten in je antwoord op de vragen.

VRAGEN:

Hoe verloopt globaal de windkracht op de bol in het snelheidstraject tussen 0 en 10 km/uur?

Hoe groot schat je de windkracht op de bol, bij een snelheid van 35 km/uur?

Hoe bepaal je zo nauwkeurig mogelijk de windkracht op de bol bij een bepaalde snelheid?

Waarom moet de windkrachtmeter behoorlijk gedempt zijn en hoe is dat gerealiseerd?

Hoe groot schat je de windkracht op de fietser bij 10 km/uur?

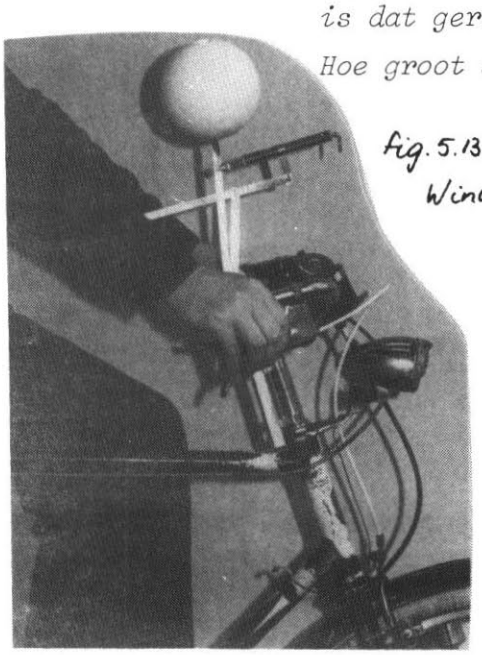


fig. 5.13 : Windkrachtmeter

Wibo in de Volkskrant

* Bij het woord windkrachtmeter denk je misschien aan de aanduiding voor de windsnelheid bij het weerbericht. Bijvoorbeeld in een waarschuwing voor storm met windkracht 8. Daarmee wordt dan bedoeld 8 op de schaal van Beaufort, dat wil zeggen 62-74 km/uur windsnelheid.
Met de windkrachtmeter in deze proeven meten we de kracht van de wind op de bol van de meter. We vergelijken die met de veerkracht van de dynamometer.

VERWERKING: Lees de onderstaande tekst kritisch door. Beantwoord de vragen of geef aan waarom je ze niet kunt beantwoorden.

In de fietsproeven is gebleken dat
- er een voortdurende aandrijving nodig is om je fiets op snelheid te houden;
- de bewegingsenergie van een fiets (en de fietser) het mogelijk maakt de wrijvingskrachten over een zekere uitrijafstand te overwinnen;
- de luchtweerstand die een voorwerp ondervindt samenhangt met zijn snelheid.

Waarom in een thema "Zuinig met brandstof" nu deze fietsproeven.
In hoofdstuk 7 komen de regels aan bod waarmee in de natuurkunde het gedrag van bewegende voorwerpen wordt beschreven.
Vanuit die kennis zou je van de sleepproef moeten zeggen dat we zijn nagegaan dat er kennelijk sprake is van "verborgen" krachten, ook tijdens het fietsen met konstante snelheid, waar tegenover aandrijvende krachten moeten staan, wil de fiets op snelheid blijven. Die "verborgen" krachten zijn niet verborgen in de zin van niet-aanwezig of onzichtbaar maar blijken uit het feit dat de fiets snelheid verliest als je ophoudt met slepen of met trappen; snelheidsverlagende krachten of wrijvingskrachten.
Het gaat om twee soorten krachten:
- kontaktwrijving, tussen langs elkaar bewegende onderdelen van de fiets en tussen de banden en de weg;
- de luchtweerstand die fiets en fietser ondervinden.

We kijken eerst naar de kontaktwrijving:
- hoe verandert globaal de kontaktwrijving met de fietssnelheid?
- wat verandert er in de kontaktwrijving als je iemand achterop neemt en hoe merk je dat?

Dat het verloop van de luchtweerstand met de snelheid niet zo simpel is blijkt uit de proeven met de windkrachtmeter.
- op welke manieren kun je bij het fietsen de luchtweerstand beperken?

Je kunt fysisch gesproken nog anders tegen de fietsproeven aan kijken. Namelijk door te letten op het energie-aspect.
De wrijvingsproeven tonen aan dat het mogelijk is gedurende een afstand de wrijving te overwinnen, maar dan wel ten koste van de snelheid. De bewegingsenergie van de fietser stelt hem in staat zich over een afstand te verplaatsen tegen de werking van de wrijvingskrachten in.

- Hoe zou de uitrijafstand veranderen als je met iemand achterop uitrijdt, vergeleken met de situatie dat je alleen op de fiets zit en uitrijdt?
- Hoe is de samenhang tussen de lengte van de uitrijafstand en de grootte van de snelheid van waaraf je uitrijdt?

TENSLOTTE:
Schrijf de vragen op die bij je zijn opgekomen tijdens:
- het eksperimenteren tijdens de fietsproeven;
- het doorlezen van de bovenstaande tekst.

5.3.2. De bromfietsproeven

Voorbereiding
We doen vervolgens proeven met een bromfiets, om twee redenen.
Uit de fietsproeven heb je een indruk gekregen hoe de luchtweerstand die de fietser ondervindt, verandert met zijn snelheid.
De vraag naar de grootte van de windkracht bij 35 km/uur heb je waarschijnlijk beantwoord door het verloop van je grafiek tussen 10 en 20 km/uur te extrapoleren naar 35 km/uur omdat je bij die snelheid niet hebt kunnen meten.
Eén reden voor de bromfietsproeven is dus dat we gegevens willen voor het snelheidstraject tussen 20 en 40 km/uur.
Je kunt dan bijvoorbeeld je "gok" eens controleren en je uitspraken baseren op basis van gegevens over een groter meetgebied.

Het thema van dit hoofdstuk is "Zuinig met brandstof in het verkeer".
Bij de fietsproeven was de fietser de krachtbron, eigenlijk de energiebron. Het brandstofgebruik bepalen van een fietser is nogal moeilijk en meestal ook niet van belang.
Bij de bromfiets ligt dat duidelijk anders.
De energie die nodig is om de bromfietser op snelheid te houden wordt immers geleverd door de benzine. Het verbruik is dus meetbaar, de brandstofvoorraad is niet onbeperkt voorradig. De tweede reden voor de bromfietsproeven is dan ook dat we willen weten van welke factoren het brandstofgebruik afhangt.

o *Geef aan wat je mening is over de volgende beweringen door een kruisje te zetten in één van de drie kolommen achter de vragen.*

	eens	*on-eens*	*weet ik niet*
De windkracht die een voertuig ondervindt neemt altijd evenredig toe met zijn snelheid			
De uitrijafstand is bij een bromfiets groter dan voor een fiets bij dezelfde snelheid			
Het gemiddelde bezinegebruik van een bromfiets is meer dan 1 liter op 20 km			
Het gemiddelde benzineverbruik van een auto is meer dan 2 liter op 20 km			
Het gemiddelde brandstofverbruik van een schip is meer dan 100 liter op 20 km			
Het gemiddelde brandstofverbruik van een vliegtuig is meer dan 1000 liter op 20 km			
Bij een goed afgestelde brommer maakt je rijstijl niet uit voor het brandstofgebruik.			

Bekijk de opdrachten bij de uitvoering van de bromfietsproeven.

Uitvoering

Experimenten met de luchtweerstand bij bromfietsen

Voor deze proeven heb je een bromfiets nodig voorzien van een snelheidsmeter en een windkrachtmeter. In figuur is de windkrachtmeter afgebeeld.
Om te voorkomen dat je tijdens het rijden ook nog op de windkrachtmeter moet letten is gezorgd dat je de maximale uitslag bij een bepaalde rijsnelheid naderhand kunt aflezen. Je mag natuurlijk ook iemand achterop meenemen als waarnemer van de windkracht tijdens je proeven.
Zorg er verder voor dat je beschikt over een *veilige plek* tijdens het eksperimenteren. Veilig wat betreft verkeer en eventuele obstakels.

Opdrachten:

In figuur 5.14 is een diagram getekend waarin op de assen de luchtweerstand en de rijsnelheid zijn aangegeven.

Voer zodanige metingen uit dat je in het bereikbare snelheidsgebied van je brommer globaal kunt aangeven hoe de luchtweerstand die de bol van de windkrachtmeter ondervindt verandert met de snelheid.

Vergelijk voor het overeenkomstige snelheidsgebied deze meetresultaten met die uit de fietsproeven.

Meet zo mogelijk - bijvoorbeeld met behulp van een auto - ook in een snelheidsgebied boven 40 km/uur.

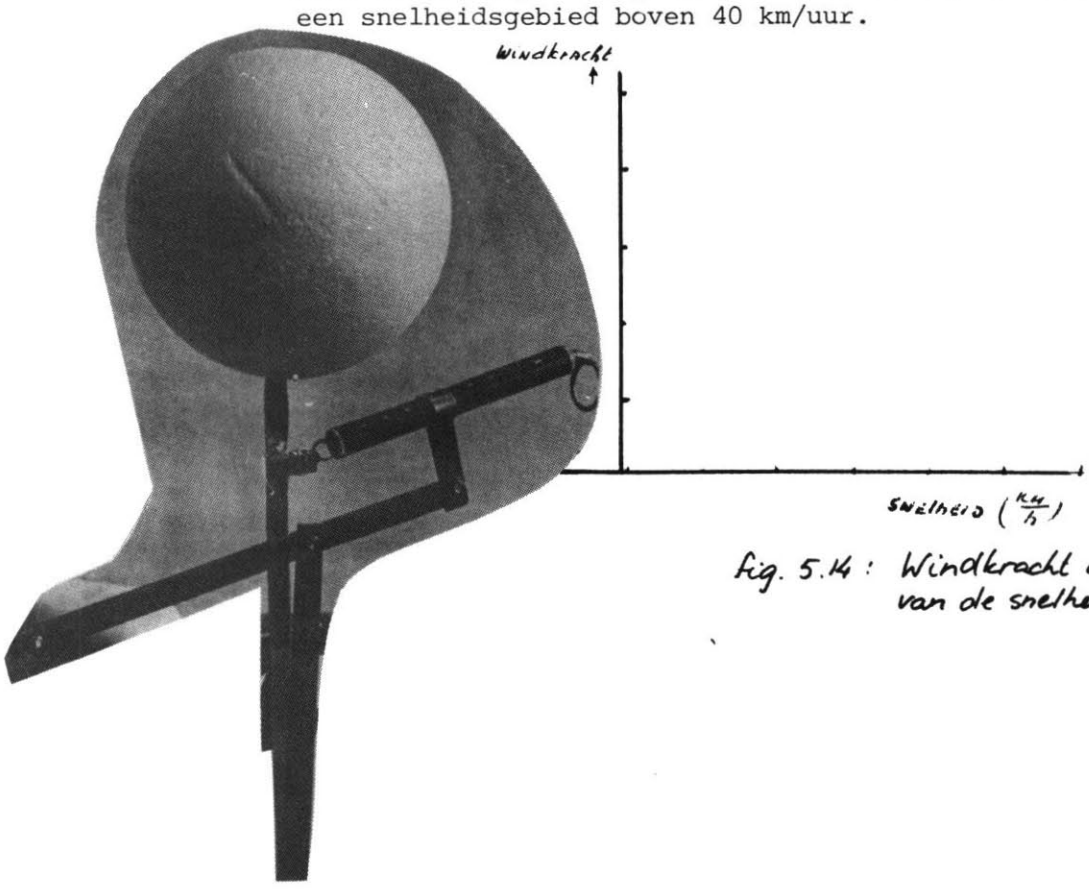


fig. 5.14 : Windkracht als functie van de snelheid

Het brandstofverbruik van een bromfiets

In figuur 5.15 zie je hoe je op een eenvoudige manier er voor kunt zorgen dat de hoeveelheid brandstof die de brommer gebruikt, is te meten.
Door deze voorziening aan te brengen beïnvloed je de motor niet; het is ook een veilige "ingreep".
Je kunt het brandstofverbruik uitgebreid nagaan als je beschikt over verschillende trajecten zoals:

- een traject over een rechte asfaltweg over ± 1 km;
- een "rondje" van ± 2 km waar je met verschillende snelheid kunt rijden;
- een redelijk lang traject, bijvoorbeeld van school naar huis.

Bedenk hoe je te werk moet gaan om via experimenten antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- *hoe groot is bij een viertal snelheden het benzineverbruik?*
- *hoeveel cm3 benzine verbruikt een brommer meer als je een traject zo snel mogelijk aflegt, vergeleken met het rustig afleggen van hetzelfde traject? Hoe is de invloed van de lengte van het traject op de uitkomsten?*
- *kost het "spelen" met je gashandle relatief nou wel zo veel meer benzine?*
- *zijn er aanzienlijke verschillen in het benzinegebruik tussen de bromfietsmerken die in jullie klas worden bereden?*

Je hebt 1 lesuur voor de bromfietsproeven ter beschikking.
Maak een korte beschrijving van de eksperimenten die je in dat uur wilt doen en overleg met je leraar. Voer de experimenten uit.

OPDRACHTEN:

Vermeld je antwoorden op de vragen evenals de meetresultaten, waar je ze op baseert, in een schriftelijk verslag van maksimaal 2 kantjes.

figuur 5.15: Benzineverbruiksmeter aan een bromfiets

VERWERKING: hierna volgen gedeelten uit een vergelijkend onderzoek naar het benzinegebruik van auto's. Bestudeer de tekst en beantwoord de vragen die daarna worden gesteld.

Acht zuinige auto's op verbruik beoordeeld

Voorwaarde voor zuiniger rijden is een juiste dosering van het gas en dus een goede bediening van het gaspedaal. De konstruktie van het gaspedaal en het daarmee verbonden mechanisme maakt dat echter nogal moeilijk. Als bij de onderzochte auto's het gaspedaal voor de helft wordt ingedrukt, wordt niet de helft, maar reeds 61 tot 86% van het volle motorvermogen geleverd. Als het pedaal 60% wordt ingedrukt,

Ook in de auto's die als 'zuinig' worden aangeboden, zijn technische mogelijkheden om de besparing op brandstof te vereenvoudigen onbenut gelaten.

Toch is er met zuinige auto's en een zuinige rijstijl ook nu reeds een belangrijke besparing op het benzineverbruik mogelijk. Dat blijkt uit het onderzoek dat wij hebben uitgevoerd naar acht zuinige auto's van zeven verschillende merken.

OVER ZUINIGE AUTO'S

Brandstofverbruik

Op de snelweg en in de stad. Wij hebben om te beginnen het brandstofverbruik van de auto's gemeten op de snelweg bij snelheden van 90 en 120 km/h en tijdens een stadsrit. Daarbij volgden wij het standaardinformatiesysteem, waarvoor de Economische Commissie voor Europa van de VN indertijd een richtlijn heeft opgesteld (ECE-norm). Dit systeem wordt reeds in Frankrijk en Engeland toegepast. Omdat wij het brandstofverbruik slechts aan één auto hebben gemeten, zijn er soms kleine verschillen met de opgave van de fabriek of de cijfers van de Franse overheid.

Uit onze metingen bleek dat per kilometer zo'n 25 à 40% brandstof wordt bespaard als met een konstante snelheid van 90 km/h in plaats van 120 km/h wordt gereden. Bij deze lagere snelheid reed de VW Golf Diesel het zuinigst, namelijk 1:20,2, gevolgd door de Renault 5 TL met 1:19,4.

De Toyota bleek in de 5-versnellingsuitvoering zuiniger te rijden dan in de 4-versnellingsuitvoering. Ook de Daihatsu en de Honda sprongen in de vijfde versnelling zuiniger met de brandstof om dan in de vierde versnelling, evenals de Mitsubishi in de 'economy'stand vergeleken met de 'power'stand.

Het verschil in brandstofverbruik tussen de vierde en de vijfde versnelling bedroeg bij 90 km/h zo'n 5 à 7% en bij 120 km/h 2 tot 4%.

Acht auto's

Wij kozen voor deze test auto's waarvoor in de advertenties sterk de nadruk op de zuinigheid wordt gelegd, auto's die bij onderzoeken van anderen zuinig bleken te zijn, en auto's die technisch op een zuiniger verbruik zijn gemaakt (bijvoorbeeld door de keuze van motorvermogen, aantal cilinders, overbrengingsverhoudingen, aantal versnellingen, wagengewicht en afmetingen).

OVER ZUINIGE RIJSTIJL

Zuinige en niet-zuinige rit. Vervolgens werd het verbruik gemeten tijdens nauwkeurig bepaalde rondritten langs een vaste route met veertig vaste stopplaatsen. Bij de zuinige ritten bleven de rijders 10% onder de toegestane maximale snelheden. Na de stops werd zeer voorzichtig geaccelereerd, waarbij steeds zo vlot mogelijk naar een hogere versnelling werd geschakeld en het gaspedaal slechts met het toenemen van de snelheid geleidelijk wat dieper werd ingedrukt. De gemiddelde snelheid was daarbij toch nog altijd 62 km/h; niet echt een slakkegangetje dus. Bij de niet-zuinige ritten werd hetzelfde trajekt bereden met snelheden die 10% boven de plaatselijk toegestane lagen. De gemiddelde snelheid steeg tot 75 km/h.

Het brandstofverbruik bij de zuinige ritten bleek – zoals in de tabel is vermeld – in de buurt te liggen van dat bij 90 km/h konstante snelheid en dat van de niet-zuinige ritten bij dat van 120 km/h konstante snelheid en het verbruik van een stadsrit volgens de ECE-norm. Minder zuinig kan het nauwelijks, of men zou uitsluitend in de stad moeten rijden.

Tijdens de zuinige ritten werd gemiddeld 25% minder brandstof verbruikt dan tijdens de niet-zuinige. Daar stond slechts een 17% lagere gemiddelde snelheid tegenover.

Nu vonden deze ritten plaats over een trajekt, waarop nauwelijks sprake was van beïnvloeding door het overige verkeer. Tijdens aanvullende ritten, die wij uitvoerden langs een vast stads- en buitenwegtrajekt in normaal verkeer, bleek het tijdverlies veel geringer. De snelheid lag bij de zuinige ritten gemiddeld 8% lager, terwijl de besparing op het brandstofverbruik beperkt bleef tot 16%.

Zuinig rijden blijkt met de onderzochte auto's dus zeker lonend. Het is echter nogal inspannend en vraagt veel koncentratie. Men moet anticiperen op komende verkeerssituaties, vooral als het wat drukker op de weg is. En het vereist welhaast stalen spieren in de rechtervoet om het gaspedaal goed te bedienen.

Met snelle en langzame start. Uit de laatste proef is gebleken, dat met vol gas wegrijden veel brandstof kost. Zoals de tabel laat zien, kan dat wel tweemaal zoveel brandstof vereisen als wegrijden met 50% van het motorvermogen. Daar staat natuurlijk wel een in de praktijk te verwaarlozen tijdwinst tegenover. Met vol gas werd vanuit stilstand een kilometer in 37,5 tot 46 sekonden overbrugd; met 50% van het vermogen in 50 tot 65 sekonden. De Renault deed er in het laatste geval nog langer over, maar verbruikte dan ook een stuk minder (1:19,2). De Mitsubishi verbruikte in de 'economy'stand bij vol gas accelereren ongeveer hetzelfde als in de 'power'stand, maar bij 50% accelereren duidelijk minder.

(uit: Consumentengids sept '80)

Vergelijk in cijfers:

merk en type	verkoopprijs	gewicht rijklaar	cilinderinhoud	aantal versnellingen	handchoke	kontrolelampje choke	soort brandstof	brandstofverbruik bij een konstante snelheid van 90 km/h	120 km/h	stadsrit	accelereren vanuit stilstand over 1 km zuinige rit	niet-zuinige rit	vol gas	met 50% vermogen
	f	kg	ml					km/l	km/l	km/l	km/l	km/l	km/l	km/l
CITROEN Visa Spécial	11 500	735	652	4	ja	ja	super	17,4	13,6	12,5	17,2	13,5	8,4	12,7
DAIHATSU Charade XTE	13 475	690	993	5	ja	neen	super	18,4	11,5	14,6	19,5	13,9	6,8	12,8
HONDA Civic de Luxe	12 995	735	1335	5	ja	ja	normaal	17,4	12,8	10,4	16,2	12,0	5,6	9,0
MITSUBISHI Colt GLX	13 595	820	1410	2 x 4	neen	n.v.t.	normaal	16,9	12,1	13,0	17,9	12,6	5,1	10,9
RENAULT 5 TL	13 590	765	1108	4	ja	ja	super	19,4	14,1	14,5	18,6	14,3	8,5	19,2
TOYOTA Starlet 1,2 DL	12 995	725	1166	4	ja	neen	normaal	16,3	11,9	11,8	16,5	12,5	6,1	10,3
TOYOTA Starlet 1,2 DL	13 495	744	1166	5	ja	neen	normaal	17,2	12,2	11,8	17,1	12,5	6,1	10,6
VW Golf D	18 360	810	1471	4	n.v.t.	n.v.t.	diesel	20,2	13,5	15,6	20,8	16,2	7,4	13,3

VRAGEN:

- noem twee faktoren die het benzinegebruik van iedere auto beinvloeden.
- iemand rijdt over een afstand van 50 km met één van de auto's uit deze test.
  Hoeveel bespaart hij in dat ritje minstens volgens de gegevens uit de tekst door konstant 90 te rijden in plaats van 120.
  Hoe groot is de besparing bij een literprijs van *f* 1,60 voor een Renault 5TL?
- in de tekst worden verschillende manieren genoemd om het brandstofgebruik te beperken. Noem er minstens twee.
- in de tekst worden twee opmerkingen gemaakt over de tijdswinst die geboekt wordt door met een gemiddelde hogere snelheid te rijden met een brommer. Welke?
- hoe makkelijk lijkt het je om een gaspedaal te konstrueren dat niet de bezwaren heeft die in de tekst werden genoemd. Hoe zou je je mening willen verifiëren?

5.4. Binnenexperimenten

In paragraaf 5.3. heb je geëxperimenteerd met fietsen en bromfietsen onder praktijkomstandigheden. Je hebt ontdekt dat het lang niet meevalt om dan het verband tussen twee variabelen, bijvoorbeeld tussen windkracht en snelheid te bepalen.
Dat komt doordat ook andere variabelen, zoals de windsnelheid of de aard van het wegoppervlak, tijdens de metingen niet "netjes" constant blijven en het "eenvoudige" verband tussen windkracht en snelheid camoufleren.

In deze paragraaf doen we proeven over "hetzelfde" stukje natuurkunde maar nu onder omstandigheden waarbij we de variabelen beter in de hand kunnen houden. In deze proeven - we noemen ze gemakshalve maar modelproeven - onderzoeken we het verband tussen twee variabelen, terwijl we zoveel mogelijk de andere variabelen die een rol spelen in de situatie, konstant houden.

Grofweg zijn de modelproeven in te delen in
- experimenten met de luchtkussenbaan
- stromingsexperimenten

5.4.1. Het verband tussen arbeid en energie van beweging

Voorbereiding

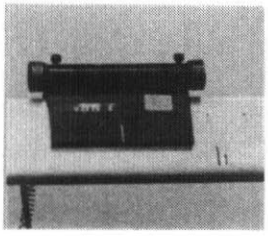
Bij de fietsproeven is gebleken dat voor het fietsen met konstante snelheid - ook - een aandrijvende kracht nodig is.
In hoofdstuk 7 vind je toegelicht dat in de natuurkunde in zo'n geval wordt gezegd dat er arbeid wordt verricht. Over een zekere afstand werkt een kracht, de aandrijfkracht van de fietser; het produkt van die kracht en de afgelegde afstand is de hoeveelheid arbeid. Waarom moet de fietser arbeid verrichten?
Da's niet moeilijk te raden. Op de fiets en de fietser werken wrijvingskrachten.
De fietser moet arbeid verrichten tegen de wrijving in.

Arbeid = Kracht × Weg

Ook bij uitrijproeven speelt de wrijving een rol. Immers de fietser legt nadat hij ophoudt met trappen slechts een bepaalde afstand - de uitrijafstand - af.
Vanaf het moment dat hij ophoudt met trappen, neemt zijn snelheid af tot nul tengevolge van de remmende invloed van de wrijving.
Daarmee is de kous niet af.
Immers de wrijving werkt op fiets en fietser tijdens het uitrijden.
Er moet dus arbeid verricht worden tegen de wrijving in tijdens het uitrijden.
Dat probleem lossen we op door te stellen dat de fietser - en zijn fiets - arbeid kunnen verrichten zolang zij snelheid hebben. Fietser en fiets bezitten bewegingsenergie.

Welke grootheden zullen naar jouw idee bepalend zijn voor de bewegingsenergie van een voorwerp?

Bij het rijden met konstante snelheid verricht de fietser arbeid, tegen de wrijving in. Wat voor gevolg heeft het dan als de fietser besluit meer arbeid te gaan verrichten - harder te duwen op de pedalen - dan nodig is om op snelheid te blijven.
Kortom, hoe hangen de arbeid die de fietser verricht en zijn bewegingsenergie met elkaar samen.
Dat onderzoeken we in de modelproeven. Model omdat we zoveel mogelijk de storende invloed van de wrijving uitsluiten, waardoor de meetsituatie veel eenvoudiger is dan in het geval van de buiteneksperimenten.
Door gebruik te maken van een voorwerp dat op een laagje lucht zweeft en daardoor vrijwel wrijvingsloos verplaatst kan worden, kunnen we wat makkelijker de relaties tussen aandrijving en snelheidsverandering bepalen.
Ook het feit dat we de proef in het lokaal doen draagt bij tot het vereenvoudigen van de meetsituatie vergeleken met die we buiten de school hadden. In welk opzicht?



drijven op lucht...
fig. 5.16

Bij de proeven met de luchtkussenbaan gaan we het verband onderzoeken tussen aandrijvende kracht en energieverandering van het aangedreven voorwerp door het eerste over een afstand via een konstante kracht te versnellen en de snelheidsverandering te meten.

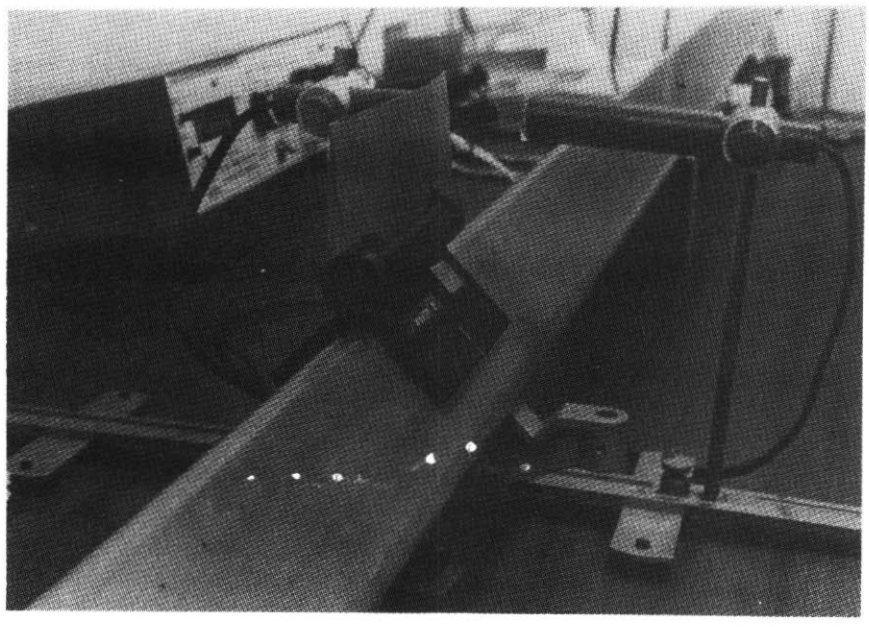
Daarna onderzoeken we over welke afstand het bewegende wagentje tegen een konstante remkracht in kan bewegen; een soort ideale uitrijproef dus.

Behalve een luchtkussenbaan of een andere opstelling met heel licht lopende wagentjes heb je een nauwkeurige tijdmeter nodig. Zorg er voor dat je ook met wagentjes van verschillende massa kunt werken. Bij voorkeur moet je de snelheid van het wagentje aan het begin en aan het eind van de baan nauwkeurig via tijdmetingen kunnen bepalen. Figuur 5.17. toont de opstelling.

o *Hoe vindt de snelheidsmeting plaats?*

In de ene proef slepen we het wagentje op door middel van een vallend gewichtje. In de andere proef laten we het bewegende wagentje in zijn vaart een gewichtje ophijsen via een katrol. Figuur toont de opstelling voor de uitrijproef.

o *Hoe komt het wagentje aan een steeds gelijke beginsnelheid?*



Een luchtkussenbaan is een buis waarin lucht geblazen wordt. Door diverse gaatjes gaat de lucht naar buiten. Op deze lucht drijft een slee, die vrijwel wrijvingsloos beweegt.

figuur 5.17.
bewegen onder wrijvingsarme omstandigheden.

Experimenteren met de luchtkussenbaan

VOORBEREIDING:
In figuur 5.16. zie je een voertuig afgebeeld die een technische "oplossing" is voor het wrijvingsprobleem dat we al eerder in dit hoofdstuk zijn tegengekomen.

- *Waarom is bij de trein de kontaktwrijving veel geringer dan bij de auto?*
- *Van welke eigenschappen van lucht maakt men gebruik in de hoovercraft? Waarom is dit vaartuig in principe een amfibievoertuig?*
- *Waarom adviseert een bandenfabrikant een verschillende bandenspanning voor ieder type autoband?*

Bij het eksperimenteren met de fiets en de bromfiets is gebleken dat voor het op snelheid blijven een voortdurende inspanning nodig is. Als die inspanning niet wordt geleverd, bij het uitrijden dus, blijken we ons over enige afstand te kunnen verplaatsen. Weliswaar met steeds kleiner wordende snelheid. De beweging van een voertuig over de grond en door de lucht wordt kennelijk "van nature" afgeremd; er is wrijving.
In de volgende proeven gaan we onderzoeken welke samenhang er is tussen de aandrijvende krachten die op een voorwerp werken en zijn snelheidstoestand. Om dat nauwkeurig te kunnen doen nemen we twee maatregelen:

- we voorkomen zoveel mogelijk het optreden van wrijving;
- we bepalen zo nauwkeurig mogelijk de veranderingen van de grootheden waartussen we een verband zoeken.

In natuurkundige bewoordingen:
Een bewegend voorwerp heeft energie van beweging. De bewegingsenergie krijgt het door de verrichtte arbeid (de inspanning) van de aandrijvende krachten.
In de modelproef onderzoeken we welk verband er is tussen de arbeid die de aandrijvende krachten verrichten en de toename van de bewegingsenergie van het voorwerp waar ze op werken.

Ook het afremmen van een bewegend voorwerp kost energie. In de tweede helft van de proef zien we het verband tussen de arbeid van een afremmende kracht en de afname van de bewegingsenergie van het bewegende voorwerp waar die remkracht op werkt.

UITVOERING:
Optrekken op de luchtkussenbaan
De meetopstelling bestaat uit: een luchtkussenbaan (figuur 5.18.)
twee wagentjes van verschillende massa voorzien van een strook karton ten behoeve van de tijdopnemer
een elektronische klok waarop twee tijdopnemers zijn aangesloten
een aandrijvend gewichtje dat via een touw en een katrol het wagentje versnelt.

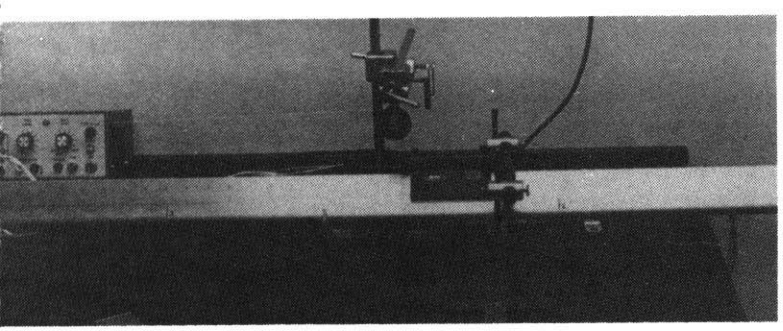


fig. 5.18

Tijdens het optrekken over een gekozen trajekt wordt de snelheidstoename van het wagentje gemeten. Dat gebeurt door aan het begin en aan het eind van het trajekt de passeertijd van de kartonstrook langs een tijdopnemer, te meten.

OPDRACHTEN:

- *Ga na voor twee wagentjes hoe groot de snelheidstoename is bij aandrijvende gewichten van 10, respectievelijk 15 gram*
- *Ga na voor twee wagentjes hoe groot de snelheidstoename is voor aansleeptrajecten van 0,50 respectievelijk 1,00 meter.*
- *Vul je meetresultaten in, in de tabel in figuur 5.19.*
- *Schrijf in korte zinnen op welke je konklusies uit de proeven zijn.*

massa wagen m (kg)	massa aandrijvend gew. M (kg)	lengte aansleep traject (in meter)	passeer tijd opnemer 1 Δt_a(s)	passeer tijd opnemer 2 Δt_b(s)	snelheid t.p.v. opnemer 1 V_a($\frac{m}{s}$)	snelheid t.p.v. opnemer 2 V_b($\frac{m}{s}$)	snelheidstoename ΔV($\frac{m}{s}$)

figuur 5.19: Optrekken op de luchtkussenbaan

Afremmen op de luchtkussenbaan

We maken weer gebruik van de luchtkussenbaan (zie : optrekken op de luchtkussenbaan), van de elektronische klok, van twee verschillende wagentjes en van twee tijdopnemers. Nu gaan we de snelheidsvermindering van het wagentje na, veroorzaakt door de remmende kracht van een gewichtje. Het gewichtje wordt via een touwtje en een katrol, van af het begin van de remweg, door het wagentje in zijn vaart omhoog getrokken.

OPDRACHTEN:

- *Ga voor elk wagentje na hoe de snelheidsafname afhangt van de beginsnelheid van het wagentje.*
- *Ga na hoe de snelheidsafname verandert als je de massa van het wagentje verandert.*
- *Ga na hoe de snelheidsafname verandert als je de remkracht verandert.*
- *Vul je meetresultaten in in een tabel*
- *Schrijf in een paar zinnen je konklusie(s) uit de proeven op.*

UITWERKING

In de proeven op de luchtkussenbaan hebben we onderzocht wat er verandert in de snelheidstoestand van de wagentjes, wanneer er een kracht - een aandrijvende of een afremmende - op werkt.
Gedeeltelijk hebben de proeven resultaten opgeleverd die we al hadden gevonden tijdens bijvoorbeeld de sleepproef en de uitrijproef met de fiets en de bromfiets.
Alleen door de wrijving zo veel mogelijk uit te schakelen, hebben we in de modelproeven ons kunnen concentreren op de gevolgen van één kracht waarvan we bovendien de grootte goed in de hand hadden.
De resultaten komen kortweg hierop neer:

1. zowel voor de snelheidstoename als voor de snelheidsvermindering van een voorwerp is de werking van een kracht over een zekere afstand nodig en
2. een bewegend voorwerp heeft het vermogen om arbeid te verrichten en verliest daarbij zijn snelheid.

BEWEGEN
ARBEIDSVERMOGEN

Bij de voorbereiding hebben we al gezien dat je bij het "gedrag" van een bewegend voorwerp - natuurkundig gesproken - ook kunt letten op het energieaspect en wel op de bewegingsenergie van het voorwerp.
In hoofdstuk 7 vind je uitgelegd dat je in ons ene geval mag spreken over de hoeveelheid arbeid die de aandrijvende kracht en in het andere geval de afremmende kracht levert.

Een heel belangrijke aanname nu is dat er een relatie is tussen de arbeid die wordt verricht door de krachten die op een voorwerp - de fiets, de bromfiets, de wagentjes op de rijbaan - werken en de bewegingsenergie van dat voorwerp.
Eigenlijk is die relatie er één die je nauwelijks zal verbazen, namelijk:

De verandering in de bewegingsenergie van een voorwerp is gelijk aan de som arbeid van alle krachten die op dat lichaam werken.

Ogenschijnlijk een vanzelfsprekende zaak. Zoiets als: er kan alleen geld worden uitgegeven als het daarvoor ergens mee is verdiend.

Nu stond er al dat er in de natuurkunde wordt aangenomen dat deze relatie tussen bewegingsenergie en verrichte arbeid bestaat.
Kunnen we nagaan of de relatie "waar" is voor onze modelproeven?
Daarvoor moeten we weten hoe je arbeid en hoe je bewegingsenergie moet meten. Dan kun je immers nagaan of je energie en arbeid rekening klopt.

Nu is ons wagentje bij het optrekken:

bewegingsenergie in B: $Ek_b = \frac{1}{2}.m.V_b^2$

bewegingsenergie in A: $Ek_a = \frac{1}{2}.m.V_a^2$

massa wagentje m kg.

de verandering $E_{k_b} - E_{k_a} = \frac{1}{2}\ m\ (V_b^2 - V_a^2)$

Wij beweren dat de verandering van de kinetische energie van het aandrijvend gewicht $\frac{1}{2}.M.(V_b^2-V_a^2)$ is. Ben je het daarmee eens?

massa aandr. gewicht M kg

Hoe komt dat?
Het aandrijvend gewicht trekt met een kracht van F_2 = M x 9,8 newton aan het wagentje en ..... zichzelf en verplaatst zich over L meter. Het koord houdt de afstand tussen wagentje en aandrijvend gewicht immers gelijk.

Arbeid = kracht x weg

De verrichte arbeid is dus M x 10 x L joule. Kijk maar in paragraaf 7.2. en 7.4.!

We zetten alles nog eens op een rijtje:

het wagentje wint aan bewegingsenergie $\frac{1}{2}\ m.V_b^2-\frac{1}{2}m.V_a^2$

het aandrijvende gewichtje wint $\frac{1}{2}\ M.V_b^2-\frac{1}{2}M.V_a^2$

samen hebben ze dus een winst $\frac{1}{2}\ (m+M).V_b^2-\frac{1}{2}(m.M).V_a^2$ d.i.

$\frac{1}{2}.(m+M).(V_b^2-V_a^2)$

Dat wordt opgebracht door het vallend gewichtje van M kilogram waardoor een zwaartekracht van 10M newton werkt op de twee "gekoppelde" massa's over L meter.
De verrichte arbeid is dus 10.M.L joule.

Er zou dus moeten gelden: $\frac{1}{2}.(m+M).(V_b^2-V_a^2)= 10.M.L$

Beantwoord de volgende vragen:

- hoe groot is de toename in bewegingsenergie van een auto van 1000kg als hij optrekt tot 25 m/s
- een bromfietser remt af van 40 km/uur tot stilstand. Maak een schatting van zijn verlies aan bewegingsenergie.
- een steen van 1 kilo valt naar beneden over 10 meter. Wat is zijn toename aan bewegingsenergie?
- hoe groot is de verrichte arbeid van het remmende gewicht van M kg als het over L meter omhoog wordt getrokken?

OPDRACHT:
Onderzoek of de meetresultaten uit de optrekproeven overeenstemmen met de aanname dat de verandering van bewegingsenergie van het wagentje èn het aandrijvend gewicht gelijk is aan de door het gewicht verrichte arbeid.
Presenteer je rekenresultaten op een overzichtelijke manier tijdens jullie rapportage over de luchtkussenbaan.

5.4.2. Stromingsexperimenten

Voorbereiding

In deze paragraaf gaan we dieper in op de herkomst en de aard van de krachten die optreden als een voorwerp zich door een omringende stof heen beweegt.
In de buitenproeven hebben we de windkrachtmeter gebruikt om een indruk te krijgen van de verandering van de windkracht met de snelheid waarmee je je verplaatst door de omringende lucht.
Naast de grootte van de (onderlinge) snelheid van voorwerp en omringend medium zijn de vormkenmerken en de afmetingen van het voorwerp van belang.

In figuur 5.19 zie je daar voorbeelden van. De foto's zijn gemaakt in een bak waar water door stroomt (stroombak) en waar de stroomwijze van het water rond obstakels zichtbaar is gemaakt met een kleurstof.

Bespreek de volgende vragen:

- *Wat verwacht je over de stroomsnelheid van het water op plaatsen A, B en C in de bak?*

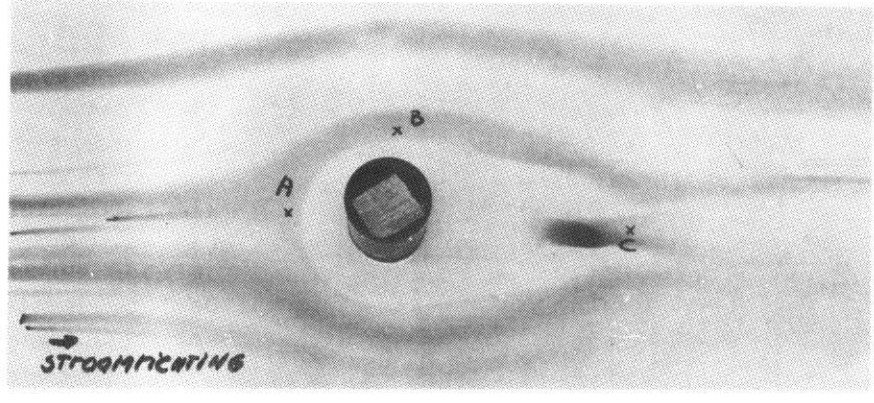


fig 5.19:

- *Welk voorwerp vormt het grootste obstakel voor het stromende water naar jouw idee, naar aanleiding van de foto's?*

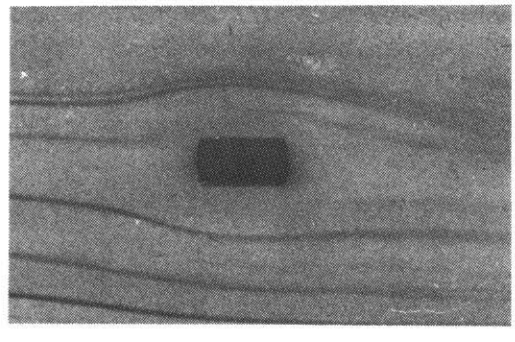


fig. 5.20

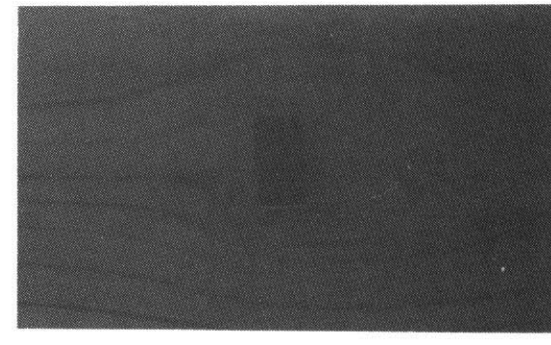


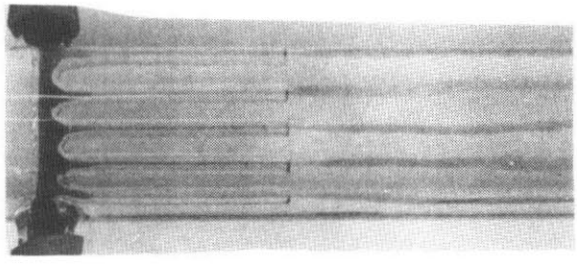
fig. 5.21

- *Waarom "duwt" een passerende bus je opzij tijdens het fietsen?*
- *Is "in iemands kielzog varen" energie besparend volgens deze foto's?*
- *Hoe zal de stroomwijze rond een bepaald obstakel veranderen als je per sekonde meer water door de bak zou sturen. Schets je voorspelling.*

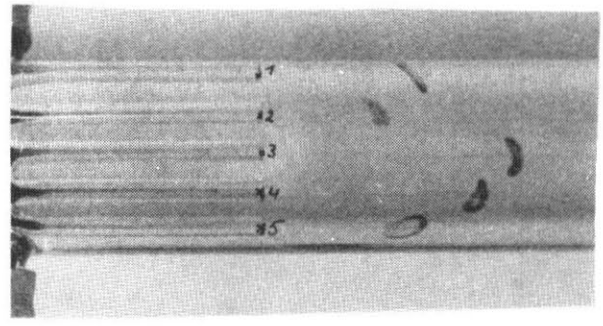
In de stroombak kun je door zelf te experimenteren, nagaan hoe de vormkenmerken van een omstroomd voorwerp de kracht van het water op dat voorwerp beïnvloeden.
Je kunt de veranderingen in die kracht meten met de - gevoelige - krachtmeter die boven de bak is geplaatst, figuur 5.22
De invloed van de vorm van een voorwerp op de grootte van de kracht die het van een vloeistof ondervindt, komt tot uiting in de zogenaamde *vormweerstand* van het voorwerp.

De tweede bepalende faktor voor de kracht die een voorwerp in een stromende vloeistof ondervindt is de stromingswijze van die vloeistof rond het voorwerp.
In figuur 5.21 zijn foto's afgedrukt waarin stromingsvormen van water door een buis met behulp van een kleurstof zichtbaar zijn gemaakt. De kleurstof wordt op vijf plaatsen in het water gebracht.

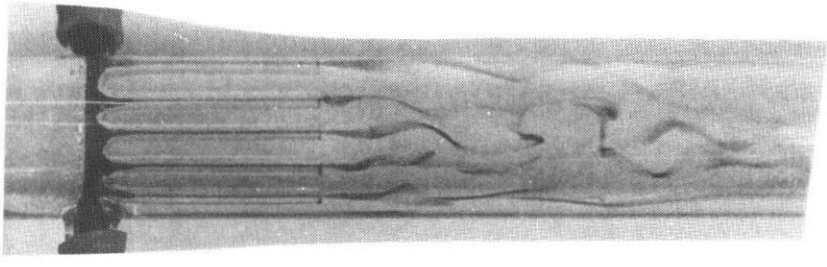
fig. 5.21 Stromingswijzen van water



Laminaire stroming door een cylindrische buis



Snelheidsverdeling in een laminaire stroming. De kleurstof is op hetzelfde tijdstip op vijf punten geïnjecteerd.
De foto geeft een beeld van de snelheidsverdeling in de buis.



Turbulenties in een waterstroom door een cylindrische buis.

De invloed van de stromingswijze van een vloeistof rond een voorwerp op de kracht die het voorwerp ondervindt komt tot uiting in de *stromingsweerstand* van het voorwerp.

Tijdens je stromingsexperimenten kun je nagaan dat stroomsnelheid en stroomwijze van het water in de stromingsbak van invloed zijn op de stromingsweerstand van een voorwerp in die stroming.
De op het voorwerp uitgeoefende kracht meet je met de - gevoelige - krachtmeter.

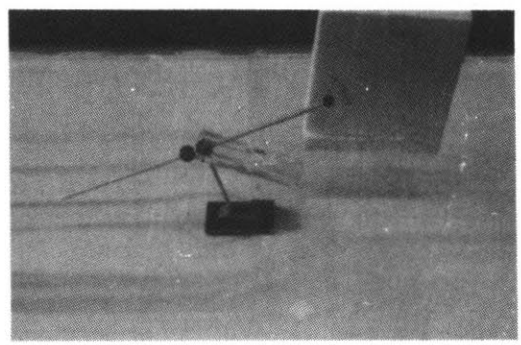


fig. 5.22 Meten van de meesleepkracht in een waterstroom.

UITVOERING:

De stromingsexperimenten voeren we uit in de stromingsbak (fig. 5.23) Zoals bij de voorbereiding is gebleken onderzoeken we de stromingsverschijnselen niet door een voorwerp door een medium - lucht of water - heen te bewegen, maar door het te plaatsen in een stromend medium.

De stromingsbak (figuur 5.23)
Water wordt via de verdeler in zes straaltjes toegevoerd en loopt langs de voorwerpen die in de bak zijn opgesteld in de afvoer weg.
Zowel de stroomsnelheid van het water als de dikte van de waterslang in de bak zijn in te stellen.

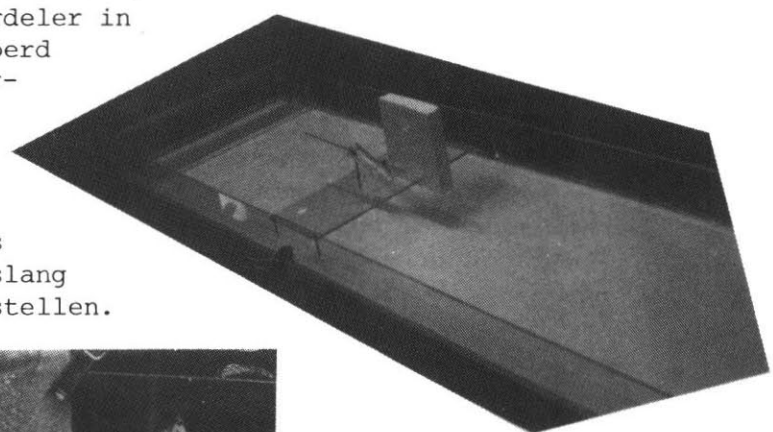


fig. 5.23
De stromingsbak.

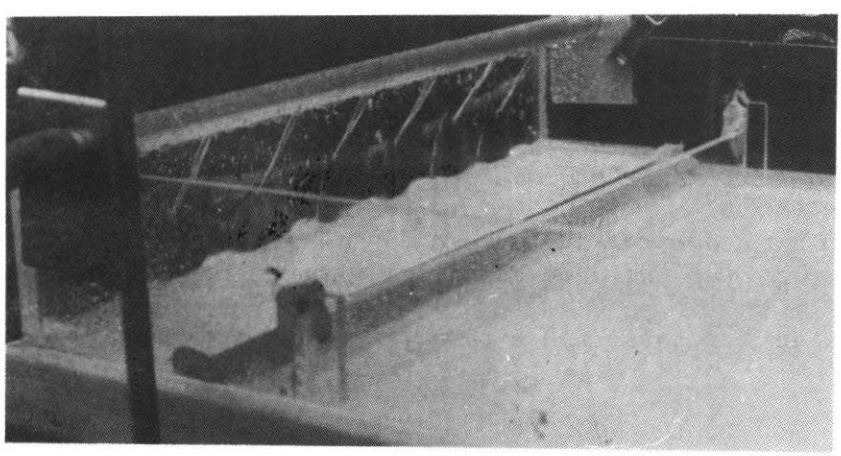


fig. 5.24 Waterinlaat en stabiliseren.

De stroomwijze van het water kun je zichtbaar maken door achter de inlaat korreltjes permanganaat op de bakbodem te leggen. het opgeloste permanganaat wordt in duidelijk zichtbare sporen door het water meegenomen naar de afvoer.

De kracht nodig om een voorwerp in de stroom op zijn plaats te houden, wordt gemeten met de krachtmeter, figuur

OPDRACHTEN:

Kijken naar stromingswijzen:
- *zorg dat het water in de bak laminair stroomt*
- *plaats voorwerpen van verschillende vorm - bijvoorbeeld cylindrisch, rechthoekig, lesvormig en in de vorm van een vleugelprofiel - in de waterstroom*
- *onderzoek de stroomwijze van het water rond de obstakels*
- *varieer de stroomsnelheid van het water en de dikte van de waterlaag.*
- *noteer de waarnemingen die je doet.*

Meten van de kerachtwerking van het stromende water:
- *stel de krachtmeter zo in dat als deze onbelast is, de wijzer nul op de schaal aanwijst. Zorg daarna dat je een laminaire stroming in de bak hebt*
- *ga nu voor verschillende drijvende voorwerpen na hoe groot de kracht van het stromende water is*
- *bepaal voor een drijvend voorwerp hoe de kracht die het water erop uitoefend verandert met de stroomsnelheid van het water.*

PROEVEN voor het geval je nog tijd over hebt:

Stroomlijnen van een voorwerp:
- *plaats in laminair stromend water een cirkelvormig obstakel*
- *experimenteer met een stukje plakgum (Bison) hoe je het obstakel kunt stroomlijnen zo dat het stromende zo min mogelijk "merkt" van het gestroomlijnde obstakel*
- *probeer een verklaring op te schrijven voor je proefresultaten*

Stroomsnelheid en doorstroomopening:
- *plaats in laminair stromend water twee rechthoekige obstakels zo dat deze in de lengterichting aan elkaar evenwijdig staan in de stroomrichting*
- *ga na hoe het stroomlijnen-patroon verandert als je de zo ontstane "goot" van vorm verandert door één ob beide obstakels te verplaatsen ten opzichte van de onderling evenwijdige stand*

Van laminair naar turbulent:
- *plaats in laminair stromend water een cirkelvormig obstakel*
- *verhoog vervolgens de stroomsnelheid van het water*
- *bepaal bij welke stroomsnelheid achter het obstakel turbulentie gaat optreden*
- *ga na hoe groot de krachtwerking op eenzelfde voorwerp is bij laminaire stroming over het hele grensvlak tussen voorwerp en vloeistof*
- *doe dit ook als er - plaatselijk - turbulentie optreedt*

VERWERKING:

1. Bekijk de onderstaande foto's nauwkeurig en beantwoord daarna de vragen. Het obstakel bevind zich in de stromingsbak met water.

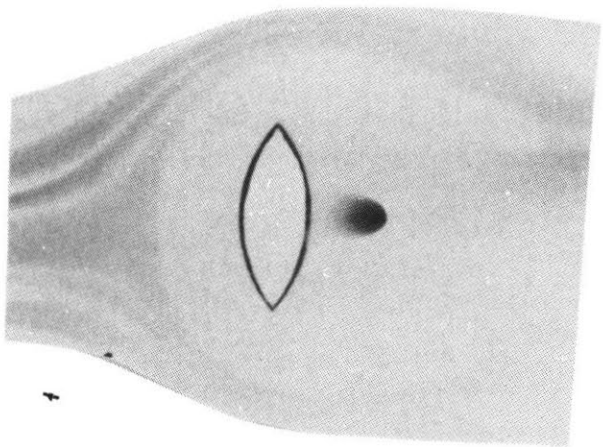


fig 5.25

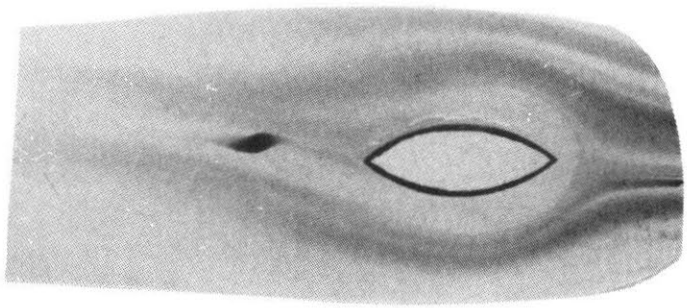


fig. 5.26.

VRAGEN:

- *Geef met een pijl in beide foto's de stroomrichting van het water aan*
- *Welke vind je de belangrijkste verschillen in het stromingspatroon tussen beide foto's.*
  Noem van twee verschillen of je ze wijt aan vormkenmerken van het omstroomde voorwerp of aan de stromingswijze van de vloeistof.

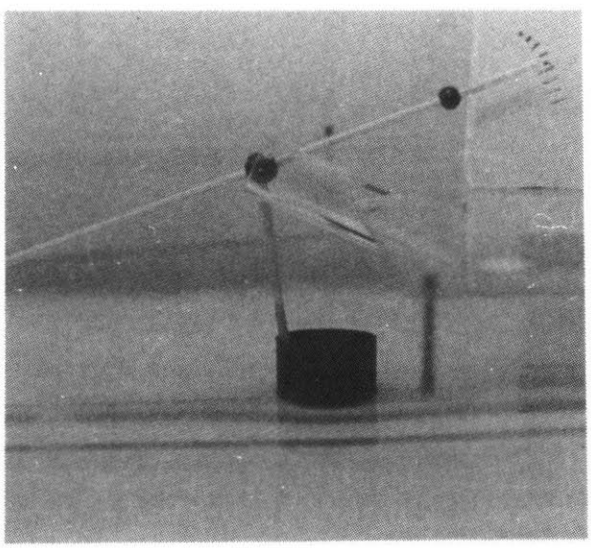
2. 

fig. 5.27.

Een plastic bakje drijft in de stromingsbak en duwt tegen de waterkrachtmeter (zie foto).
Stel dat we het bakje verzwaren door er iets op te leggen.

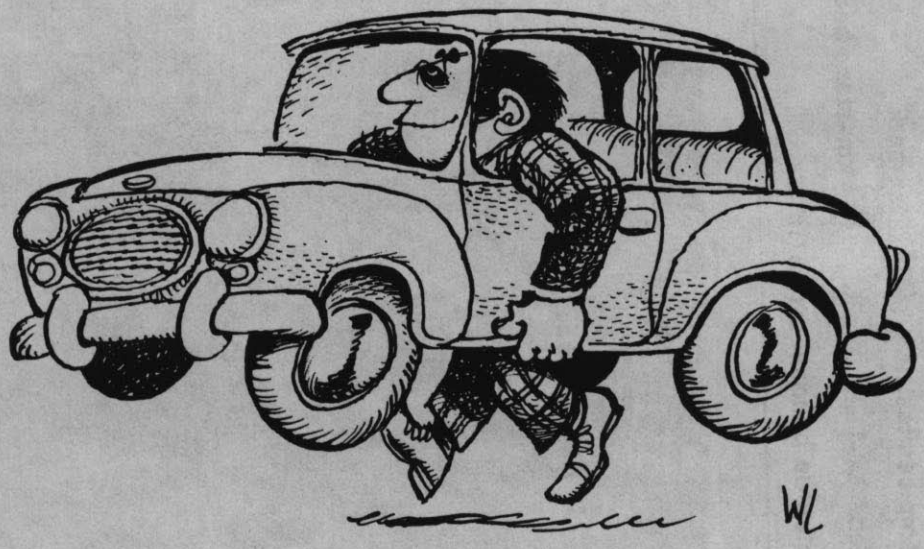
Noem twee veranderingen die zich naar jouw idee zullen voordoen en argumenteer je voorspellingen.

Wat verwacht je over de uitslag van de krachtmeter als we het ronde bakje vervangen door een rechthoekig dat even breed is?
Schets de verschillen in stroomlijnpatronen voor beide situaties.

6. PRESTATIES

6.1. Snelheid
6.2. Remvertraging
6.3. Acceleratie
6.4. Transmissie
6.5. Vermogen en verbruik

In reclame voor auto's worden allerlei eigenschappen geprezen, zoals de ruimte, de veiligheid, de zuinigheid, de pittige motor, de duurzaamheid en de fraaie vorm. Een deel van die eigenschappen betreft de meetbare prestaties van de auto als "rijmachine". In dit hoofdstuk gebruiken we de prestaties van een bepaald type auto als voorbeeld. Wat daarbij aan natuurkundige begrippen en technische principes ter sprake komt, is niet beperkt tot auto's alleen. Die begrippen en principes kun je terugvinden bij allerlei andere verkeers- en transportmiddelen, van fiets tot sneltrein en straalvliegtuig.



OVERZICHT VAN AKTIVITEITEN

De stukjes 6.1. tot en met 6.6. volgen in grote trekken hetzelfde patroon:

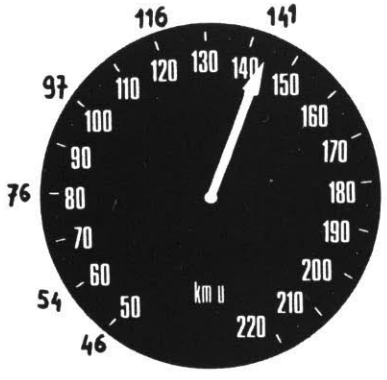
- bestuderen van een stukje uit een testrapport. We gaan hier dus niet uit van eigen experimenten, maar van experimenten van anderen;
- bestuderen van een stukje theorie over begrippen en regels, die belangrijk zijn in verband met het testrapport;
- maken van enkele opgaven om met die begrippen en regels te oefenen;
- eventueel ingaan op suggesties om bepaalde problemen verder te onderzoeken.

Overdruk uit Autokampioen nr. 7 van 16 - 22 februari 1979

6.1. Snelheid

Het is gebruikelijk dat snelheidsmters niet precies de werkelijke snelheid aangeven. Meestal wijzen ze te hoog aan. In een testrapport kun je zien hoe groot de afwijkingen zijn. De metingen gebeuren met speciale apparatuur in een aanhangwagentje. Heb je zelf een snelheidsmeter op je fiets of op je brommer, dan kun je de meter controleren door te meten welke afstand je in een bepaalde tijd aflegt. Het is dan wel zaak een rustige weg te kiezen, waar je je snelheid gedurende een flinke tijd behoorlijk constant kunt houden. Voor alle zekerheid moet je ook een keer je kilometerteller controleren op een weg met afstandspaaltjes.

Afwijking snelheidsmeter
Werkelijke snelheden in zwarte cijfers
Afwijking km teller
geen



Topsnelheid (km/u)
141

fig. 6.1:

Definities

We noemen een beweging *eenparig* als in gelijke tijden (bijvoorbeeld in elke seconde) gelijke afstanden worden afgelegd. De *snelheid* is per definitie de afgelegde weg gedeeld door de bijbehorende tijd:

$$\text{snelheid} = \frac{\text{afgelegde weg}}{\text{tijd}} \quad , \qquad \text{in formule } v = \frac{s}{t}$$

Bij een niet-eenparige beweging is $\frac{s}{t}$ de gemiddelde snelheid. Die zullen we aanduiden als v met een streep erboven:

$$\text{gemiddelde snelheid} = \frac{\text{afgelegde weg}}{\text{tijd}} \qquad \bar{v} = \frac{s}{t}$$

Eenheden

Bij het gebruik van zulke natuurkundige formules moet je altijd de bij elkaar passende eenheden gebruiken. In het verkeer gewoonlijk:

s in kilometer, t in uur en v in km/uur

In de natuurkunde bij voorkeur:

s in meter, t in seconden en v in m/s

Soms zul je snelheden moeten omrekenen van km/uur in m/s of omgekeerd. Voorbeelden:

$$90 \text{ km/uur} = \frac{90000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$5 \text{ m/s} = \frac{5 \times 3600 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 18000 \frac{\text{m}}{\text{uur}} = 18 \frac{\text{km}}{\text{uur}}$$

OPGAVEN:

1. *Een straaljager "doorbreekt de geluidsbarrière" als zijn snelheid groter wordt dan die van het geluid. De geluidssnelheid is 330 m/s (in lucht van 0° C). Hoe groot is deze snelheid in km/uur?*

2. *Een schaatser reed de 1500 meter in precies 2 minuten. Hoe groot was zijn gemiddelde snelheid in m/s en in km/uur?*

3. *Mieke fietste een kwartier met een constante snelheid van 15 km/uur (wind tegen) en vervolgens een kwartier met een constante snelheid van 30 km/uur (wind mee). Hoe groot was haar gemiddelde snelheid over de hele rit?*

4. *Peter fietste 5 kilometer met een constante snelheid van 15 km/uur en daarna 5 kilometer met een constante snelheid van 30 km/uur. Hoe groot was zijn gemiddelde snelheid over de hele rit? (Niet 22,5 km/uur).*

Suggesties:
Dingen die je zou kunnen opzoeken, uitzoeken, navragen:
- hoe werkt een snelheidsmeter?
- hoe controleert de politie snelheden?
- hoe werkt de snelheidsmeter van een schip?
- hoe werkt de snelheidsmeter van een vliegtuig?

6.2. Remvertraging

Bij een autotest worden remwegen gemeten op een proefbaan, die voorzien is van maatstrepen dwars op de rijrichting. Je ziet in de figuur dat het uitmaakt of de remmen koud zijn of warm (als gevolg van herhaald remmen).

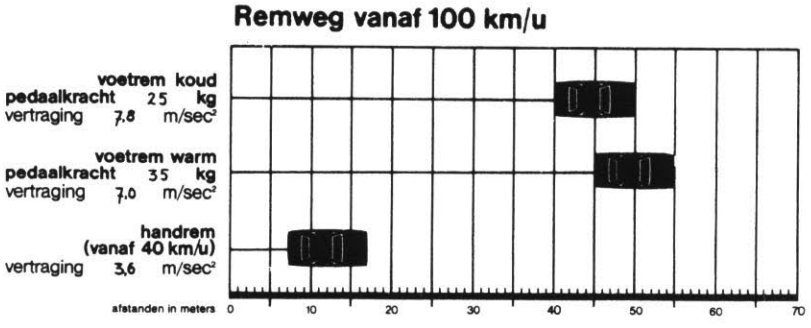


fig. 6.2.

Uit de beginsnelheid en de remweg kun je de remvertraging vinden, als je het volgende stukje theorie toepast.

Definities.
We noemen een beweging *eenparig vertraagd* als in gelijke tijden (bijvoorbeeld in elke tiende van een seconde) gelijke snelheidsverminderingen optreden. De *vertraging* is per definitie de snelheidsvermindering gedeeld door de benodigde tijd.

Toepassing op remproeven.
Bij remproeven is de eindsnelheid nul. De snelheidsvermindering is dus in getalwaarde gelijk aan de beginsnelheid, die we aangeven met v_o (de snelheid op "tijd nul" toen de auto begon te remmen). Hier geldt dus:

$$\text{remvertraging} = \frac{\text{beginsnelheid}}{\text{remtijd}}, \text{ in formule } a_{rem} = \frac{v_o}{t_{rem}}$$

Zou de beweging niet eenparig vertraagd zijn, dan zou je van een gemiddeld remvertraging moeten spreken en een streep zetten boven de a.
Bij remproeven blijkt de vertraging redelijk constant - de beweging is, bij benadering, eenparig vertraagd.

Eenheden.
Bij toepassing van de laatste formule gebruiken we altijd één bepaalde combinatie van eenheden:

v_o in $\frac{m}{s}$, t in s en a in m/s^2.

De laatste eenheid wordt gelezen als "meter per seconde kwadraat". Je mag ook nog wel even "meter per seconde, per seconde" zeggen om je eraan te herinneren dat het gaat om een snelheidsverandering van zoveel m/s, gedeeld door een tijd van zoveel s.

Voorbeeld.
Neem bijvoorbeeld het middelste geval uit het testrapport. Daar is uit de gemeten beginsnelheid en de gemeten remweg een vertraging afgeleid van 7,0 m/s^2.
Om dat te controleren, moet je eerst de beginsnelheid omrekenen:

$$v_0 = 100 \frac{km}{uur} = 27{,}8 \frac{m}{s}.$$

Je hebt ook de remtijd nodig. Om die te berekenen, mag je aannemen dat de snelheid regelmatig terugloopt (eenparig vertraagde beweging) van 27,8 naar 0. De gemiddelde snelheid ligt dan midden tussen begin- en eindsnelheid: $\bar{v} = 13{,}9$ m/s. De afgelegde weg is af te lezen in het testrapport: $s = 55$ m. De auto legt deze 55 meter af met een gemiddelde snelheid van 13,9 m/s, dus

$$t_{rem} = \frac{s}{\bar{v}} = \frac{55}{13{,}9} = 3{,}96.$$

In deze 3,96 seconde neemt de snelheid af van 27,8 tot 0, dus

$$a_{rem} = \frac{v}{t_{rem}} = \frac{27{,}8}{3{,}96} = 7{,}0$$

De remvertraging is, zoals het testrapport vermeldt, 7,0 m/s^2.

OPGAVEN:

1. *Controleer het onderste geval uit het testrapport.*

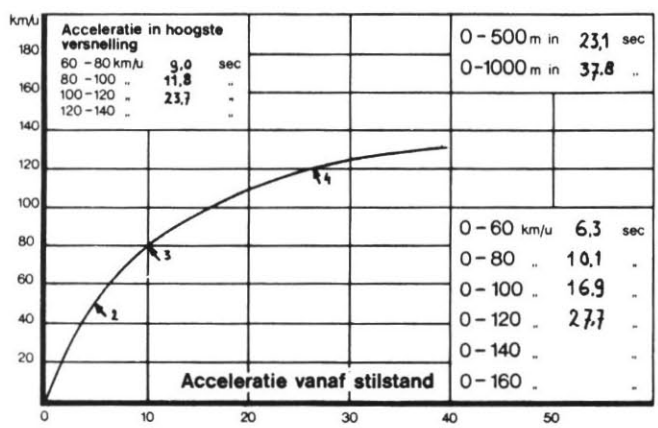
2. *Voor personenauto's geldt als wettelijke norm een minimale remvertraging van 6,2 m/s^2. Hoe lang is bij deze vertraging de remweg van een auto met beginsnelheid 100 km/uur?*

3. *In een trein worden vertragingen van meer dan 1 m/s^2 door de passagiers als hinderlijk ervaren. Stel dat een trein een snelheid van 120 km/uur heeft en tot stilstand afremt met een constante vertraging van 1 m/s - hoe groot is zijn remweg?*

Suggesties:
Dingen die je zou kunnen opzoeken, uitzoeken, navragen:
- hoe groot is de remweg als je met de voor jou normale snelheid fietst en zo sterk mogelijk remt? Hoe groot is je remvertraging?
- hoe werken trommelremmen? Hoe werkt een terugtraprem?
- hoe werken autoremmen? Zijn daar ook verschillende soorten in?
- hoe remt een schip? Is het waar dat een supertanker op volle snelheid een remweg van enige kilometers nodig heeft?

6.3. Acceleratie

Snel "optrekken" met een auto kost extra benzine, maar kan in sommige situaties te pas komen, bijvoorbeeld bij passeren en bij oversteken. Daarom wordt in een autotest ook gemeten hoe snel een geroutineerde rijder de snelheid van de auto kan opvoeren.



Het testrapport geeft het verloop van de snelheid v met de tijd t; we noemen zo'n figuur een v-t-diagram. Met pijltjes is aangegeven, bij welke snelheden de bestuurder overschakelde naar de 2e, 3e en 4e vernselling. In elke versnelling heeft de bestuurder fors "doorgetrokken.

fig. 6.3.

Uit dit v-t-diagram zie je meteen, dat de snelheid steeds langzamer toeneemt: in iedere volgende seconde is de "winst" kleiner dan in de vorige. We zeggen dan dat de versnelling gestadig afneemt.

Je zult er aan moeten wennen dat "versnelling" in twee betekenissen wordt gebruikt:

- technisch, in verband met de constructie. De aandrijving van de wielen door de motor gebeurt meestal via een systeem van tandwielen, die op verschillende manieren in elkaar kunnen grijpen. Die verschillende "overbringen" worden "versnellingen" genoemd. Meer hierover vind je verderop in 6.4.
- natuurkundig, in verband met de prestatie: versnelling als maat voor het meer of minder snel toenemen van de snelheid. Daarover gaat het volgende stukje theorie.

Definities.

We noemen een beweging *eenparig versneld* als in gelijke tijden (bijvoorbeeld in iedere seconde) gelijke snelheidstoenamen optreden.
De *versnelling* is per definitie de snelheidstoename gedeeld door de benodigde tijd:

$$\text{versnelling} = \frac{\text{snelheidstoename}}{\text{tijdsverloop}} \text{ , in formule } a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

De aanduidingen "2" en "1" slaan op de "latere" en "eerdere" waarden van snelheid en tijd. Om de formule te verkorten gebruiken we ook wel het symbool Δ (de griekse hoofdletter "delta"). Δv betekent "verandering van snelheid", Δt staat voor verandering van de tijd. De formule wordt nu

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Is de beweging niet eenparig vertraagd, dan moet je van een gemiddelde versnelling spreken en een streep boven de a zetten.

Eenheden.
Bij toepassing van bovenstaande formules zullen we de snelheden, en daarmee ook de snelheidsverandering, uitdrukken in m/s. De tijden t_2 en t_1, en het tijdsverloop daartussen, drukken we uit in seconden. De bijbehorende eenheid voor versnelling is m/s^2.
Deze eenheid hebben we ook al gebruikt voor de remvertraging. Dat is niet toevallig: een vertraging kun je beschouwen als een negatieve versnelling. (Bij remmen is v_2 kleiner dan v_1, dus Δv negatief). Daarom gebruiken we het symbool a (van acceleratie) ook voor vertraging.

Voorbeeld.
Je ziet in het testrapport dat de auto in 6,3 seconde optrok van 0 tot 60 km/uur. Om de gemiddelde versnelling te vinden moet je de snelheidsverandering eerst omrekenen in m/s en dan delen door het tijdsverloop:

$$\Delta v = 60 \frac{\text{km}}{\text{uur}} = 16{,}7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ en } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{16{,}7}{6{,}3} = 2{,}65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

OPGAVEN:

1) *Hoe lang deed de auto over het optrekken van 60 tot 80 km/uur? Gebruik de tabel bij het v-t-diagram. Hoe groot was de gemiddelde versnelling in deze periode?*

2) *Uit het testrapport blijkt dat er ook een proef is gedaan, waarbij veel eerder naar de vierde versenlling werd geschakeld. De resultaten staan linksboven bij het v-t-diagram. Hoe groot was bij deze proef de gemiddelde versnelling tijdens het accelereren van 60 naar 80 km/uur?*

3) *Hoe komt het, denk je, dat de versnelling afneemt naarmate de auto sneller rijdt?*

Suggesties.
- Vergelijk eens de acceleratie van verschillende typen auto's
- Hoe groot is ongeveer de versnelling die je met je fiets kunt bereiken in de eerste seconden na de start? En die van een brommer?

6.4. Transmissie

Een bezinemotor levert zijn beste prestaties bij hoge toerentallen: 3000 à 6000 omwentelingen per minuut, ofwel 50 à 100 omwentelingen per seconde. Zoveel omwentelingen maken de wielen zelfs bij hoge snelheden niet. In de overbrenging van motor naar wielen moet dus een vermindering van toerental plaatsvinden. En de overbrengingsverhouding moet aan te passen zijn aan de rijsnelheid.
In het testrapport vind je gegevens over de transmissie, d.i. de overbrenging.

Snelheidsbereik in versnellingen

1	0 - 50	km/u
2	10 - 80	km/u
3	20 - 120	km/u
4	25 - 141	km/u
R		km/u

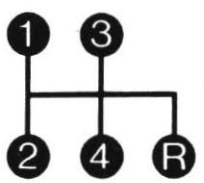


fig. 6.4:

Transmissie: Voorwielaandrijving. Mechanisch bediende koppeling. Vierversnellingsbak. Vloerschakeling. Overbrengingsverhoudingen: 1e versn. 3,88, 2e versn. 2,29, 3e versn. 1,50, 4e versn. 1,04, achteruit 3,56, reductie eindoverbrenging 3,56.

Behalve met snelheid heeft transmissie ook te maken met "kracht zetten". In het vorige testrapport (6.3.) heb je gezien dat het optrekken van bijvoorbeeld 80 naar 100 km/uur sneller gaat in de 3e dan in de 4e versnelling. (Vergelijk de tabellen linksboven en rechtsonder bij het v-t-diagram).

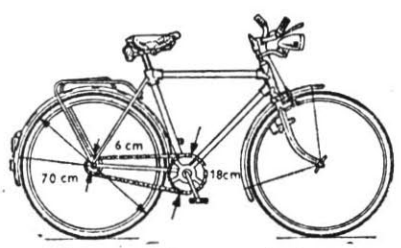


fig. 6.5: transmissie van een fiets

Om het principe te begrijpen kun je het best uitgaan van een simpele fiets, zonder versnellingen. In de tekening hiernaast is aangenomen dat de ketting loopt over tandwielen met 18 cem en 6 cm middellijn. Daardoor geeft iedere omwenteling van de trapas drie omwentelingen van het achterwiel. Zouden de tandwielen even groot zijn, dan zou je bij gegeven snelheid driemaal zo snel moeten trappen.
Het lijkt slimmer om het voorste tandwiel groter of het achterste kleiner te maken. Dan kun je bij gegeven snelheid rustiger trappen. Probeer je dat (op een racefiets), dan merk je dat je harder op de trappers moet duwen: de benodigde kracht wordt groter. Je bespaart op de afstand waarover je je voeten moet rondbewegen, maar tegenover deze winst staat een verlies door de grotere kracht die je met je benen moet uitoefenen.
In de praktijk blijkt voor ieder systeem van overbrenging deze regel te gelden:

"wat je wint aan kracht, verlies je aan weg"

en omgekeerd:

"wat je wint aan weg, verlies je aan kracht"

Deze regel is verwerkt in het natuurkundige begrip "arbeid". De arbeidsprestatie die je moet leveren bij het fietsen kun je wel makkelijker maken (beter aanpassen aan je lichaam), maar je kunt die arbeid niet minder maken.

Definities.
Van *arbeid* spreken we als de werking van een kracht samengaat met een verplaatsing van datgene waar de kracht op werkt. De grootte van de verrichtte arbeid hangt af van

a) de grootte van de kracht (F)
b) de grootte van de verplaatsing (s)
c) de richting waarin de kracht werkt ten opzichte van de verplaatsing.

We beperken ons voorlopig tot gevallen waarin kracht en verplaatsing dezelfde richting hebben. Voor die gevallen is de definitie eenvoudig:

arbeid = kracht x weg, in formule $W = F \cdot s$

Eenheden.
Bij het werken met de formule nemen we steeds

F in newton, s in meter en W in joule (afgekort: J).

Voorbeeld.
Stel dat een auto een tegenwerkende kracht ondervindt (van weg en lucht) van 800 N. De motor moet dan, via de transmissie, naar de aangedreven wielen, zorgen voor een voorwaartse kracht van 800 N om de snelheid te handhaven. Een rit van 20 kilometer kost dan aan arbeid:

$W = F \cdot s = 800 \cdot 20000 = 16 \cdot 10^6$ J

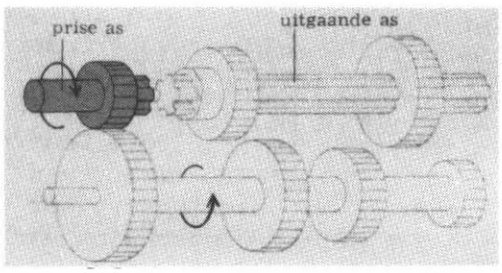
OPGAVEN:

Deze opgaven zijn bedoeld om een idee te krijgen van de orde van grootte van de arbeid die nodig is bij verschillende prestaties. Je mag aannemen dat voor het omhoog brengen van 1 kg massa een kracht van 10 N nodig is.

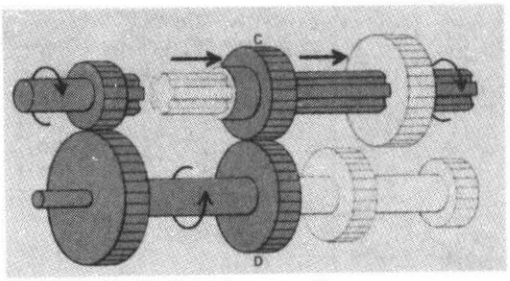
1. *Hoeveel arbeid verricht je ongeveer als je een tas met boeken van de grond optilt en op tafel zet?*
2. *Hoeveel arbeid verricht je ongeveer als je thuis de trap naar de eerste verdieping oploopt?*
3. *Hoeveel arbeid verricht je ongeveer als je van huis naar school fietst?*
   (Uit proeven in vorige hoofdstukken kun je de benodigde kracht schatten).

Suggesties om zelf te onderzoeken

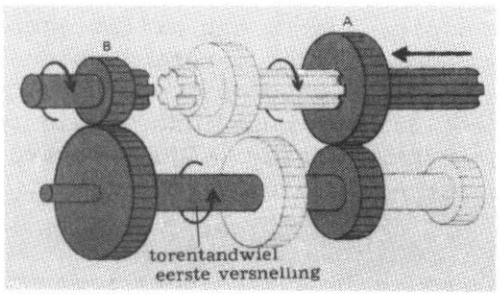
- Hoe werkt de transmissie bij een racefiets? En bij een toerfiets met drie versnellingen? Of bij een brommer?
- Hieronder zie je een versnellingsbak met drie versnellingen uitgebeeld. Probeer de werking te verklaren. (En voor de ware liefhebbers: hoe werkt een gesynchroniseerde versnellingsbak? En een automatische?)

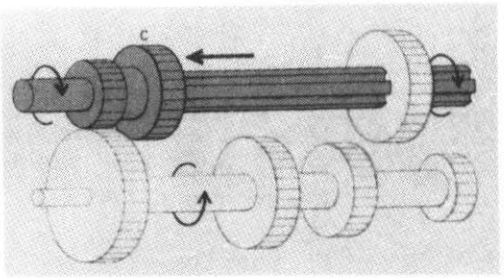


vrijloop



tweede versnelling





derde versnelling

fig. 6.6 : Ga na hoe deze versnellingsbak werkt.

6.5. Verbruik en vermogen

De meeste automotoren ontlenen hun energie aan benzine. Elke liter benzine levert bij volledige verbranding 33 . 10^6 joule, maar lang niet alles wordt besteed aan de voortstuwing van de auto. Het grootste deel van de energie gaat als nutteloze warmte verloren via het koelsysteem en de uitlaat.

Brandstofverbruik in km/liter superbenzine

gemeten over 63 km buitenwegtraject bij GEMIDDELDE snelheden			gemeten bij CONSTANTE snelheden		
60 km/u	18,9	km/l	60 km/u	19,2	km/l
70 km/u	17,0	km/l	80 km/u	16,1	km/l
km/u		km/l	100 km/u	13,5	km/l
km/u		km/l	120 km/u	11,0	km/l
km/u		km/l	140 km/u	8,8	km/l
			160 km/u		km/l

Brandstofverbruik
in de praktijk globaal tussen

1 liter op	10	km
en		
1 liter op	12	km

fig. 4.7.

De transmissie kost ook wat energie (tengevolge van wrijving), terwijl bovendien nog energie nodig is voor onder andere de dynamo, de waterpomp en de ventilator. Ongeveer een kwart van de totale energie is beschikbaar voor het eigenlijke werk: voortstuwing van de auto. In het testrapport zie je dat er geen vaste verhouding is tussen benzineverbruik en afgelegde weg. De voornaamste oorzaak is (zoals je in hoofdstuk 5 gezien hebt), dat bij stijgende snelheid de luchtweerstand toeneemt, waartegen de auto moet optornen.
Niet alleen wordt bij hogere snelheid de benodigde arbeid per kilometer groter - die arbeid moet ook in kortere tijd geleverd worden. We zeggen dan dat de motor een steeds groter vermogen moet leveren.

Definities
Het *vermogen* dat een motor levert is de arbeid per tijdseenheid:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{arbeid}}{\text{tijd}} \text{ , in formule } P = \frac{W}{t}$$

(de P komt van het engelse "power").

Speciaal geval:
Als de arbeid verricht wordt door een constante kracht en bij constante snelheid, geldt $W = Fs$ en $s = vt$, dus $W = Fvt$. Daaruit volgt:
$P = F \cdot v$, in woorden: vermogen = kracht x snelheid.
Het *nuttig effect* van een motor is per definitie de verhouding tussen de geleverde arbeid en de benodigde energie.

Eenheden.
De eenheid van vermogen, passend bij bovenstaande definitie, is de joule per seconde, ofwel watt (W). Bij gebruik van $P = F \cdot v$ moet je de kracht in newton en de snelheid in m/s nemen.
Een verouderde eenheid is de paardekracht (pk), die overeenkomt met 735 watt.

fig. 4.8.

	Citroën Visa Super 5-drs
Cilinderinhoud cm³	1124
Vermogen DIN-kW/omw/min	42/6250
pk/omw/min	57/6250

Voorbeeld.
De auto in het testrapport heeft een topsnelheid van 141 km/uur. Daarvoor is het volle vermogen nodig van 42 kW, bij een verbruik van 1 liter benzine per 8,8 km. Hieruit kun je afleiden a) de geleverde kracht, b) de geleverde arbeid per liter benzine, c) het nuttig effect.

a) Reken eerst de snelheid om : 141 km/uur = 39 m/s. Snelheid en kracht zijn hier constant, dus geldt $P = F \cdot v$:
$42.10^3 = F \cdot 39 \rightarrow F = 1077$ newton, ofwel $1{,}08.10^3$ N.

b) De arbeid is volgens definitie: kracht x weg. Op 1 liter benzine wordt 8,8 km afgelegd; de verrichte arbeid is
$W = Fs = 1{,}08.10^3 \times 8{,}8.10^3 = 9{,}5.10^6$ joule.

c) Een liter benzine levert bij verbranding 33.10^6 J. Dus:

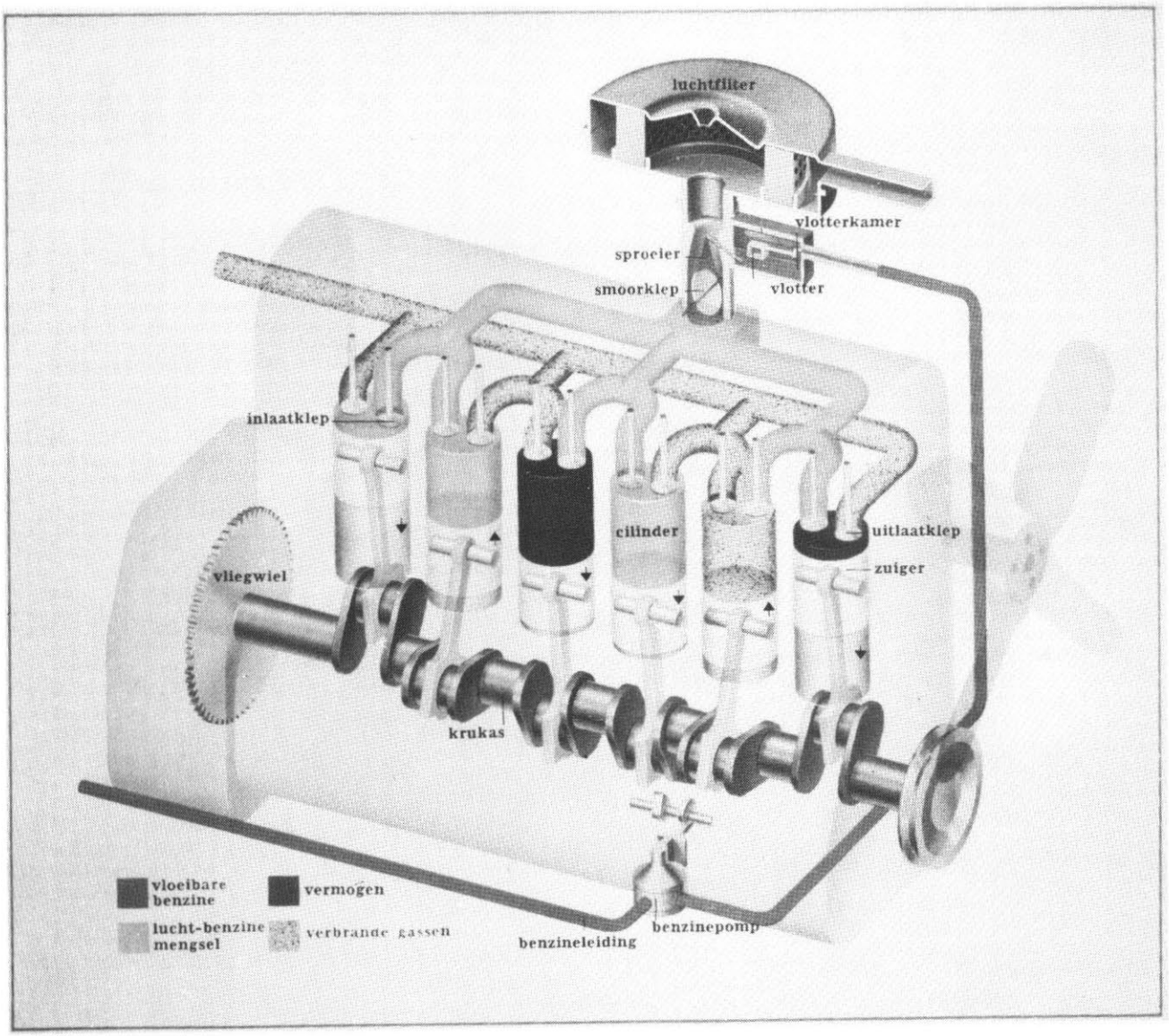
$$\text{nuttig effect} = \frac{9{,}5.10^6}{33.10^6} = 29\% \quad *$$

OPGAVEN:

1. *Bereken uit de gegevens in het testrapport*
   a) de geleverde kracht en
   b) het geleverde vermogen bij een constante snelheid van 100 km/uur.
   Neem aan dat ook bij deze snelheid $9{,}5.10^6$ J arbeid geleverd wordt per liter benzine.
2. *Hoe groot is ongeveer het vermogen dat je levert bij het fietsen? (Uit proeven in vorige hoofdstukken kun je de benodigde kracht schatten).*
3. *Hoe groot is ongeveer je vermogen als je een trap oprent? (Hiervoor moet je de tijd opnemen en de hoogte).*

Suggesties.
- Probeer ter vergelijking gegevens te vinden over vermogen en verbruik bij andere auto's.
- Bussen gebruiken per kilometer heel wat meer brandstof (meestal dieselolie) dan personenauto's. Daar staat tegenover dat ze gemiddeld ook heel wat meer mensen vervoeren. Hoe liggen die verhoudingen ongeveer?
- Probeer iets te weten te komen over de werking van een benzinemotor. Op de volgende bladzijde zie je alvast wat informatie daarover.
- En voor de ware liefhebbers zijn er dan nog allerlei andere motortypen: tweetakt-benzinemotoren, dieselmotoren, gasturbines, straalmotoren enz.

* In werkelijkheid zal de motor niet tot 6250 omw/minuut komen. Daardoor zal het vermogen kleiner zijn, en daarmee ook het nuttig effect.

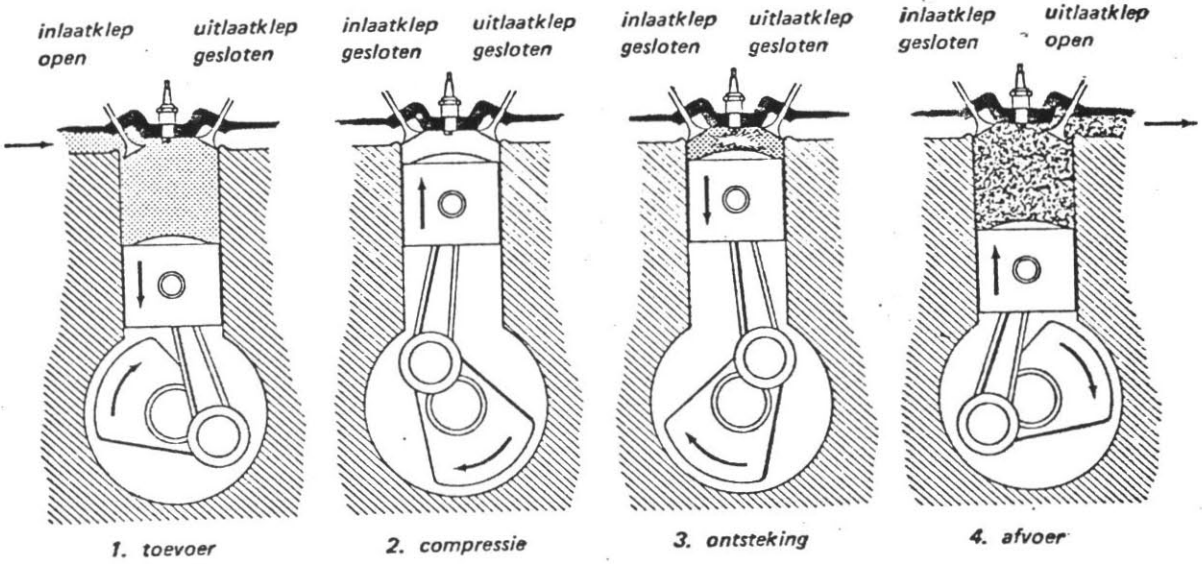


Benzine - de eigenlijke krachtbron

De benzine die de motorkracht moet leveren, arriveert in vloeibare toestand (donkerblauw) via de leiding linksonder. Een pompje dat door de krukas wordt bewogen, perst de vloeibare brandstof omhoog naar de carburateur (boven). In de vlotterkamer stroomt de benzine binnen en licht daar een drijvende vlotter op, die verbonden is aan een klep in de benzineleiding - een systeem dat overeenkomt met dat in de stortbakken van toiletten. Is de benzine tot een bepaald niveau gestegen, dan gaat de klep dicht; zakt de benzinespiegel weer iets, dan gaat de klep weer open.

De zuigers in de cilinders pompen door het luchtfilter een luchtstroom aan die een deel van de benzine door een fijn pijpje meezuigt en terstond fijn verdeelt. Uit deze sproeier komt zo een mengsel van benzine en lucht (lichtblauw) dat langs de smoorklep naar de zuiger wordt gevoerd. De druk op de gaspedaal bepaalt hoeveel ruimte deze klep aan het lucht-benzinemengsel biedt op zijn weg naar de cilinders. Bij de inlaatslag (cilinders 6 en 3) zuigt de zuiger het gasmengsel naar binnen door de inlaatklep die dan open staat. De volgende fase (cilinder 5) is de compressieslag, waardoor het gasmengsel wordt samengeperst. De bougie vonkt, het gas ontbrandt (cilinders 1 en 4) en de zuiger wordt omlaag geperst in zijn arbeidsslag die de krukas aan het draaien zet. Tenslotte worden in de volgende slag de verbrande gassen door de uitlaatkleppen afgevoerd (cilinder 2) - via de uitlaat met knaldemper gaan ze de buitenlucht in.

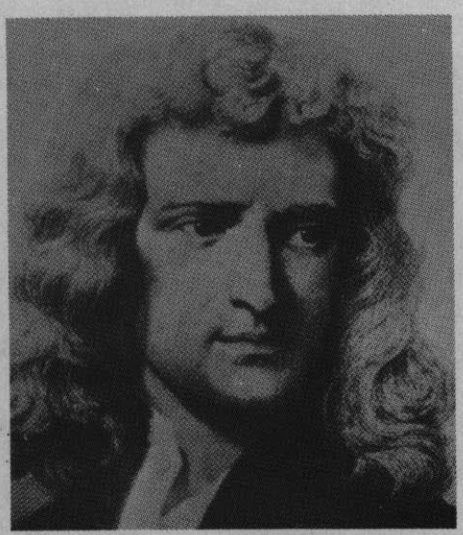
overgenomen uit Parool-Life: Het Wiel



7. BEWEGINGSWETTEN

7.1. De traagheidswet
7.2. De versnellingswet
7.3. De wet van actie en reactie
7.4. De wet voor impuls en stoot
7.5. De wet voor kinetische energie en arbeid
7.6. Overzicht van grootheden en eenheden

In het verkeer gelden bepaalde wetten die de overheid heeft opgesteld en waaraan niet iedereen zich altijd houdt. Er zijn ook wetmatigheden, die door natuurkundigen zijn opgesteld en waaraan niemand zich kan onttrekken - niet vanwege die natuurkundigen, maar vanwege de natuur.
De natuurkundige bewegingswetten, die in dit hoofdstuk de revue passeren, zijn algemeen. Ze gelden ook voor dingen in de sport, zoals een tennisbal of een voetbal en zelfs voor hemellichamen, zoals de maan en de planeten.



Isaac Newton (1642 - 1727)

De bewegingen van hemellichamen en van vallende voorwerpen brachten de onderzoekers op het goede spoor. Dat was in de 17e eeuw, lang voor de uitvinding van fietsen en auto's, en ook lang voordat bewegingen konden vastgelegd worden met film of tijdtikker.
In 1987 zal het 300 jaar geleden zijn dat Newton de fundamentele bewegingswetten (en bovendien de zwaartekrachtwet) in één groot systeem samenbracht.

OVERZICHT VAN AKTIVITEITEN

In dit hoofdstuk vind je geen nieuwe proeven met fietsen of auto's en ook geen nieuwe gegevens uit testrapporten of uit boeken over techniek.
Hier gaan we vooral preciseren wat in hoofdstuk 2 al even aan de orde kwam: het algemene verband tussen bewegingen en krachten.

De proeven in dit hoofdstuk zijn niet bedoeld als uitvoerig onderzoek, maar als korte demonstratie of "even zelf proberen". Ze dienen vooral als illustratie bij de algemene wetten.
Het voornaamste werk is hier: goed lezen, en moeilijkheden bespreken met je klasgenoten of je leraar

7.1. De traagheidswet

Ieder bewegend ding heeft de neiging om rechtdoor te blijven bewegen. In hoofdstuk 2 zijn daar al voorbeelden van gegeven. Een duidelijk voorbeeld zie je ook in de filmopnamen in hoofdstuk 4: terwijl de "auto" botst, schiet de "bestuurder" naar voren. Dat "domweg doorgaan" noemen we "traagheid"; het is een eigenschap van ieder ding.
Dit is de eerste wet van Newton, de traagheidswet:

> *Elk lichaam blijft met een constante snelheid rechtdoor bewegen, zolang er geen invloed van buitenaf op werkt.*

Je kunt het ook zo zeggen:

> Verandering van snelheid wordt altijd veroorzaakt door invloeden van buitenaf. Zulke "invloeden" noemen we krachten.

Twee eenvoudige voorbeelden:

1. Een bal die over een grasveld rolt, komt vanzelf tot stilstand? Nee, zegt de traagheidswet: er moet een vertragende kracht werken. (De wrijvingskracht, die het gras uitoefent).
2. Een steen die je loslaat, valt vanzelf steeds sneller naar beneden? Nee, volgens de traagheidswet: er moet een versnellende kracht werken. (De aantrekkingskracht van de aarde op de steen).

Uitbreiding van de traagheidswet.
In het verkeer zie je vaak auto's en fietsen met constante snelheid rechtdoor bewegen. Er werken dan verschillende krachten, maar die werken elkaar volledig tegen. Immers dezelfde beweging zou, volgens de traagheidswet, ook optreden als er helemaal geen krachten werken. Daarom is een logische uitbreiding van de traagheidswet:

> *Als een lichaam met constante snelheid rechtdoor beweegt, is de netto kracht nul.*

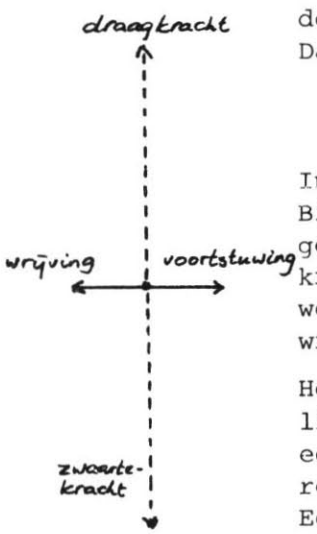


fig. 7.1:
Schema van krachten werkend op een (brom-) fiets of auto bij een eenparige rechtlijnige beweging.

In de vorige hoofstukken hebben we deze wet feitelijk al gebruikt. Bij het slepen van een fiets, bij constante snelheid, hebben we aangenomen dat de trekkracht gelijk is aan de tegenwerkende wrijvingskrachten. Bij een auto met constante snelheid hebben we de voortstuwende kracht gelijk gesteld aan de tegenwerkende krachten (luchtwrijving en wrijving met de weg).

Het woord "rechtdoor" mag je niet weglaten in de traagheidswet. Een lichaam maakt nooit uit zichzelf een gebogen baan. Probeer maar eens een stuk kurk aan een touwtje rond te slingeren - je moet voortdurrend aan het touwtje trekken om het voorwerp in zijn baan te houden. Een voorbeeld uit het verkeer: als je op een gladde weg met je fiets of auto snel door een bocht wilt gaan, "vlieg je eruit". Er moet een kracht werken om je in de bocht te houden (wrijvingskrachten tussen wegdek en banden), anders ga je rechtdoor.

7.2. De versnellingswet

Als je remt, met (brom)fiets of auto, maak je de tegenwerkende krachten groter dan de voortstuwende. De netto kracht is tegen de beweging in en veroorzaakt een vertraging. Bij optrekken omgekeerd: de netto kracht is naar voren gericht en veroorzaakt een versnelling. Het ligt voor de hand dat de vertraging of versnelling zal afhangen van de kracht. Daarnaast zal ook de massa in het spel zijn: voor het afremmen van een auto is een grotere kracht nodig dan voor het afremmen van een fiets.
Om het verband te zoeken tussen versnelling, kracht en massa, kun je proeven doen met wagentjes op een rijbaan of glijders op een luchtkussenbaan. Je kunt daarbij de kracht redelijk constant houden en vinden:

Een constante kracht geeft een constante versnelling.

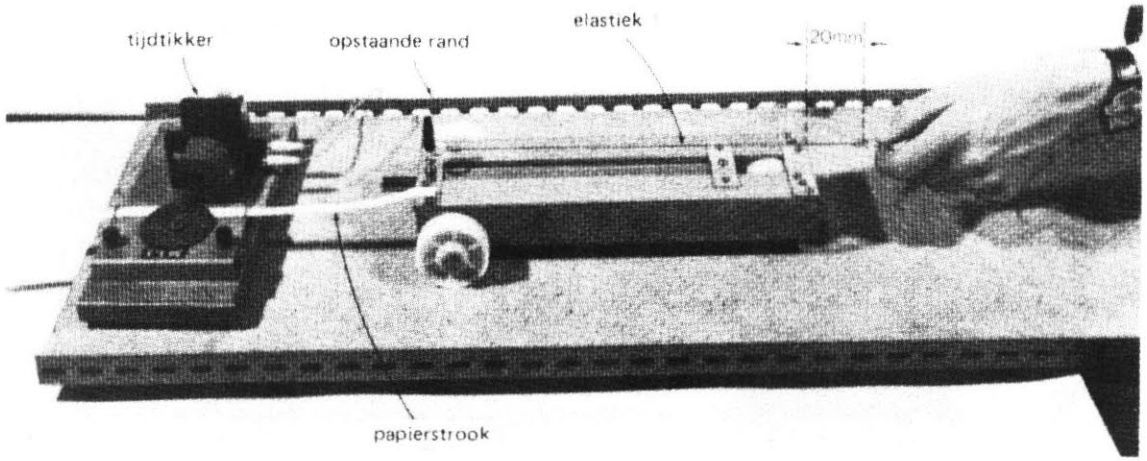


fig. 7.2: Opstelling voor het meten van het verband tussen kracht, massa en versnelling

Je kunt vervolgens de kracht variëren of de massa (bijvoorbeeld door wagentjes op elkaar te zetten), of beide. Zo kun je bijvoorbeeld nagaan dat bij verdubbeling van de kracht ook de versnelling verdubbeld wordt. Verdubbeling van de massa heeft het tegengestelde effect: de versnelling wordt tweemaal zo klein (bij dezelfde trekkracht). De resultaten zijn kort samen te vatten in de versnellingswet (tweede wet van Newton):

kracht = *massa* × *versnelling*, in formule $F = ma$

Eenheden.
De eenheid van kracht, de newton, is gedefinieerd als de kracht die nodig is om een massa van 1 kg een versnelling van 1 m/s^2 te geven. Deze definitie is gekozen in verband met de bovenstaande wet. Als je nu $F = ma$ toepast, moet je altijd deze eenheden gebruiken: F in newton, m in kilogram, a in m/s^2.

Voorbeelden.
De auto in het testrapport had, inclusief twee inzittenden, een massa van 950 kg; de maximale remvertraging was 7,8 m/s^2 (zie 6.2.). Bij die vertraging is de remmende kracht

$$F = ma = 950 \times 7{,}8 = 7400 \text{ newton ofwel } 7{,}4.10^3 \text{ N}$$

Versnelling door de zwaartekracht.
Versnellingen zie je soms opgegeven als een getal maal g, bijvoorbeeld $3g$. Die g slaat op de versnelling die de zwaartekracht veroorzaakt, wanneer een lichaam vrij valt. "Vrij" wil hier zeggen dat de lichtwrijving te verwaarlozen moet zijn. (Een steen of stalen kogel valt praktisch "vrij", een blad van een boom duidelijk niet).
Uit proeven blijkt dat $g = 9{,}8$ m/s^2. Vaak wordt deze uitkomst afgerond op 10 m/s^2.
Ook bij de vrije val geldt $F = ma$. De zwaartekracht die op een massa van 1 kg werkt is dus 9,8 newton. Meestal spreken we van gewicht: een massa van m kilogram heeft een gewicht van m . 9,8 newton.

7.3. De wet van actie en reactie

Bij een botsing van auto A met auto B lopen ze allebei schade op: de krachtwerking is wederkerig. Dat geldt ook als auto A tegen boom B botst - wel is het effect van de ene kracht (B op A) opvallender dan van de andere (A op B).
Die wederkerigheid van krachten vind je ook bij remmen. Je fiets of auto ondervindt een achterwaartse kracht van het wegdek, maar oefent ook een voorwaartse kracht uit op het wegdek. (Rem je op los grint, dan schuift het "wegdek" een beetje mee).
Bij optrekken zet je je af op het wegdek. Het achterwiel van je fiets duwt achterwaarts en het wegdek duwt het wiel naar voren.

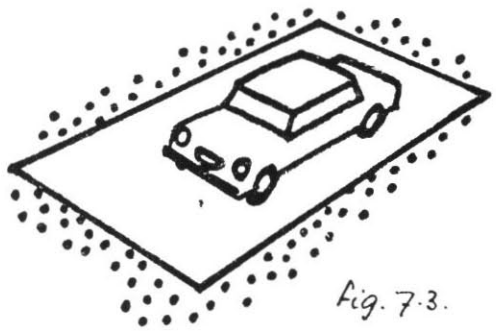


fig. 7.3.

Een aardig proefje hierover kun je doen met een speelgoedautootje met vliegwielaandrijving. Zet de auto met draaiende wielen op een stuk karton, dat op plastic kraaltjes rust. Ook bij magneten vind je wederzijdse krachtwerking: ze trekken elkaar aan of ze stoten elkaar af. In zo'n geval kun je de beide krachten meten - je zult zien dat ze precies even groot zijn.
En dat is iets wat algemeen geldt, volgens de wet van actie en reactie (de derde wet van Newton).

> *Oefent een lichaam A een kracht uit op een lichaam B, dan oefent B een even grote, tegengesteld gerichte kracht uit op A.*

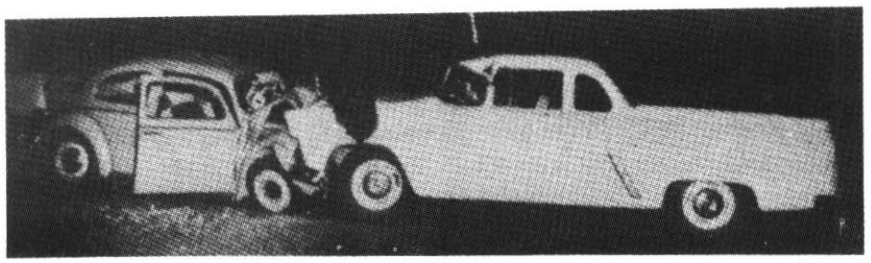


fig. 7.4: De krachten zijn gelijk, maar de een kan er beter tegen dan de ander.

7.4. De wet voor impuls en stoot

Bij botsingen treden grote krachten op gedurende korte tijden. Kun je de botsing "uitsmeren" over een langere tijd, dan zal de gemiddelde kracht kleiner zijn. Bij auto's wordt dat bereikt door middel van bumpers en kreukzones. Voor de inzittenden wordt de botsingsduur nog wat verlengd doordat de veiligheidsriem even meegeeft en uitrekt.
In de sport pas je hetzelfde principe toe. Bij het neerkomen na een sprong bijvoorbeeld laat je je benen doorveren om de stoot op te vangen. Hoe langer de "remtijd", hoe kleiner de kracht.

Definities.
Het produkt van de kracht en de tijd waarin hij werkt noemen we de *stoot*.

$$\text{stoot} = F\ (t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}})$$

Vaak is de kracht bij een stoot niet constant; dan moet je voor F de gemiddelde kracht lezen.
Een lichaam dat een stoot krijgt (en geeft) ondergaat een snelheidsverandering; hoe groot die is hangt af van de massa. Het produkt van massa en snelheid is per definitie de *impuls* (of ook wel de "hoeveelheid beweging"):

$$\text{impuls} = mv, \text{ dus impulsverandering} = mv_{\text{eind}} - mv_{\text{begin}}.$$

Verband tussen stoot en impulsverandering.
De versnellingswet, $F = ma$, kunnen we combineren met de definitie van versnelling (zie 6.3.). Dan staat er

$$F = m\,\frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{ofwel } F\,\Delta t = m\,\Delta v.$$

Dat laatste is een verkorte schrijfwijze voor

$$F\ (t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}) = m\ (v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}})$$

In woorden:

De stoot die een lichaam krijgt (en geeft) is gelijk aan de verandering van zijn impuls.

Voorbeelden.

1. Bij de botsingsproeven in 4.2. had de slee een snelheid van 50 km/uur, ofwel 14 m/s. De pop had een massa van 75 kg en kwam tot stilstand, bij de eerste filmopname, in ongeveer 0,060 seconde. De gemiddelde grootte van de kracht op de pop volgt uit $F\,\Delta t = m\,\Delta v$:

   $F \cdot 0{,}060 = 75 \cdot 14$, dus $F = 17.10^3$ N

De veiligheidsriem moet een kracht uitoefenen die meer dan 20 maal zo groot is als het gewicht van de pop (mg = 75 . 9,8 = 735 N).

2. Onderstaande tekening beeldt een proef uit met twee wagentjes, die aanvankelijk stilstaan. Een gespannen veer tussen de wagentjes is geblokkeerd door een pen, die bij een tik losschiet. De wagentjes geven elkaar via de veer een gelijke stoot en daardoor een even grote impuls, in tegengestelde richtingen. Na de "explosie" is

$$m_A \, v_A = m_B \, v_B$$

Heeft A bijvoorbeeld een tweemaal zo grote massa als B, dan krijgt hij een tweemaal zo kleine snelheid.

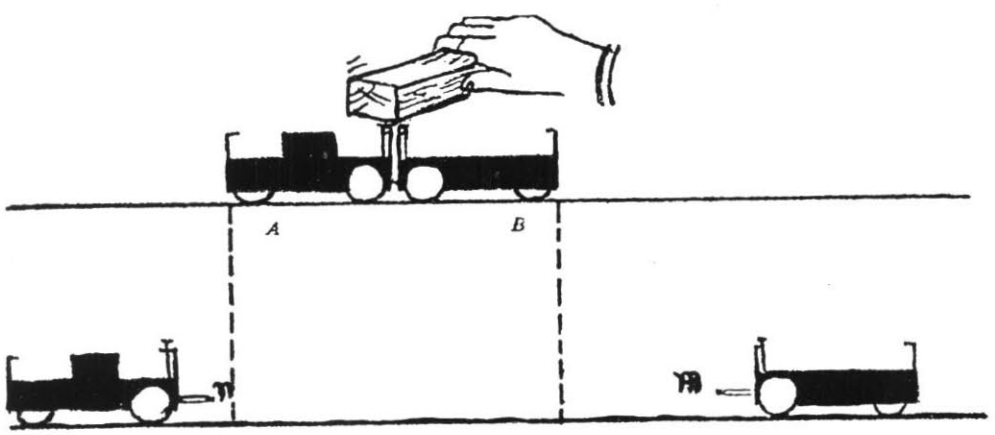


fig. 7.5 : A en B geven elkaar een even grote stoot en daardoor een even grote impuls

7.5. De wet voor kinetische energie en arbeid

Fietsend met constante snelheid moet je voortdurend arbeid verrichten, dus energie leveren. Houd je op met trappen, dan rijd je nog een eind door, zonder dat je spieren arbeid verrichten. Waar komt de energie dan vandaan?
Om het antwoord op deze vraag te vinden, moet je denken aan het begin van de rit. Je moest arbeid verrichten om je snelheid op te voeren. Daarmee geef je aan je fiets en aan je eigen lichaam een hoeveelheid bewegingsenergie - die energie gebruik je bij het uitrijden.
De bewegingsenergie, ofwel kinetische energie, wordt gedefinieerd als $\frac{1}{2} mv^2$. Dat is namelijk de arbeid die je moet investeren om een lichaam met massa m en een snelheid v te geven. Het algemene bewijs hiervoor is moeilijk; daarom volstaan we hier met een getallenvoorbeeld. Kies je andere getallen, dan komt het ook uit.

> Stel dat een wagentje van 5 kg, aanvankelijk in rust, gedurende 4 seconde versneld wordt door een constante kracht van 15 N. Volgens $F = ma$ krijgt het wagentje een versnelling van 3 m/s^2. Na 4 seconde is de snelheid toegenomen van 0 tot 12 m/s, gemiddeld was de snelheid 6 m/s. Voor de afgelegde weg geldt $s = \bar{v}t$ = 24 meter en voor de verrichte arbeid: $W = Fs$ = 15 . 24 = 360 J. Dit is gelijk aan $\frac{1}{2} mv^2$.

Definitie van de kinetische energie:

$$E_{kin} = \tfrac{1}{2} mv^2$$

Verband tussen arbeid en verandering van kinetische energie.
Algemeen is te bewijzen:

> *De verandering van de kinetische energie van een lichaam is gelijk aan de arbeid, verricht door de netto kracht die op dat lichaam werkt.*

In formule gebracht:

$$W = \tfrac{1}{2} mv^2_{eind} - \tfrac{1}{2} mv^2_{begin} \text{ of kortweg } W = \Delta E_{kin}$$

Je kunt hier bijvoorbeeld denken aan het geval dat je sneller gaat fietsen. Om je snelheid op te voeren, moet je de voorwaartse kracht groter maken dan de tegenwerkende krachten. De extra kracht, die voor de versnelling zorgt, levert de arbeid voor de vergroting van je kinetische energie.

Voorbeelden.
In de volgende voorbeelden is steeds òf de beginsnelheid òf de eindsnelheid nul. Dan is de arbeid Fs gelijk aan de kinetische energie $\frac{1}{2} mv^2$, die het lichaam had of kreeg.

1. De gemiddelde kracht bij een botsing kun je afleiden uit de vervorming, als je de massa en de snelheid voor botsing kent. Stel dat een auto met massa 1000 kg tegen een muur botst met een snelheid van 14 m/s (50 km/uur) en dat de motorkap 60 cm wordt ingedrukt.
   De kinetische energie was $\frac{1}{2} . 1000 . 14^2 = 98.10^3$ J. De kracht werkte over een weg van 0,60 meter dus
   $$F = \frac{98.10^3}{0,60} = 163.10^3 \text{ N.}$$

2. Bij stevigheidsproeven hijst men soms een auto een eind omhoog; dan laat men hem vrij vallen op een harde bodem. Hoe hoog moet men de auto uit het vorige voorbeeld ophijsen om hem te laten neerkomen met 14 m/s?
   De zwaartekracht moet 98.10^3 J arbeid leveren. De kracht bedraagt $m . g = 9,8.10^3$ N; de weg - in dit geval de hoogte - moet zijn
   $$s = \frac{98.10^3}{9,8.10^3} = 10 \text{ meter.}$$

3. Hoeveel vermogen gebruikt de auto in het testrapport (zie 6.3.) bij het optrekken?
   De auto trok in 6,3 seconde op van 0 tot 60 km/uur, dus tot 16,7 m/s. De massa was, met 2 inzittenden, 950 kg. De kinetische energie werd opgevoerd van 0 tot $\frac{1}{2} . 950 . 16,7^2 = 132.10^3$ J. Deze energie moest de motor leveren in 6,3 seconde; het daarvoor benodigde vermogen was
   $$P = \frac{132.10^3}{6,3} = 21.10^3 \text{ watt} = 21.10^3 \text{ kW}$$

7.6. Overzicht van grootheden en eenheden

In dit thema ben je heel wat natuurkundige "grootheden" tegengekomen - dat zijn zaken die in maat en getal zijn uit te drukken, zoals snelheid, kracht en arbeid. Door allerlei definities en wetten zijn die grootheden met elkaar verbonden; evenzo de bijbehorende eenheden.
Het internationale systeem van eenheden (système international d'unités, SI) is gebaseerd op de meter, de seconde en de kilogram.

grootheden			eenheden		
AFSTAND en afgelegde weg		s	METER		m
TIJD			SECONDE		s
	snelheid	$v = \frac{s}{t}$			m/s
	versnelling	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$			m/s^2
MASSA		m	KILOGRAM		kg
	impuls	mv			kg m/s
	kracht	$F = ma$		newton	N (=kg m/s^2)
	arbeid	$W = Fs$		joule	J = N.m
	kin. energie	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$			
	vermogen	$P = \frac{W}{t}$		watt	W = J/s

8. OPGAVEN

Bij dit thema wordt nog een verzameling opgaven gemaakt.
Die opgaven zullen zoveel mogelijk ontleend worden aan reële situaties in het verkeer. Natuurlijk zal het vaak nodig zijn die situaties wat te vereenvoudigen.

Het doel van de opgaven zal zijn:

- de belangrijkste punten uit het voorafgaande te refereren. Daarbij gaat het zowel om experimentele methoden als om theoretische regels
- de samenhang tussen experiment en theorie verder te verduidelijken
- het gebeurde ook in nieuwe situaties toe te passen
- aan te geven hoe in verkeersproblemen natuurkundige en technische "randvoorwaarden" gelden, waarbinnen mensen keuzen kunnen doen.

CC BY-NC-ND

9. KEUZEONDERWERPEN

Dit thema begon met een "brede" inleiding, waar in niet alleen natuurkundige en technische, maar ook maatschappelijke aspecten van verkeer ter sprake kwamen. Daarna werd de behandeling "smaller": hoofdzakelijk beperkt tot natuurkunde en techniek.
In de keuze-onderwerpen wordt het thema weer "breed". We denken bijvoorbeeld aan de bestudering van

- plaatselijke verkeerssituaties
- scheepvaart en luchtvaart
- treinen en spoorwegen
- verkeer en milieu
- verkeer en materiaalproblemen
- verkeerswetgeving
- het werk van de verkeerspolitie
- verkeer en werkgelegenheid
- openbaar en particulier vervoer

Deze ideeën moeten nog uitgewerkt worden, in samenwerking met de proefscholen.