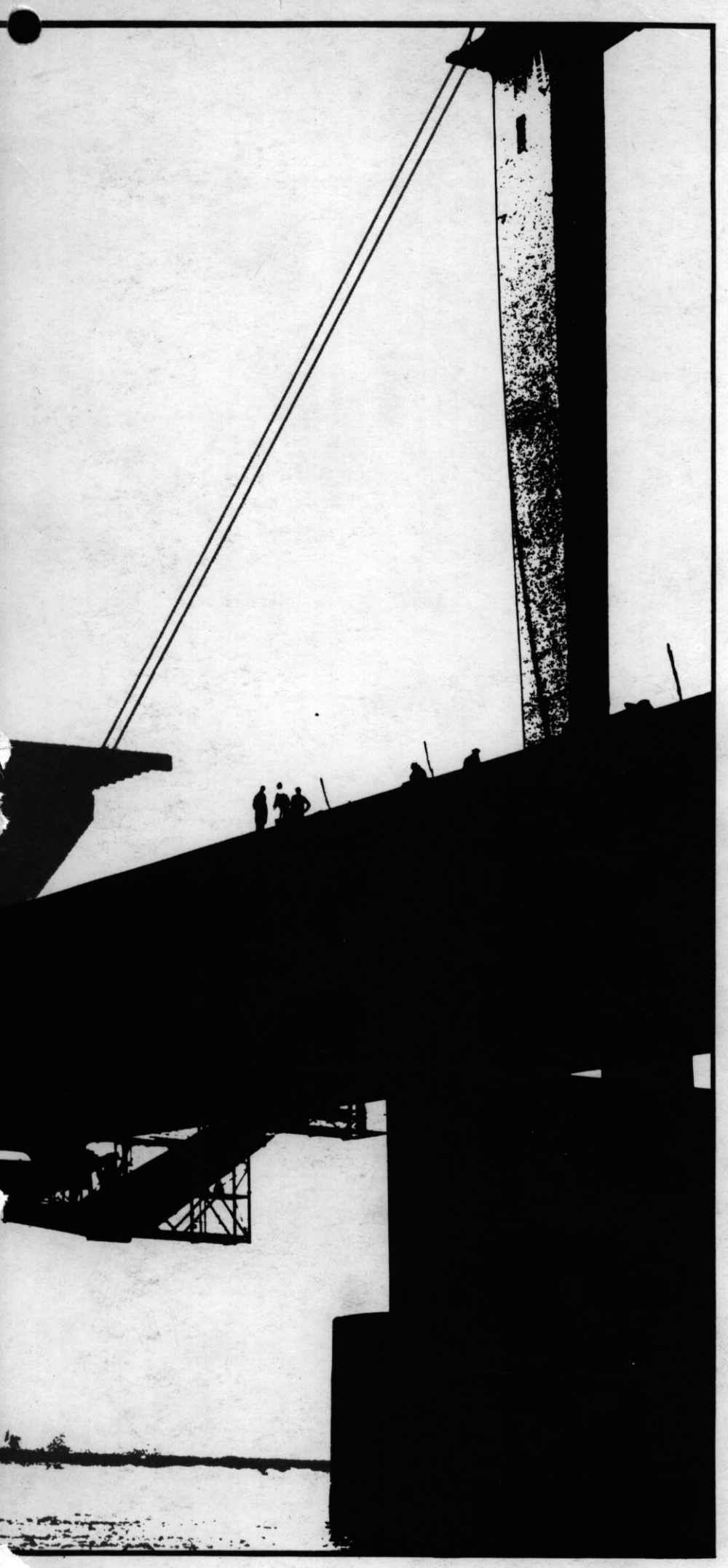


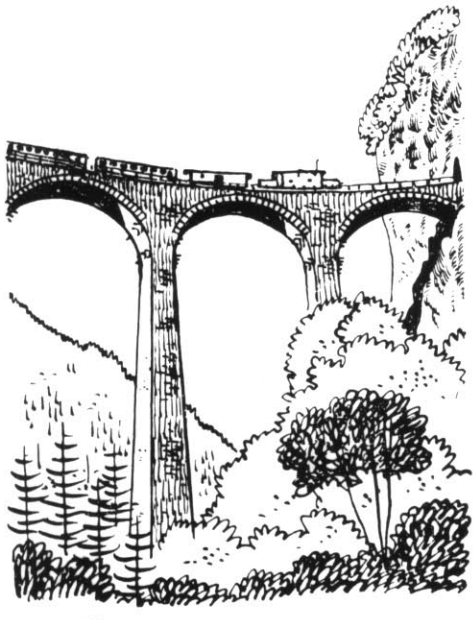
BRUGGEN

TER INZAGE

NIET MEENEMEN S.V.P.

PLON

BV UITGEVERIJ nib



Landwasserviaduct

BRUGGEN

Samengesteld door de projectgroep van het PLON voor de 3e klas

Experimentele uitgave

eerste druk *(2e oplage)*

PLON / BV UITGEVERIJ nib ZEIST

PROJECT LEERPAKKETONTWIKKELING NATUURKUNDE

* Het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) is in 1972 begonnen onder auspiciën van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN). De opdracht was: het ontwikkelen en door middel van onderzoek evalueren van leerpakketten voor natuurkundeonderwijs op mavo, havo en vwo, en het ontwerpen van een plan voor goed begeleide introductie daarvan in de scholen.

* Het PLON werkt onder toezicht van een stuurgroep waarin vertegenwoordigers uit het onderwijs, de vervolgopleiding, didactische instellingen, onderwijsondersteuningsinstituten, lerarenopleidingen en het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen vertegenwoordigd zijn.

* Het PLON is ondergebracht bij de Vakgroep Natuurkunde Didaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Deze vakgroep participeert tevens in de activiteiten ten behoeve van havo-bovenbouw. Ten behoeve van vwo-bovenbouw bestaat een samenwerkingsverband met de universiteiten van Amsterdam (GU) en Groningen, en groepen leraren die werken aan de ontwikkeling van lesmateriaal.

* Het adres van het PLON is:
PLON, lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA, de Uithof, Utrecht Tel. 030-532717

© 1981, 1983 Rijksuniversiteit Utrecht Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde/BV Uitgeverij N I B Zeist

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 uitgever.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without the prior permission of the publisher.

Experimentele uitgave

De nieuwe Willemsbrug over de Maas in Rotterdam, net voor die in 1981 geopend werd. Het is een tuibrug waarvan het stalen brugdek geheel vrij aan de A-vormige pylonen is opgehangen (foto Jan v.d. Meyden)

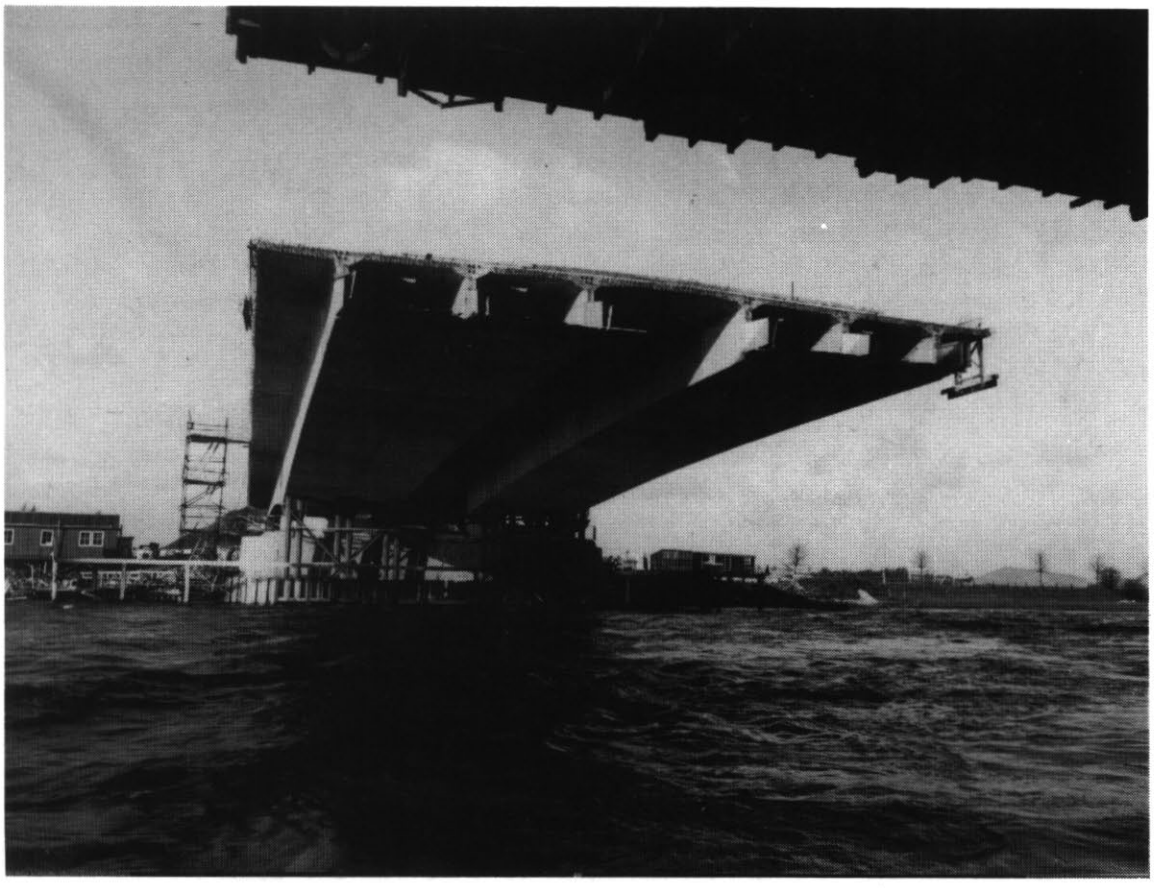
OVER DIT BOEK

Voor je ligt een boek over bruggen en andere constructies.
Het begint met een Inleiding over het thema *Bruggen*. Daarna volgen vier delen: een oriëntatiedeel, een theoriedeel, een onderzoekdeel en een leesdeel.
In het **oriëntatiedeel** ga je op een wat ongewone wijze kijken naar bruggen en hijskranen.
In het **theoriedeel** zal je leren over het waarom van de vorm en de gebruikte materialen van bruggen en hijskranen. Van dit deel is (bijna) alles voor iedereen verplicht.
Uit het **onderzoekdeel** kiest ieder een onderzoek dat hij met zijn groep gaat uitvoeren.
In het **leesdeel** staat een aantal leesteksten die je bij je onderzoek of rapportage kunt gebruiken of die je zomaar kunt lezen als je ze leuk vindt. De leesteksten zijn niet verplicht.

Inhoud

Inleiding	blz. 5
Oriëntatie	blz. 9
Theorie	blz. 21
Onderzoeken	blz. 59
Leesteksten	blz. 79

Aan het begin van elk deel staat een uitvoerige inhoudsopgave.
Veel kijk-, leer-, bouw- en leesplezier!



De brug bij Wessem in aanbouw (boven) en in voltooide toestand (onder). Door een goed bouwplan, door goede materialen te kiezen en door een goede vorm is hier een stevige brug gemaakt zonder dat het scheepvaartverkeer veel hinder heeft gehad tijdens de bouw. De brug is gemaakt met de methode van de 'vrije uitbouw' met stukken voorgespannen beton (zie leestekst 2 op blz. 87). Op de bovenstaande foto kun je duidelijk de kokervormige betonnen ondersteuning (zie blz. 32 en 71) zien. (foto's Rijkswaterstaat)

inleiding

WAAROM 'BRUGGEN'?

Overal in Nederland vind je bruggen. Daar ben je aan gewend en daarom kijk je er maar zelden naar. Maar je kunt ze echt niet missen. Misschien moet je wel over een brug heen als je naar school gaat. Reken maar eens uit hoeveel je moet omrijden als die brug kapot gaat! Per jaar worden vele miljoenen guldens uitgegeven aan het bouwen van bruggen. De nieuwe Willemsbrug in Rotterdam bijvoorbeeld, die in juli 1981 geopend is, heeft ongeveer 100 miljoen gulden gekost! Alleen aan dat bedrag zie je al dat bruggen ontzettend belangrijk zijn. Toch is dat niet de enige reden om een heel thema over bruggen (en hijskranen!) te maken. Aan de hand van bruggen kan je een hele hoop dingen leren over constructies, die je bij wijze van spreken dagelijks kunt gebruiken en niet alleen als je bruggenbouwer wordt. Bijvoorbeeld: hoe kan je een wiebelende boekenkast verstevigen? Hoe kan je een televisie-antenne steviger op het dak zetten? Hoe kan je met zo min mogelijk moeite een plank loswrikken? Wat kan je doen om een voorwerp dat snel omvalt steviger neer te zetten?
Verder is het ook gewoon leuk iets te gaan begrijpen van bruggen door er met je handen en met je hoofd mee bezig te zijn. Allemaal goede redenen om aan de gang te gaan met dit thema.

WAT GAAT ER IN DEZE LESSENSERIE GEBEUREN?

Bruggen is het eerste thema van de derde klas mavo-havo-vwo. Het gaat ongeveer een maand duren. In de *oriëntatieperiode* ga je met elkaar vooral kijken naar de vorm en de materialen van bruggen en hijskranen op foto's en in je omgeving. De theorie leer je door een aantal eenvoudige proefjes te doen en daarover een aantal opdrachten uit te voeren. Dat kun je met elkaar in een groep doen. Je leraar of lerares kan ook stukjes klassikaal uitleggen.
In de *onderzoeken* ga je met een groep een brug of een hijskraan bouwen en je gaat vervolgens je bouwsel proberen te verbeteren. Of je gaat een onderzoekje doen naar de sterkte van papier als je het in verschillende vormen vouwt, naar evenwicht of stabiliteit. In een *rapportage* of een *demonstratie* voor de klas laat je groep zien wat er onderzocht is en wat de conclusies zijn.
Aan het *eind van het thema* krijg je een proefwerk over het theoriedeel, over de voornaamste conclusies van de onderzoeken die door de groepen gedaan zijn. Dat gedeelte is voor de hele klas hetzelfde. Een ander deel van het proefwerk gaat dieper in op jouw onderzoeken. Dat deel is dus niet voor iedereen gelijk.

In jouw klas kunnen de lessen wat anders lopen. Dat hoor je wel van je leraar.

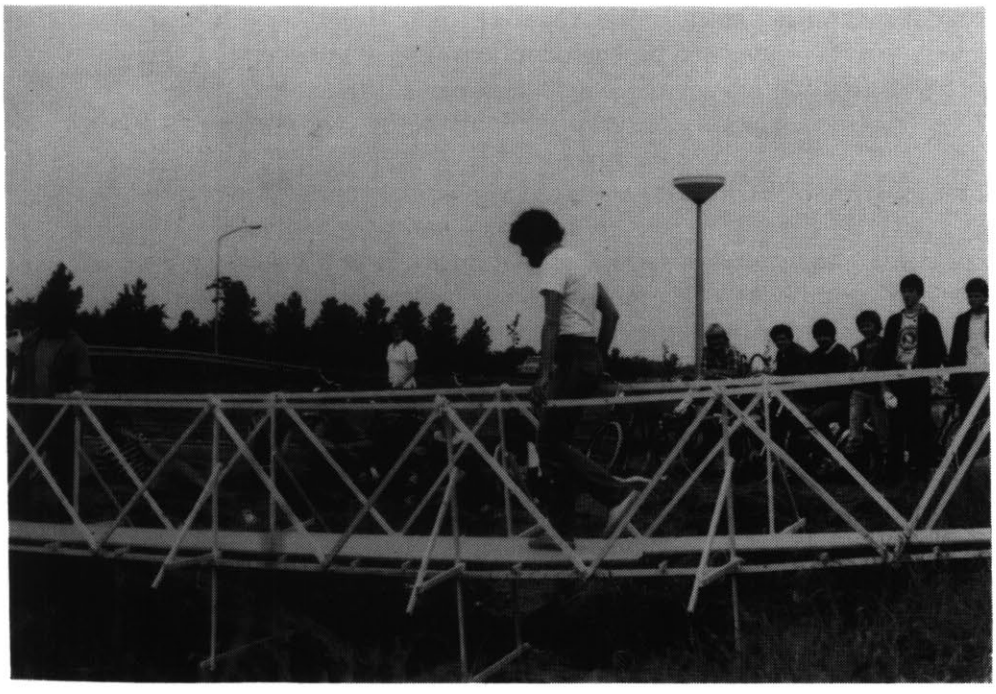
WAT KUN JE LEREN VAN DIT THEMA?

In het *oriëntatiedeel* leer je verschillende soorten bruggen herkennen en kom je al iets te weten over materiaalgebruik. Verder kom je te weten dat bruggen wat speling moeten hebben vanwege uitzetting op warme dagen.

Het *theoriedeel* bestaat uit vier hoofdstukken.
In hoofdstuk 1 leer je over materiaalspanningen: duw-, trek en buigspanningen.
In hoofdstuk 2 leer je hoe je een brug zo stevig mogelijk kan maken door een juist materiaal en een daarbij passende vorm te kiezen.
In hoofdstuk 3 leer je over gewichten en tegenwichten bij beweegbare bruggen en bij hijskranen. Je moet daar kunnen rekenen met gewichten, tegenwichten en afstanden tot de draai-as.
In hoofdstuk 4 leer je wat je kunt doen om een voorwerp (bijv. hijskraan) zo stevig mogelijk neer te zetten dat het niet omvalt (stabiliteit). Je leert het zwaartepunt van een voorwerp bepalen en je leert hoe de ligging van het zwaartepunt samenhangt met de stabiliteit van het voorwerp.

In de *onderzoeken* heb je de theorie nodig om in allerlei constructies verbeteringen aan te brengen.
In onderzoek 1 bouw je een brug en belast je die. Door te letten op de vervormingen die optreden en door toe te passen wat je geleerd hebt over materiaalspanningen ga je proberen de brug zo stevig mogelijk te maken.
In onderzoek 2 bouw je een hijskraan en ga je die verbeteren op eenzelfde wijze als bij proef 1 beschreven staat.
In onderzoek 3 ga je de maximale belasting van een hijskraan op verschillende plaatsen bekijken. Je gaat daarbij de invloed van het tegenwicht na.
In onderzoek 4 ga je (bijv. van papier) allerlei vormen pijlers, balken en brugdekken maken. Die ga je belasten en proberen te verbeteren.
In onderzoek 5 ga je allerlei onderzoekjes met 'laten draaien' doen.
In onderzoek 6 ga je allerlei voorwerpen maken die door kunstgrepen verrassend stabiel blijken te zijn.

Door *demonstraties* leer je de belangrijkste conclusies van de andere groepen kennen.



Leerlingen van de Rijksscholengemeenschap Schagen hebben een echte brug gemaakt over een sloot van 7,5 m.
Hier wordt de brug belast met de leraar

WERKEN IN EEN GROEP

In de tweede klas heb je al veel in een groep gewerkt. Ook in de derde klas zal dat weer veel voorkomen. Een belangrijke activiteit van de groep is, gezamenlijk tot een werkplan te komen en daarin taken te verdelen. Dat moet je dus met elkaar bespreken. Dat kan soms behoorlijk moeilijk zijn.

Om zo'n bespreking goed te laten verlopen, is het soms nodig:
- dat de bespreking wordt voorbereid
- dat je zorgt dat je bij het onderwerp blijft
- dat je voorkomt dat iedereen door elkaar gaat praten
- dat je de tijd in de gaten houdt
- dat je zorgt dat de groepsleden niet langs elkaar heen gaan praten, maar goed naar elkaar luisteren.

Je kunt deze dingen met z'n allen proberen te doen. Maar je kunt ook een of meer groepsleden aanwijzen, die speciaal voor deze dingen zorgen. Vooral als de groep wat groter is, kan dat nuttig zijn. Als er al een of twee besprekingen mislukt zijn, moet je toch eens kijken of niet iemand 'gepreksleider' zou willen zijn. Dat kan ook best telkens iemand anders zijn.

- *Zorg ervoor dat het duidelijk is wat je met elkaar gaat doen:*
  De gepreksleider kan dat zelf proberen te zeggen. Hij kan ook vragen: 'Zou iemand willen zeggen wat we nu gaan doen?' Daarna kun je dan vragen of dat iedereen duidelijk is, of er nog vragen hierover zijn. Je kunt het in ieder geval zelf ook nog een keer zeggen. Wees niet te gauw tevreden!
  Vaak blijkt halverwege dat iemand nog steeds niet begrepen heeft, waar het nu eigenlijk om gaat.

- *Zorg ervoor dat iedereen elkaar zoveel mogelijk begrijpt:*
  Het komt erg vaak voor dat mensen elkaar niet begrijpen. Als dan de een wat zegt, geeft de ander een antwoord, dat als een tang op een varken slaat. Je kunt vaak helpen om duidelijk te maken wat iemand bedoelt.
  Dat kun je bijv. doen door te vragen: 'Ik snap niet wat Jan zegt. Wil je het nog eens zeggen, Jan?'

- *Zorg ervoor dat iedereen zijn mening aan bod komt:*
  Soms merk je dat er in de groep mensen zitten, die niet goed kunnen luisteren en steeds aan het woord zijn. Daardoor kan het gebeuren, dat aan het einde een heleboel mensen nog steeds niets hebben gezegd. Je kan dat voorkomen door af en toe te vragen of ook anderen nog wat te zeggen hebben 'prima, dat is jouw mening. Vinden de anderen dat ook?' Je moet proberen niemand af te kraken. Bedenk ook dat als iemand niets wil zeggen, dat ook mag.

– *Vat op tijd samen wat er gezegd is:*
Als de bespreking op z'n eind loopt (omdat er een beslissing genomen is, of omdat de tijd om is) moet je natuurlijk nog even vaststellen wat je nu bereikt hebt. Bijv. door te zeggen: 'We hebben dus in ieder geval besloten om . . . Het is nog niet zeker of . . . En we zijn het nog niet eens over . . . .' Je kunt natuurlijk vooral in een grotere groep ook de taken verdelen bijv..iemand die zorgt, dat er niet van het *onderwerp* wordt afgeweken, een ander die alleen oplet of de groepsleden elkaar wel *begrijpen* en een die de *tijd* in de gaten houdt. Probeer het maar eens.

Wat hier staat voor het *bespreken* in een groep kan ook gezegd worden voor het *onderzoeken of maken* van een brug. Dat doe je ook met elkaar. Dan moet je er dus ook voor zorgen dat ieder mee kan bouwen of met zijn ideeën aan bod komt. En iedereen moet natuurlijk weten wat er gebeurt.

Als je zo met elkaar een onderzoek hebt opgezet en uitgevoerd, moet ook ieder groepslid weten en kunnen vertellen wat de resultaten zijn. Vertel dat dus aan elkaar en bereid met elkaar de demonstratie voor!

ONDERZOEK DOEN IN DE DERDE KLAS: VOORTBOUWEN OP 'WERKVRAGEN' EN 'OPZOEKVRAGEN'

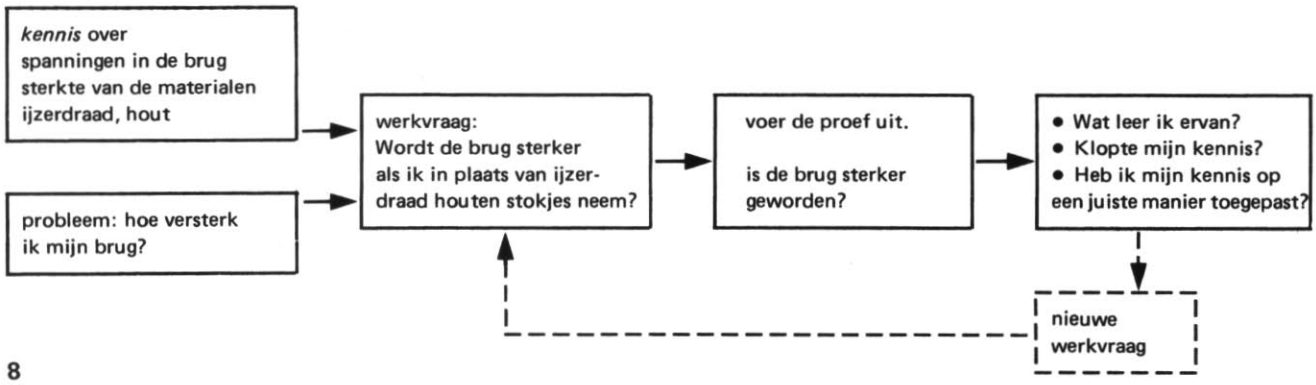
In de tweede klas heb je geleerd hoe je een onderzoekje kunt opzetten en uitvoeren. Daarbij was het van groot belang dat je een goede onderzoekvraag had die je moest gaan beantwoorden. Je hebt toen geoefend met 'werkvragen' en 'opzoekvragen'.

– Probeer nog eens te zeggen wat er bedoeld wordt met een 'werkvraag' en een 'opzoekvraag'.

Bij het uitvoeren van proefjes in het onderzoek waren vooral de werkvragen van belang. Als je bij *Werken met water* een waterpistool ging onderzoeken kon je de werkvraag stellen:
Spuit het waterpistool verder als ik het gaatje groter maak?
Bij *Bruggen* en ook in de andere thema's van de derde klas spelen de 'werkvragen' ook weer een rol bij de onderzoeken. Maar omdat je nu al veel meer van natuurkunde weet, kan je moeilijkere werkvragen stellen: vragen die je kan stellen omdat je al wat (theorie) kent. Kijk maar eens naar het volgende voorbeeld:

Erik en Jacob hebben een treinbaan. Zij willen zelf een brug voor hun trein gaan bouwen en ze gaan eens rond kijken hoe ze dat kunnen doen. De meeste spoorbruggen zijn van ijzeren balken gemaakt, ontdekken ze. Zij vragen zich af of ze hun spoorbrug ook van ijzeren balken kunnen bouwen. Maar hoe komen ze aan zulke kleine ijzeren balken als er voor hun model spoorbrug nodig zijn? Misschien kunnen ze een ander materiaal gebruiken. Welk dan? Daarvoor moeten ze eerst weten wat het voordeel is van ijzeren balken als bouwmateriaal voor de spoorbrug. 'Nou' zegt Jacob, 'dat weet ik wel. Bij *Mensen en metalen* hebben we gezien dat ijzer stevig is. Laten we de brug van ijzerdraad bouwen.' 'Dat is toch niet stevig genoeg. Dat buigt snel en heeft geen vering. Ze hebben niet voor niets ijzeren *balken* genomen! Zouden we geen houten stokjes kunnen gebruiken en die "ijzerachtig" kunnen verven?'

Uit dit voorbeeld zie je dat Erik en Jacob kennis die ze al geleerd hebben gebruiken om een werkvraag te stellen. Bij *Bruggen* zal jij ook nieuwe dingen leren o.a. over materiaalspanningen die je daarna kan gebruiken om een heel nieuwe werkvraag te stellen. Bijvoorbeeld voor het versterken van een brug. Zal mijn brug steviger worden als ik in plaats van materiaal ijzerdraad het materiaal hout gebruik, dat beter tegen buigen kan? Je kunt dat zo in schema zetten:



oriëntatie

inhoud

1	Bruggen in je omgeving	blz. 11
2	De vorm van bruggen	blz. 12
3	Uitzetten en inkrimpen van bruggen	blz. 20

Hier zie je op de foto enkele belangrijke onderwerpen van dit boek: verschillende soorten bruggen (een dubbele basculebrug en een hefbrug) waar een grote drijvende hijskraan onderdoor getrokken wordt door de sleepboot *Broedertrouw 1*. Deze bruggen zijn in Dordrecht te vinden (foto's Rijkswaterstaat)

1 bruggen in je omgeving

In elke stad en elk dorp vind je wel een aantal bruggen: bruggen over water of over andere wegen heen, ophaalbruggen, spoorbruggen, viaducten enz. Bijna geen één brug is gelijk aan een andere. Er zijn veel soorten bruggen, allemaal met een eigen karakteristieke vorm. Let daar maar eens op.
De vorm van een brug wordt onder andere bepaald door de vraag:
– in welke tijd is de brug gebouwd?
– wat vond men in die tijd mooi?
– van welk materiaal is de brug gebouwd?
– hoe groot is de afstand die de brug moet overspannen?
– hoeveel verkeer moet er over de brug?
– moet de brug beweegbaar zijn?
– werd het scheepvaartsverkeer niet gestoord tijdens de bouw (bij een brug over water)?

In dit thema ga je kijken naar de vorm van de brug en de gekozen bouwmaterialen. Je gaat leren over de *spanningen* die in de brug kunnen optreden en over welke *materialen* die spanningen kunnen verdragen. Je kunt daar ervaring bij opdoen door zelf een brug te bouwen. Verder leer je over gewicht en tegenwicht bij een draaibrug. Tot slot gaat het over stabiliteit: een brug moet zó stevig staan, dat hij niet omgeblazen kan worden. Gewicht en tegenwicht en stabiliteit worden ook toegepast op andere constructies, zoals hijskranen.

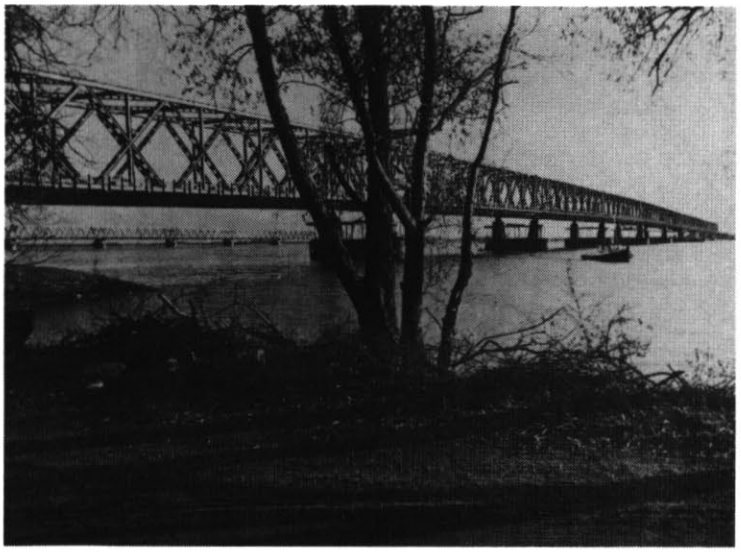
Opdracht 1

1 Bekijk de bruggen die je op weg van school naar huis tegenkomt. Bekijk ook andere bruggen in je omgeving.

2 Schets enkele bruggen na in je schrift. Let daarbij goed op, hoe de brug in elkaar zit. Bijvoorbeeld: hoe zijn de onderdelen met elkaar verbonden; hoe lopen de staven, kabels of balken?

3 Welke materialen worden er vooral gebruikt voor de bruggen, die je getekend hebt? Zijn er materialen die je wel voor het ene onderdeel, maar beslist niet voor het andere onderdeel kunt gebruiken?
Welke verschillen zijn er in materiaal gebruik tussen moderne bruggen en oudere bruggen?

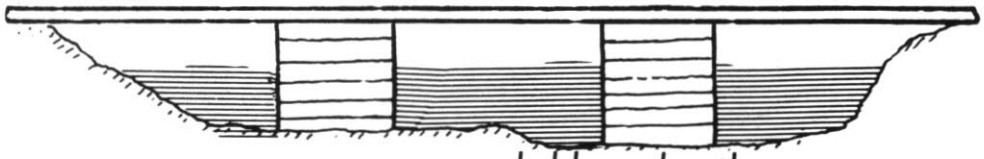
Opdracht 2 Voer opdracht 1 ook uit voor een hijskraan, die in de bouw gebruikt wordt.



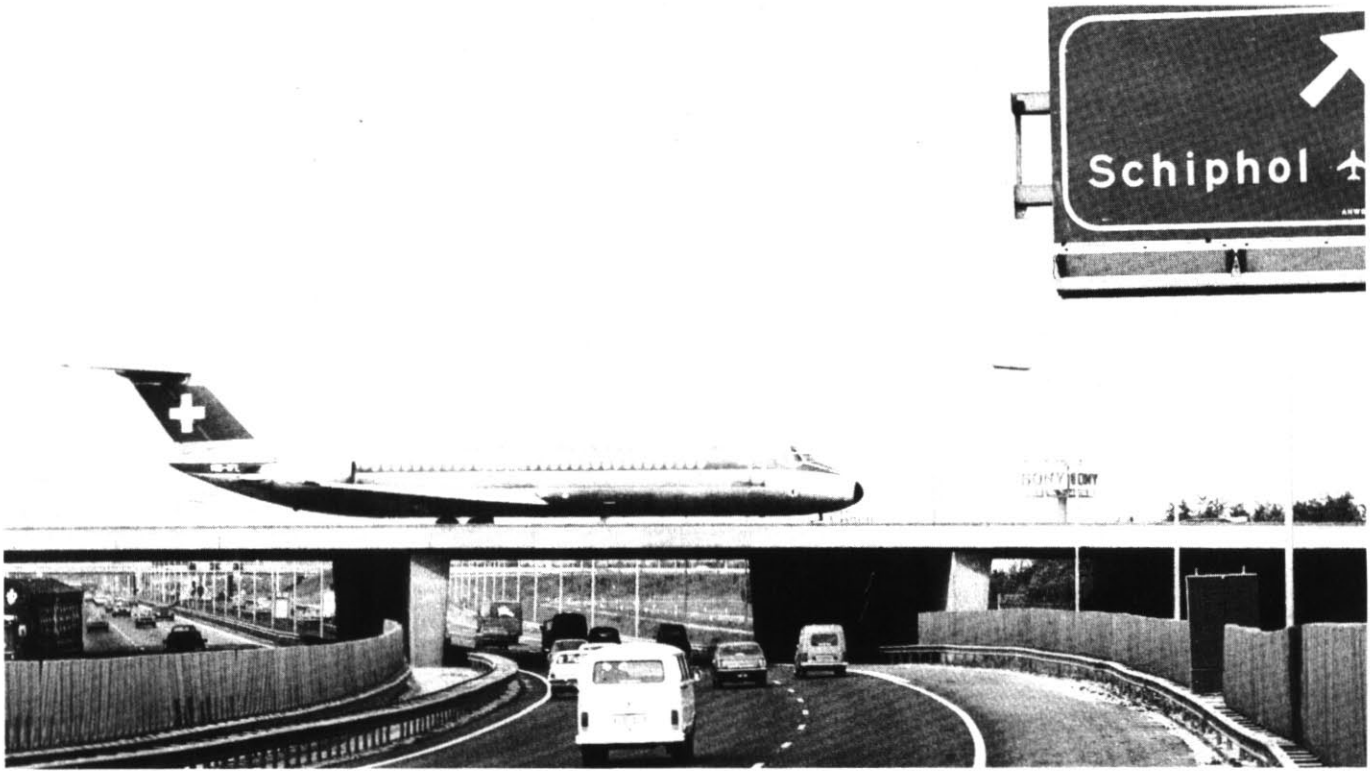
Welke zeer bekende brug heeft er tot voor enkele jaren zo uitgezien? Deze vormde een belangrijke schakel tussen Noord en Zuid Nederland. Hij is er nog, maar ziet er nu totaal anders uit
(foto Rijkswaterstaat)

2 de vorm van bruggen

De eenvoudigste brug is een vlakke plaatbrug: Een plaat die van oever tot oever loopt. Als de overspanning te groot wordt, kan de plaat op verschillende punten door pijlers ondersteund worden. Een foto van een hele oude vlakke plaatbrug in Engeland vind je in leestekst 1 op blz. 82.

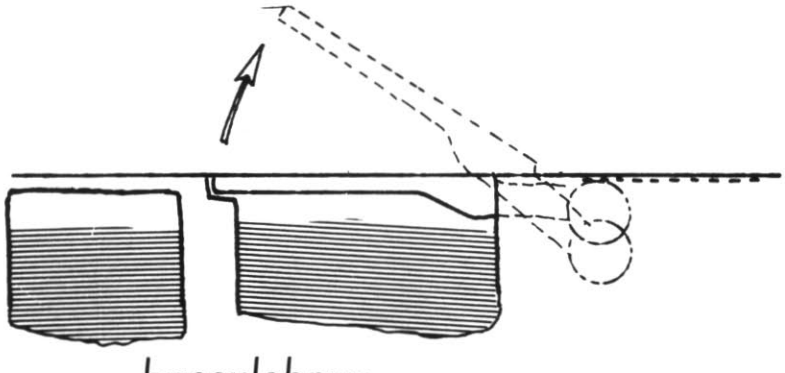


vlakke plaatbrug



Een sterk voorbeeld van een vlakke plaatbrug

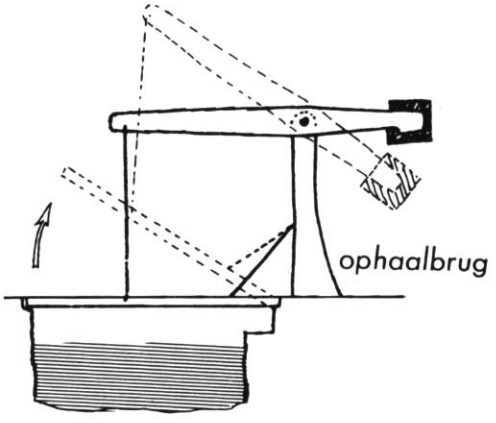
Als de brug beweegbaar moet zijn, kan dat in de vorm van een basculebrug:



basculebrug

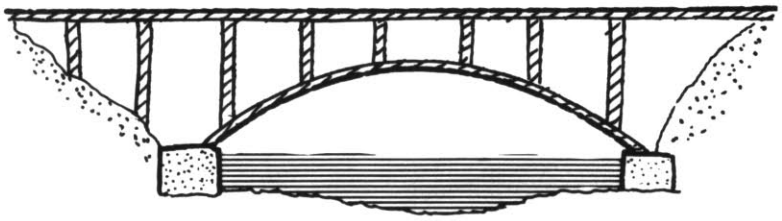
Een basculebrug in Utrecht

of een ophaalbrug:

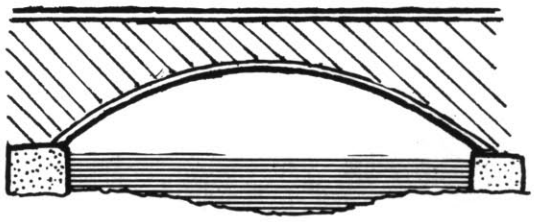


Ophaalbrug van Kasteel Nijenrode aan de Vecht

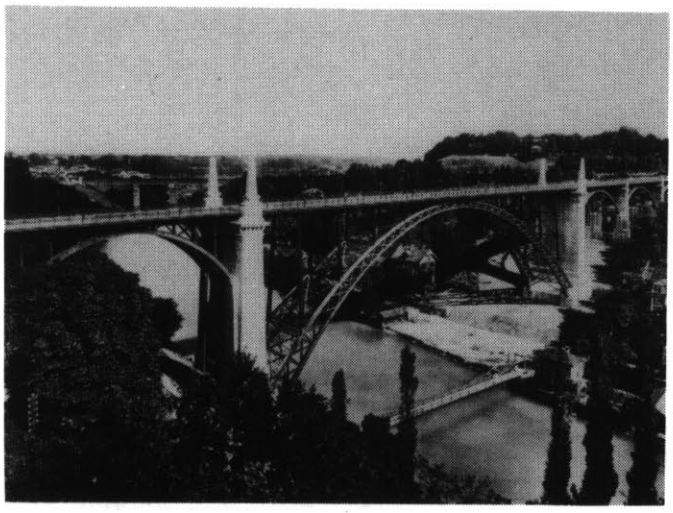
Het wegdek kan verstevigd worden door onder het wegdek extra balken of een boog aan te brengen.



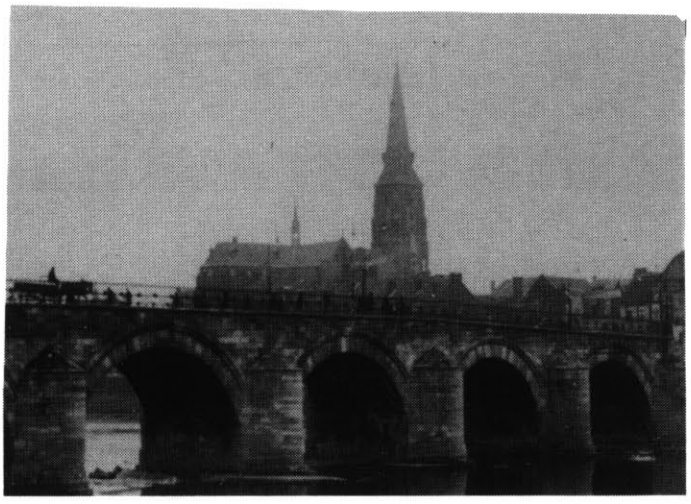
open boogbrug



gesloten boogbrug

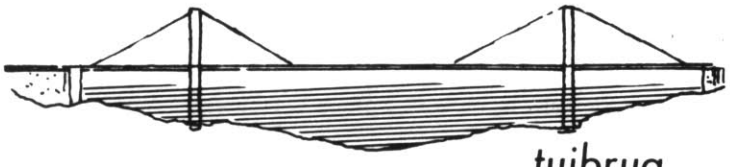


Vooral in de bergen vind je open boogbruggen

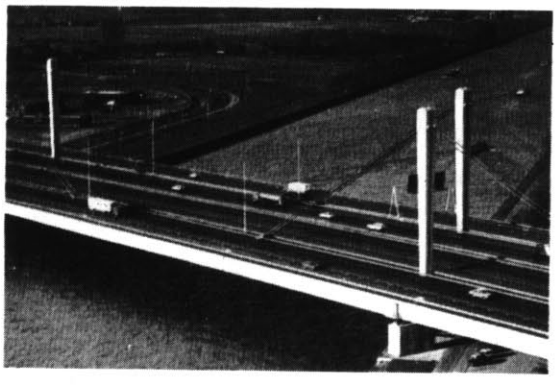


De middeleeuwse stenen boogbrug van Maastricht

Vooral bij grote overspanningen wordt gebruik gemaakt van een bovenbouw om de brug sterker te maken. De brug kan opgehangen worden aan een tuiwerk:



tuibrug



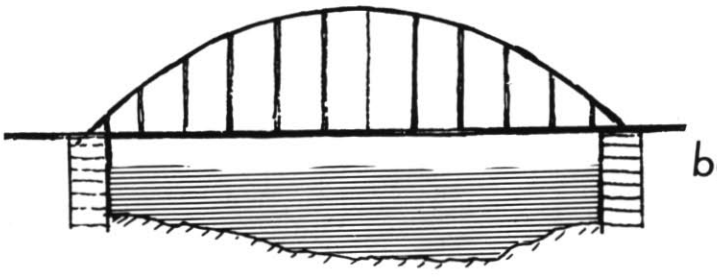
De Galecopperbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Utrecht (tuibrug)

of aan een hangwerk.

hangbrug

Hangbruggen vind je niet veel in Nederland

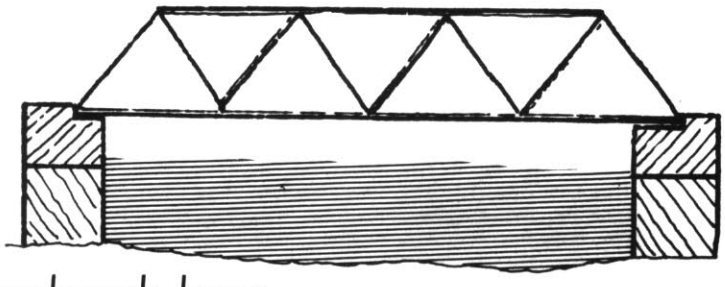
Een andere methode om de brug te versterken is door het wegdek op te hangen aan een boog. De boog is meestal van beton of ijzer en het brugdek is opgehangen aan stalen kabels.



boogbrug

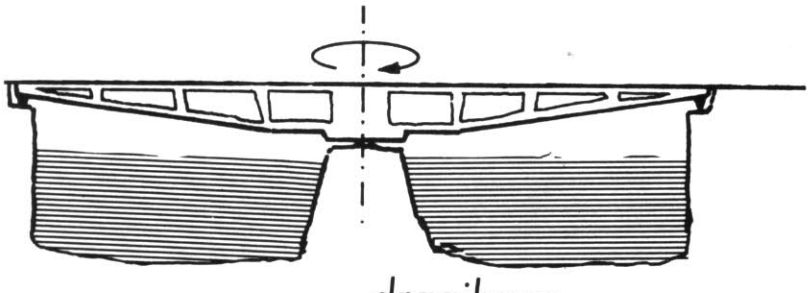
Twee boogbruggen naast elkaar: de spoorbrug en de verkeersbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Utrecht.
De fabriekspijpen zijn van een elektriciteitscentrale

Bij stalen bruggen vind je vaak een stalen bovenbouw, bestaande uit driehoeken. Door die bovenbouw wordt de brug aanzienlijk sterker. Enkele vormen hiervan zijn:

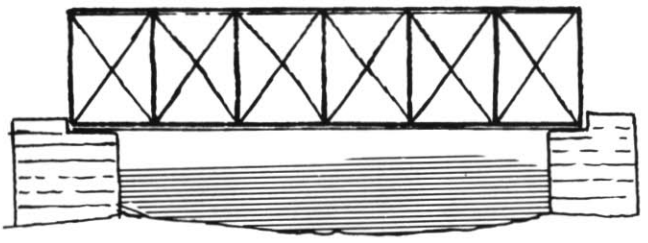


vakwerk brug

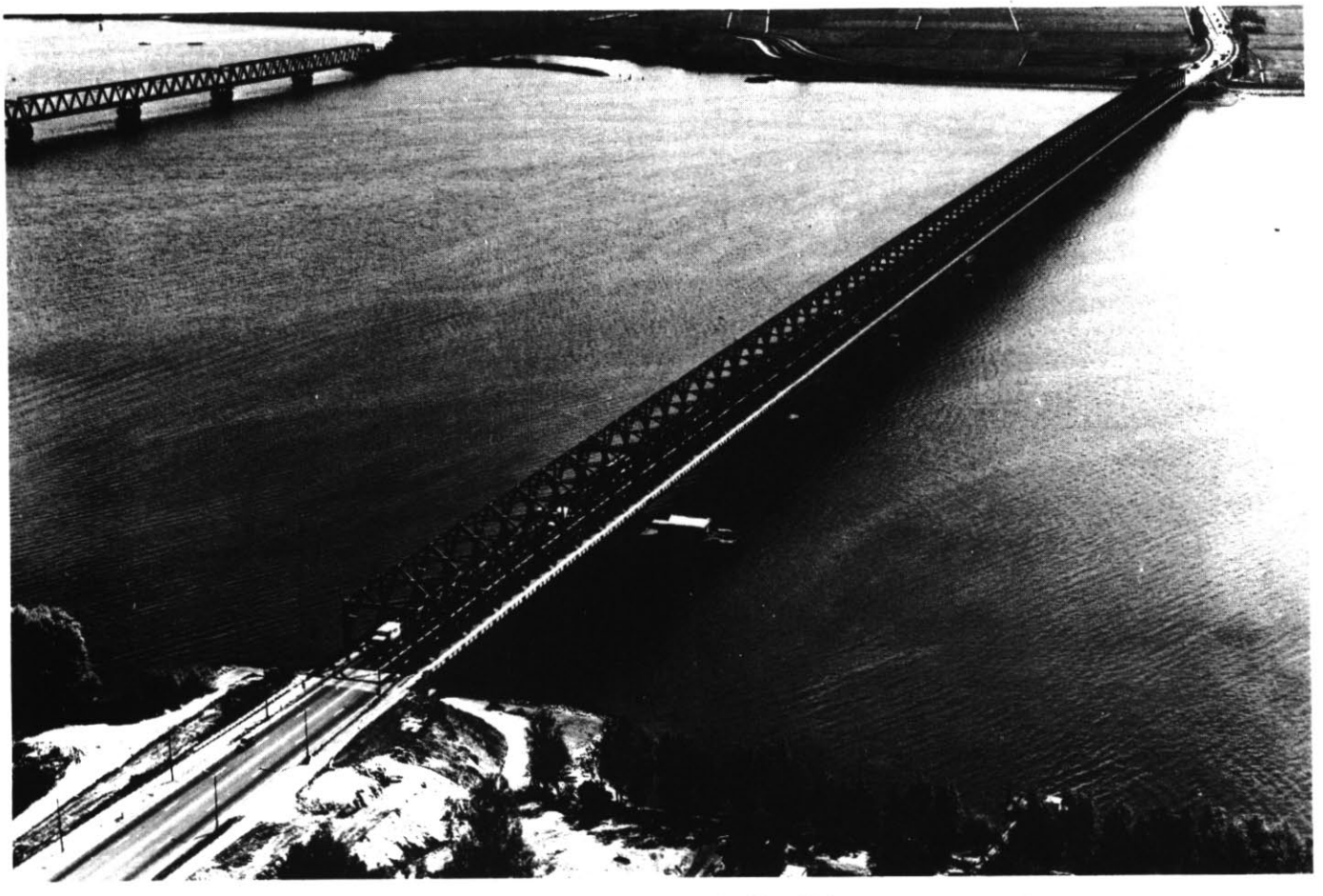
Deze vakwerkbrug bij Sluiskil is draaibaar om de middelste ronde pijler (foto Rijkswaterstaat)



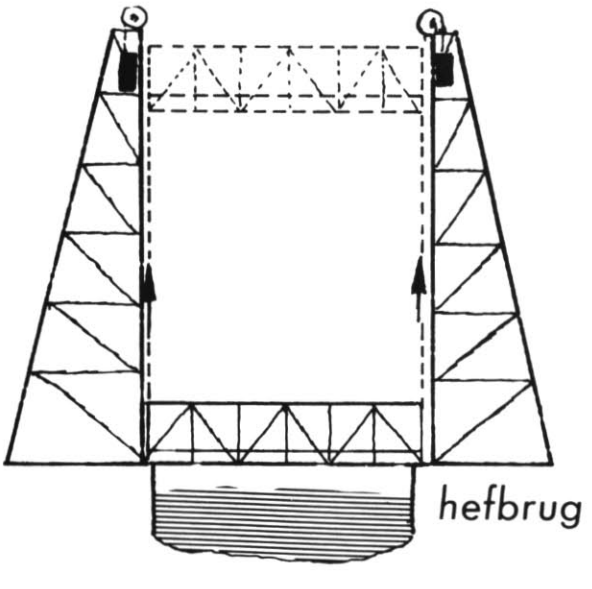
draaibrug



tralie liggerbrug



De Moerdijkbrug zoals die er tot 1978 uitzag, was een tralie liggerbrug. Inmiddels zijn alle brugdelen vervangen door veel bredere, vlakke plaatdelen van voorgespannen beton. Zie leestekst 3. De vakwerkbrug op de achtergrond is de spoorbrug (foto Rijkswaterstaat)

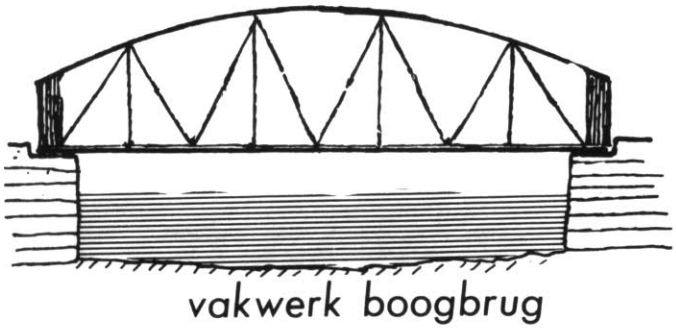


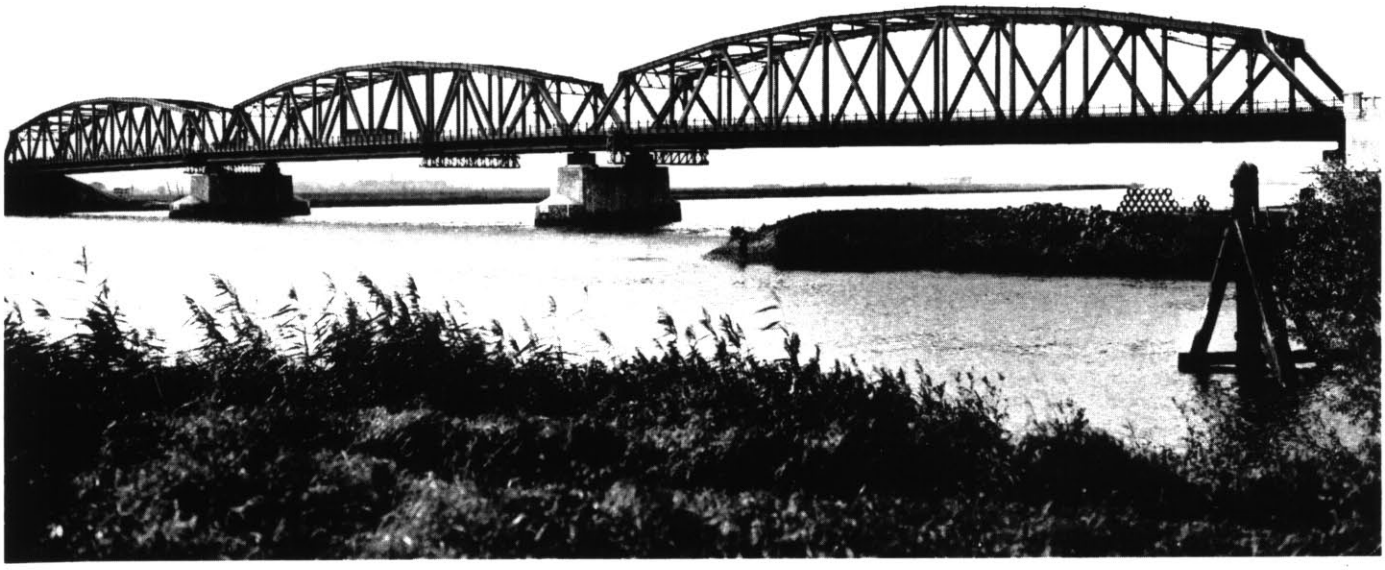
hefbrug

Als hoge schepen een vakwerkbrug moeten passeren, kiest men vaak voor een hefbrug. Een brugdeel kan daarbij met behulp van contragewichten omhoog gebracht worden.

Deze hefbrug kan je over de Gouwe bij Boskoop vinden

Er bestaan nog meer soorten bruggen. Meestal betreft het mengvormen van de genoemde soorten. Bijvoorbeeld de vakwerkboogbrug.

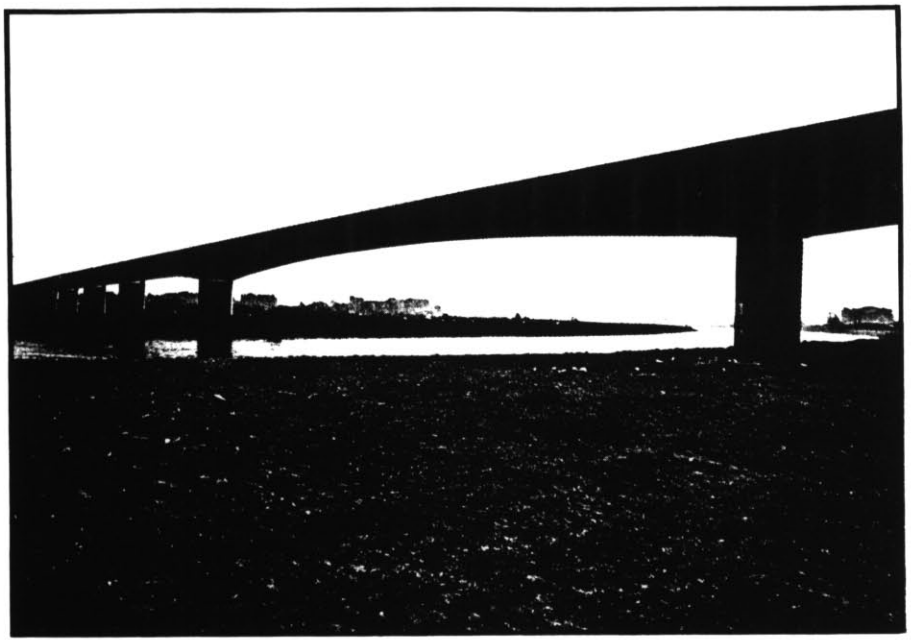




De oude verkeersbrug bij Keizersveer, een vakwerkboogbrug. Inmiddels zijn deze brugdelen vervangen door de oude brugdelen van de Moerdijkbrug (zie leestekst 3) (foto Rijkswaterstaat)

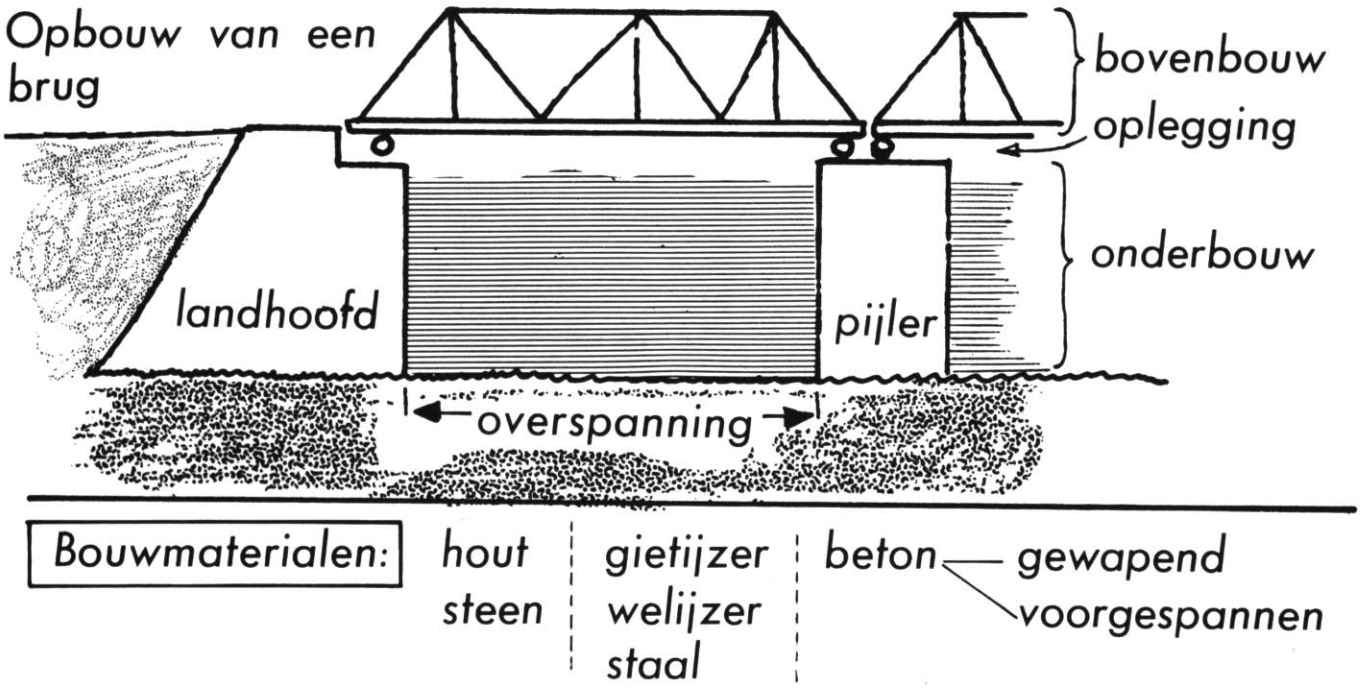
Opdracht 3 Probeer van de foto's af te lezen van welke materialen de hiervoor afgebeelde bruggen gemaakt zijn. Waaraan zie je dat?

De vorm van de brug wordt sterk bepaald door het gebruikte materiaal. Tot ca. 1800 werden vrijwel alle bruggen van steen of hout gemaakt. Er waren slechts kleine overspanningen mogelijk. Met de komst van stalen bruggen namen de mogelijkheden toe.
Na 1945 werd staal in toenemende mate vervangen door gewapend beton. Met name met de moderne methode van voorgespannen beton (zie leestekst 2) en door het gebruik van 'lichtbeton' (lichter dan gewoon beton) zijn zeer grote overspanningen zonder boven of onderbouw mogelijk.



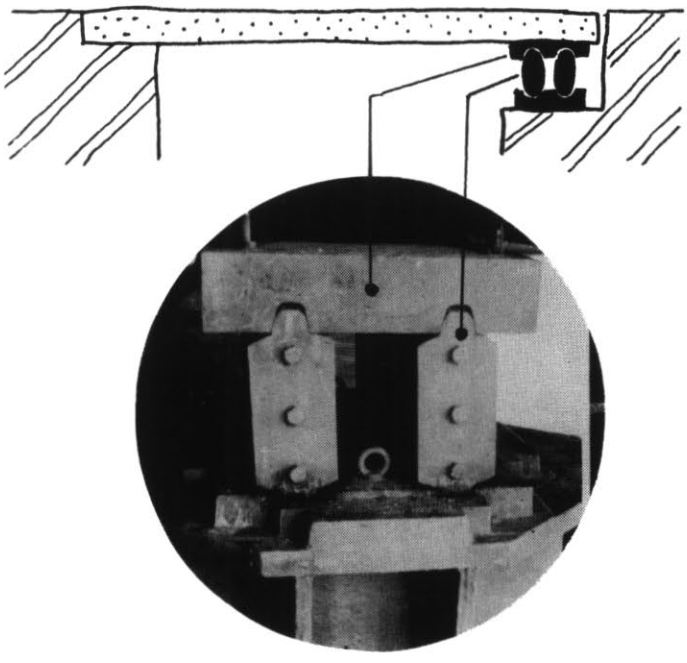
De brug over de IJssel bij Zutphen is gemaakt van voorgespannen lichtbeton. De grootste overspanning is 126 m (foto Rijkswaterstaat)

Tot slot zie je hier een overzichtje van de opbouw van een brug en de gebruikte materialen:

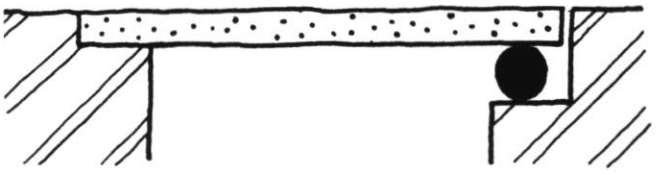


3 uitzetten en inkrimpen van bruggen

Bruggen zetten uit door temperatuurveranderingen, net als alle materialen. Om schade te voorkomen is het brugdek aan een kant vastgezet; aan de andere kant kan het brugdek uitzetten d.m.v. scharnieren of rollen.



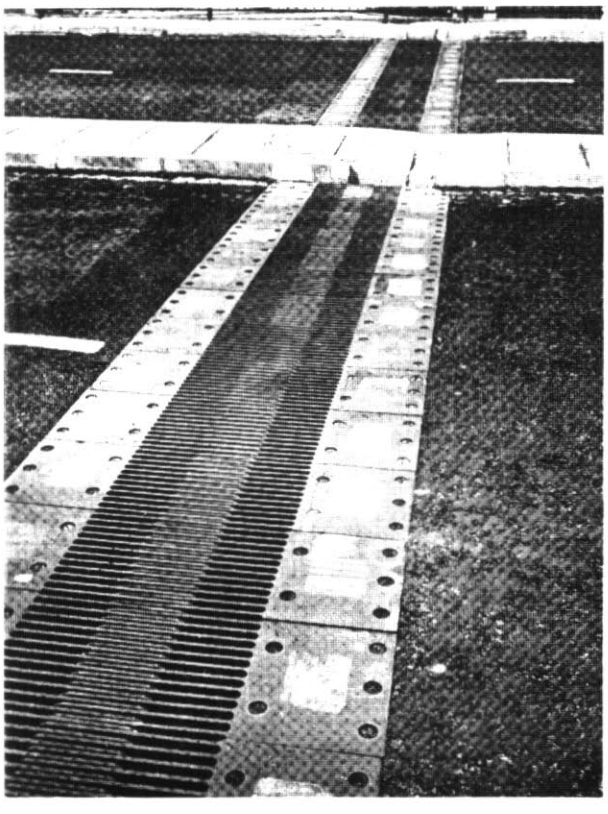
Als de brug gaat uitzetten, bewegen de scharnieren of de rollen mee. Een brug zet uit bij verwarming



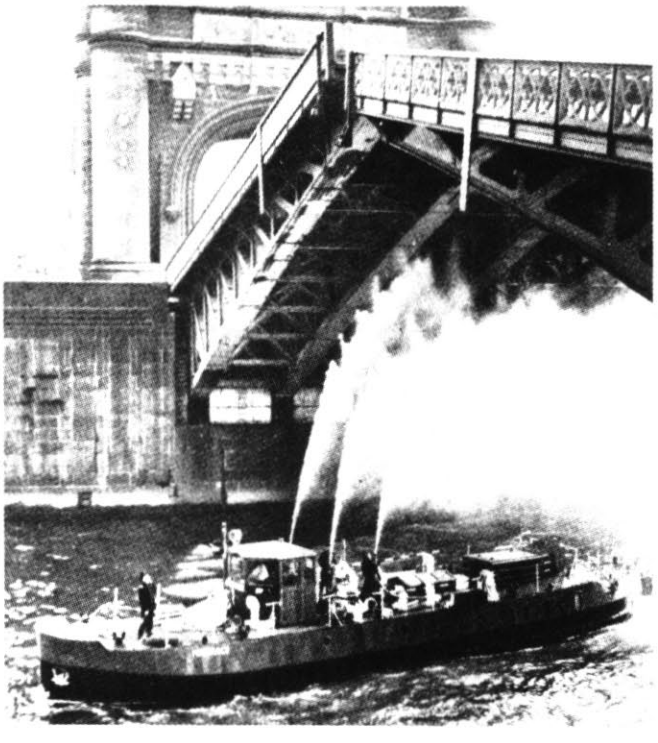
Meet in de buurt van de school gedurende enkele dagen (zoek een warme en een koude dag uit):
- de temperatuur van het brugdek door een thermometer (voorzichtig) tegen de brug te plakken
- de spleet in de brug (tussen het brugdek en het vaste wegdek) met een schuifmaat

Meet je verschillen tussen warme en koude dagen?

Maak een schets (of een foto) van de beweegbare oplegging van de brug bij jou in de buurt.



Als de delen van de brugdek uitzetten, schuiven de metalen uiteinden verder in elkaar

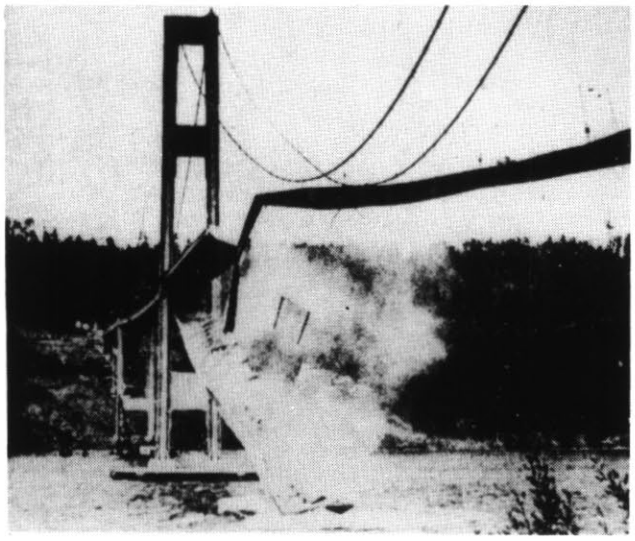


De Tower Bridge in Londen tijdens een hittegolf. Het brugdek was zó sterk opgewarmd en zover uitgezet, dat de brug niet meer dicht kon. De brug werd afgekoeld door hem nat te spuiten met een waterkanon

theorie

inhoud

Hoofdstuk 1	Materiaalspanningen in bruggen	blz. 23
1.1	Buiging van het brugdek	blz. 23
1.2	Spanningen in onderdelen van een brug – duwspanning – trekspanning	blz. 24
1.3	Buigspanning	blz. 27
Hoofdstuk 2	Stevigheid en vorm	blz. 29
2.1	Overkappingen	blz. 29
2.2	Brugdekken	blz. 31
2.3	Vakwerken	blz. 33
2.4	Bogen	blz. 36
Hoofdstuk 3	Gewicht en tegenwicht	blz. 41
3.1	Bruggen openen, de momentenwet	blz. 41
3.2	Bruggen vastzetten	blz. 44
3.3	Andere toepassingen van de momentenwet	blz. 45
Hoofdstuk 4	Stabiliteit	blz. 49
4.1	Stabiele voorwerpen	blz. 49
4.2	Zwaartepunt	blz. 54



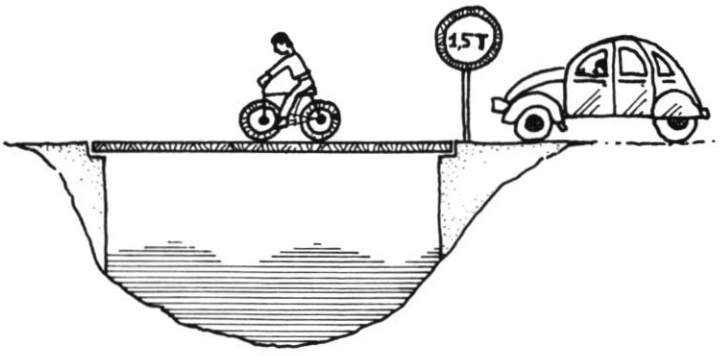
Op 7 november 1940 stortte de nieuwe Tacoma-brug in de V.S. in tijdens een storm. De spanningen in de brug waren te groot geworden

De Van Brienenoordbrug in Rotterdam heeft de grootste overspanning van alle Nederlandse bruggen: 287 m. De boog dient om de spanningen in het brugdek op te vangen en over te brengen op de pijlers (foto Rijkswaterstaat)

1 materiaalspanningen in bruggen

In dit hoofdstuk gaan we kijken naar de spanningen die in brugonderdelen kunnen optreden. De materiaalkeuze voor een brugonderdeel hangt af van de spanning die dat onderdeel moet kunnen verdragen.

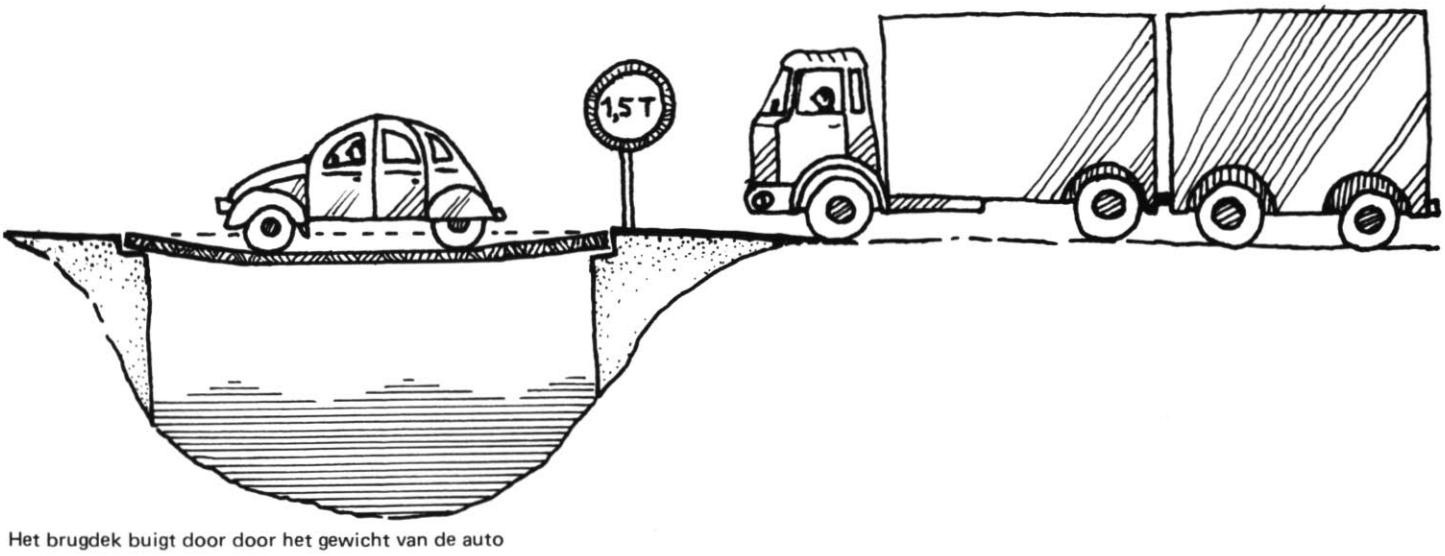
1.1 BUIGING VAN HET BRUGDEK



Als iemand over een brug rijdt, buigt de brug een beetje door. Daardoor gaan er spanningen in het brugdek optreden.

Deze eenvoudige brug kan de fietser (massa 80 kg) makkelijk houden. Als een auto (massa 1000 kg) over het brugdek rijdt, buigt het brugdek een beetje meer door.

Een zware vrachtauto (bijvoorbeeld een 6-tonner) zakt door deze brug. Het brugdek buigt dan te ver door en breekt. Het brugdek kan zulke grote spanningen niet houden.



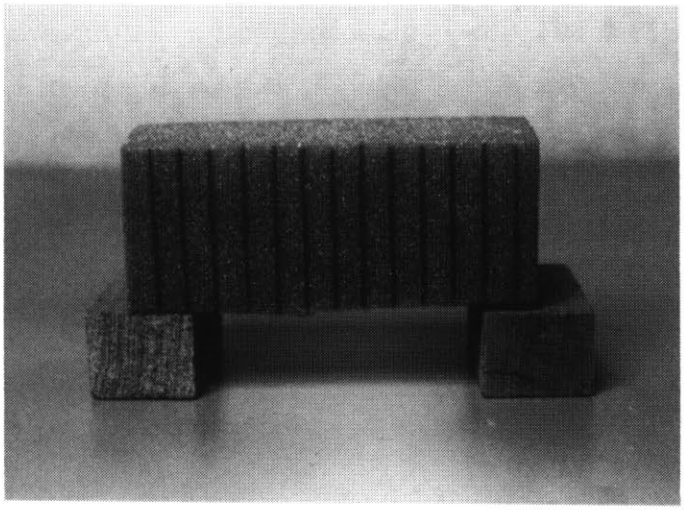
Het brugdek buigt door door het gewicht van de auto

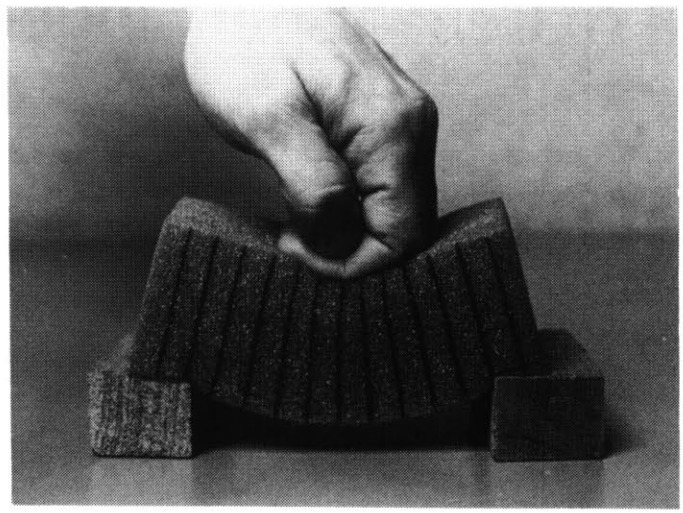
Zou het helpen als je een dikker brugdek zou nemen? Misschien wel. Maar een dikker brugdek is ook zwaarder. Door zijn eigen gewicht gaat het al doorbuigen. Als je het brugdek te dik maakt, kan het nauwelijks zijn eigen gewicht dragen.

Wat gebeurt er in het brugdek als het doorbuigt?
Je kunt dat te weten komen door de volgende proef te doen.

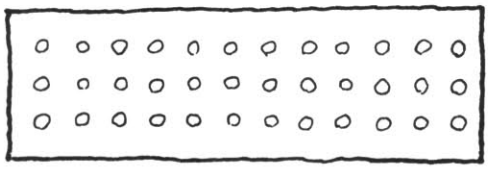
PROEF 1.1 **Buiging van een schuimrubber brug**

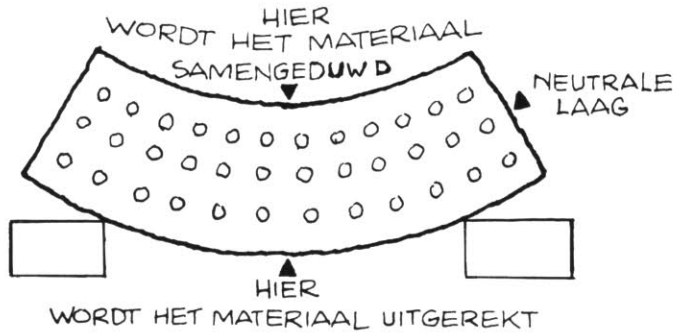
Breng op een stuk schuimrubber een aantal verticale strepen aan, zoals op de foto hierna. Maak van een stuk schuimrubber een brug. Zet er een gewicht op. Let op de strepen. Wat zie je?





Bij deze proef zie je dat het schuimrubber bovenin wordt samengeduwd en onderin uit elkaar wordt getrokken. Daardoor treedt er in het schuimrubber een *buigspanning* op.



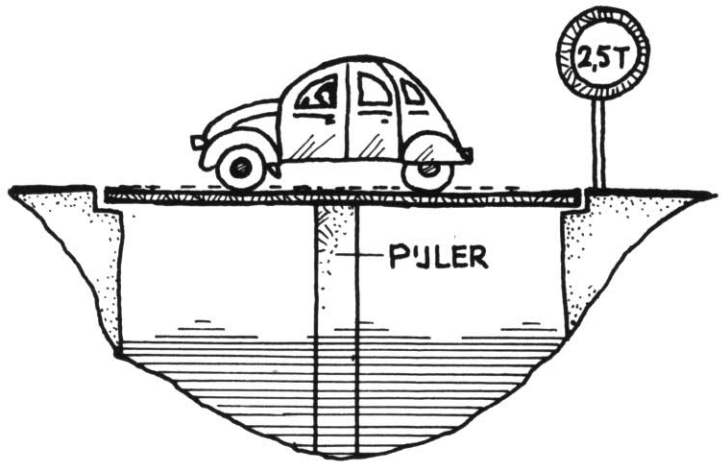


Bij een echt brugdek is dat ook zo. Maar je ziet dat meestal niet, omdat bruggen van een steviger materiaal dan schuimrubber zijn gemaakt.
De buigspanning in het brugdek zorgt ervoor dat de auto niet door de brug zakt en dat het gewicht van de auto wordt overgebracht naar de kanten of op de pijlers.

1.2 SPANNINGEN IN ONDERDELEN VAN EEN BRUG

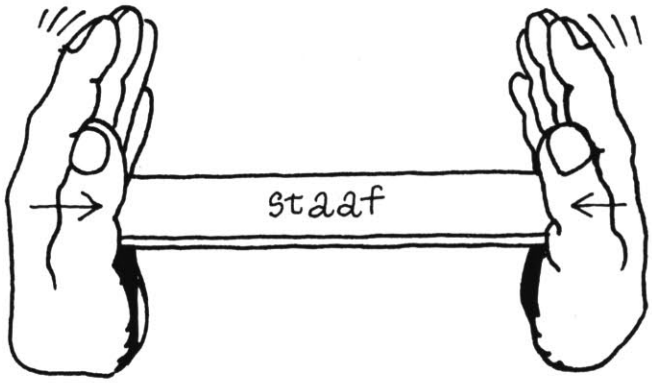
Duwspanning

Vaak rusten brugdekken niet alleen op de ene kant en op de andere kant, maar worden ze ook in het midden ondersteund door een pijler. Dat maakt de brug veel steviger. De brug buigt daardoor veel minder door dan zonder pijler. De pijler wordt nu door het gewicht van de auto ingeduwd. Maar de pijler is gemaakt van materiaal dat daar goed tegen kan. Daardoor houdt die het brugdek op zijn plaats. Er gaan spanningen in de pijler optreden: de pijler staat onder *duwspanning.*



Door de pijler buigt het brugdek minder door

Je kunt zelf een staaf onder duwspanning zetten door er met je handen tegen te duwen, zoals op de tekening hiernaast. De staaf wordt daardoor een (onzichtbaar) klein beetje ingeduwd (en je handen natuurlijk ook). Maar de staaf klapt niet dubbel, buigt niet en breekt niet (tenzij je een hele dunne staaf hebt genomen). De staaf kan dus goed tegen duwspanning.



PROEF 1.2 **Duwspanning en materialen**

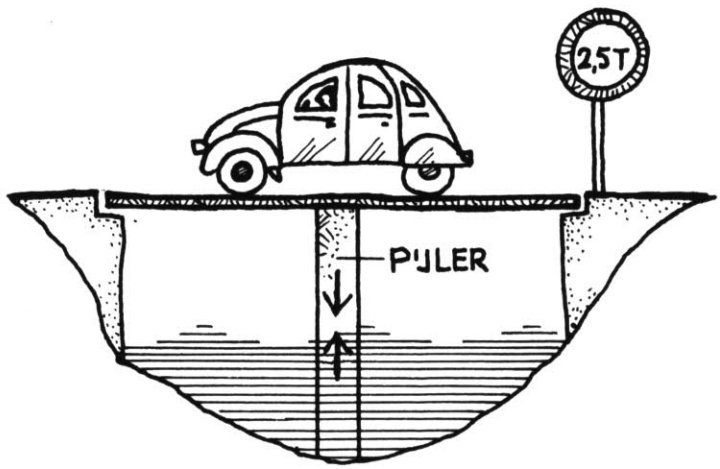
Onderzoek welke van de volgende materialen het best tegen duwspanning kunnen en welke het slechtst:

- hout
- papier
- karton
- klei
- elastiek
- touw

Welke van deze materialen zou het best geschikt zijn voor een pijler, als je in de klas een model van de brug gaat maken?

Opdracht 1.1 Voor bruggenbouw worden vooral hout, steen, ijzer en gewapend beton gebruikt. Welke van deze materialen worden bij bruggen in jouw omgeving of op de foto's van dit boek vaak gebruikt voor pijlerbouw?
Wat is je conclusie over het bestand-zijn tegen duwspanning van deze materialen?

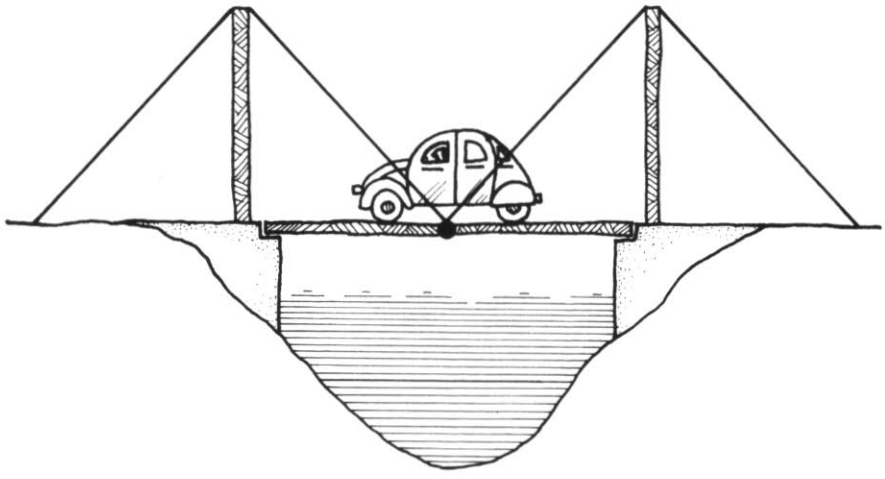
Afspraak: *Als een brugonderdeel op duwspanning belast kan worden, geven we dat aan met twee naar elkaar gerichte pijlen:*



De pijler staat onder duwspanning

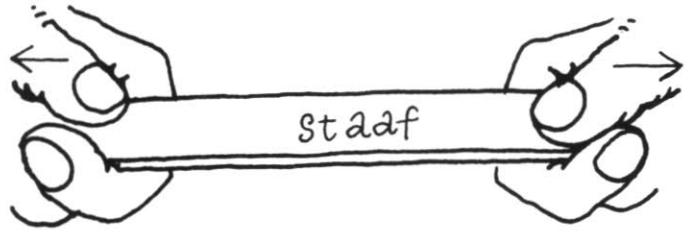
Trekspanning

Een brugdek kan ook versterkt worden door het op te hangen aan touwen. Die touwen (meestal tuien genoemd) zitten vast aan hoge palen. Die palen worden pylonen genoemd. Zo'n brug heet een tuibrug. De touwen (tuien) worden een beetje uitgerekt en komen onder spanning te staan: *trekspanning*. Daardoor wordt het gewicht van de auto op de pylonen overgebracht.



Een tuibrug: de brug buigt minder door omdat het gewicht van de auto ook door de tuidraden wordt opgevangen

Je kunt zelf een touw of een staaf onder trekspanning zetten.
Hieronder is dat voor een staaf getekend.



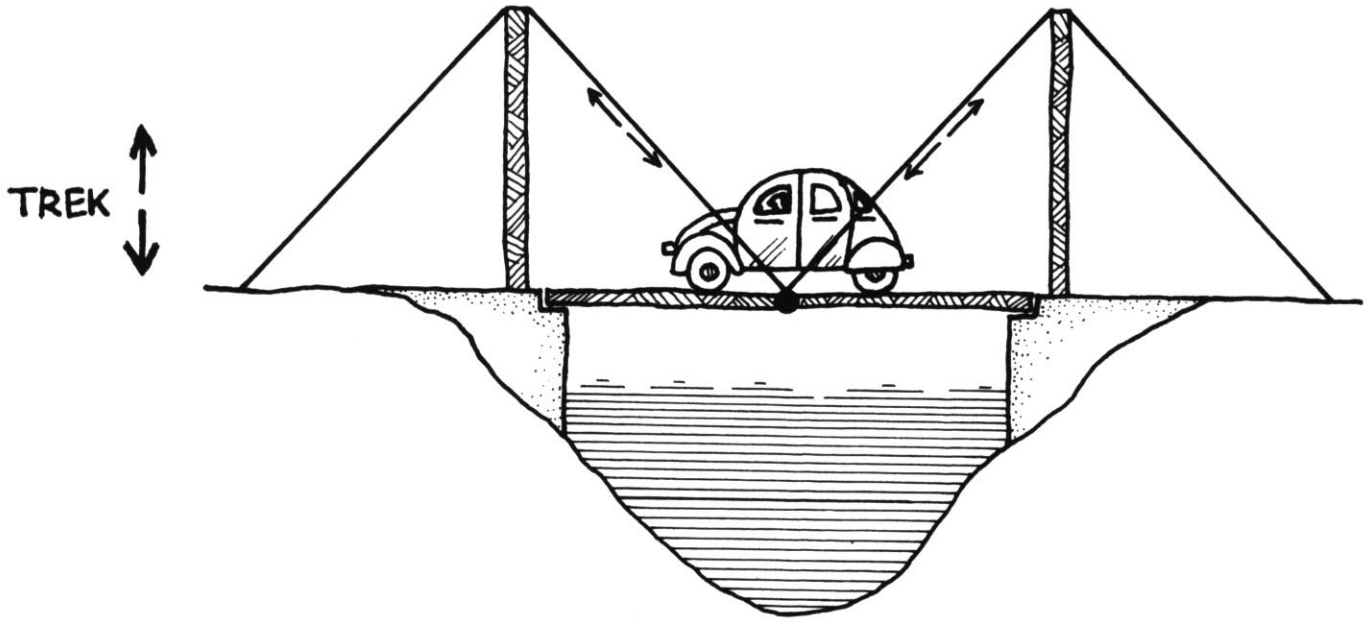
De mannen op de foto doen mee aan een touwtrekwedstrijd.
Aan de andere kant wordt vrijwel even hard getrokken. Het touw dat beide partijen in evenwicht houdt, wordt uit elkaar getrokken.
Gelukkig kan het touw goed tegen trekspanning

PROEF 1.3 **Trekspanning en materialen**

Onderzoek de materialen die in 1.2 genoemd worden ook op trekspanning.
Welke van die materialen zou je gebruiken voor de tuien van een zelfgemaakte tuibrug?

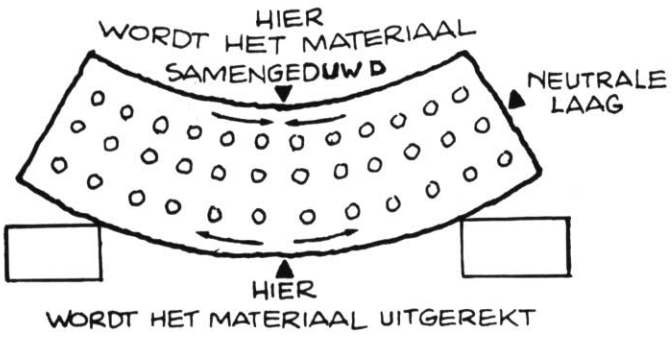
Opdracht 1.2 Welke van de materialen die in opdracht 1.1 zijn genoemd worden gebruikt in tuibruggen? Welke zeker niet?
Kun je daaruit een conclusie trekken over het bestand-zijn tegen trekspanning van die materialen?

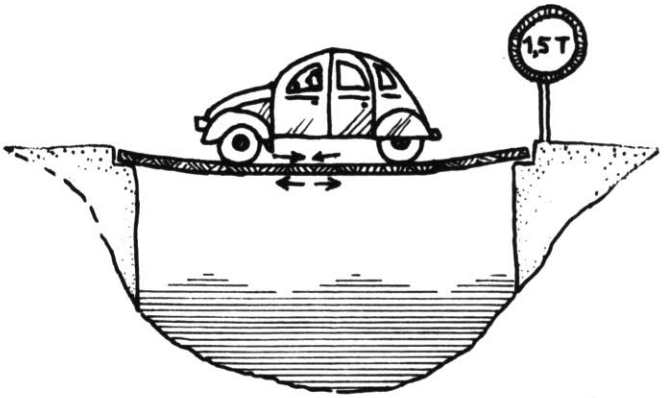
Afspraak: *Als een brugonderdeel op trekspanning belast kan worden, geven we dat aan met twee van elkaar af gerichte pijlen:*



1.3 BUIGSPANNING

Bij proef 1.1 met de schuimrubber brug hebben we gezien dat het schuimrubber bovenin werd ingedrukt en onderin werd uitgerekt.
Bovenin het schuimrubber was dus een duwspanning en onderin een trekspanning.

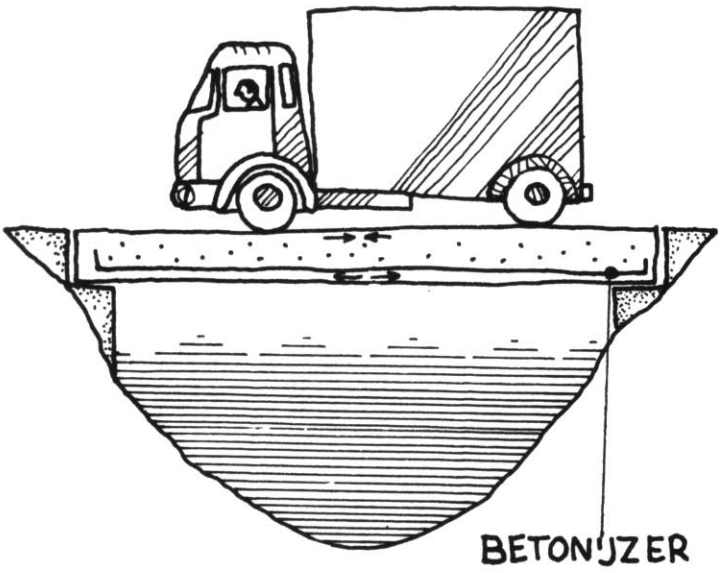




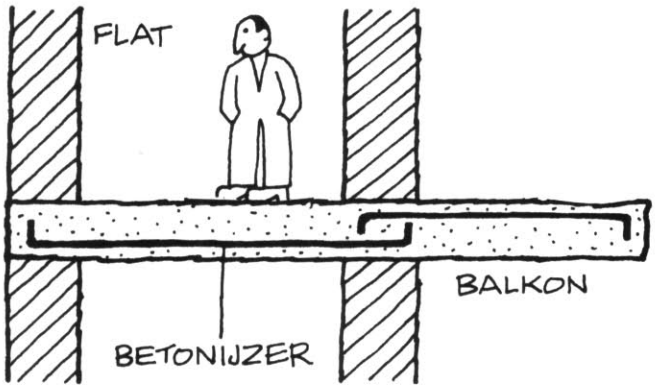
Bij buiging in een brugdek treden duw- en trekspanningen op

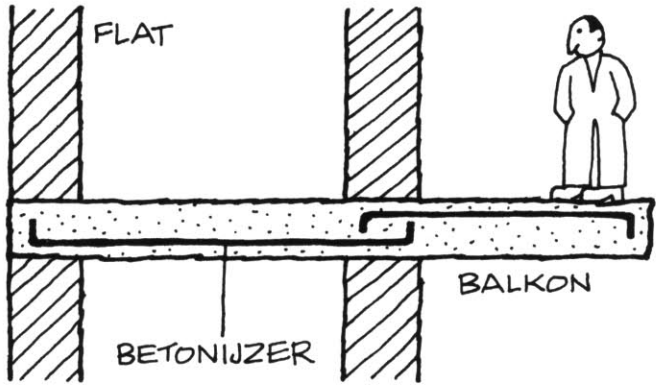
Buigspanning is een combinatie van duw- en trekspanning. Een materiaal dat slecht tegen duwspanning kan (bijvoorbeeld papier) of dat slecht tegen trekspanning kan (bijvoorbeeld steen), kan ook geen buigspanning houden.
Alleen materialen die zowel tegen duwspanning als tegen trekspanning kunnen, zijn geschikt voor een brugdek. Dat zijn bijvoorbeeld hout of ijzer.

Beton kan slecht tegen trekspanning en is dus ook slecht bestand tegen buigspanning. Toch bestaan er veel betonnen wegdekken. Daarvoor heeft men het beton moeten 'wapenen' met ijzeren staven. Door die ijzeren staven onderin het beton aan te brengen, kunnen die de trekspanning daar opvangen.
Het beton vangt zelf de duwspanning bovenin op. Want daar kan het goed tegen.
Het betonnen brugdek wordt door de bewapening een stuk sterker. Vaak zijn zo zelfs bij grote overspanningen geen opbouw of onderbouw meer nodig.
In leestekst 2 op blz. 87 is te lezen hoe deze techniek van het 'voorgespannen beton' in haar werk gaat.



Ook in betonnen vloeren van huizen of in betonnen balken vind je ijzeren staven.





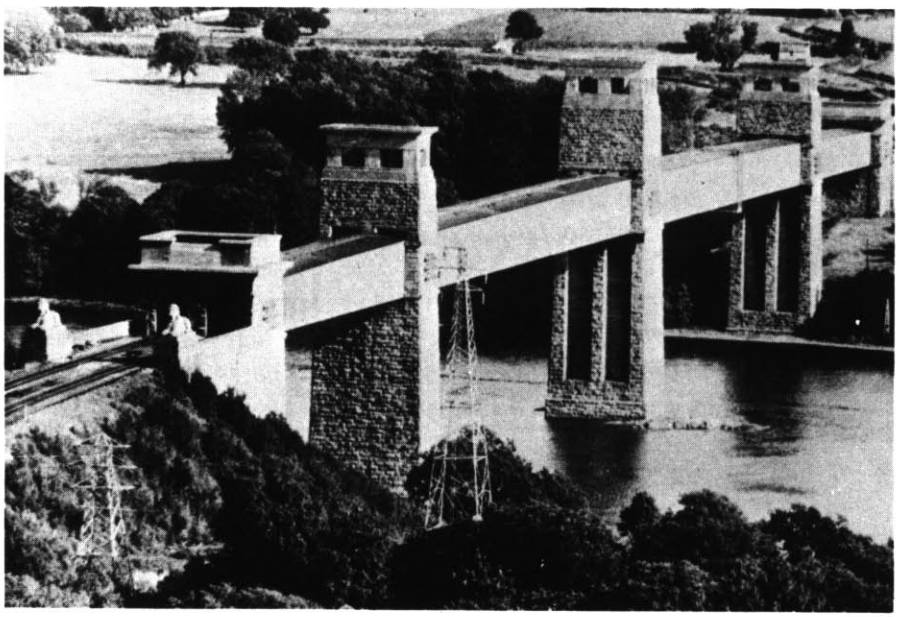
Opdracht 1.3 Leg uit waarom de staaf bij het balkon bovenin zit en bij de vloer onderin.

2 stevigheid en vorm

In dit hoofdstuk ga je kijken hoe bruggen steviger gemaakt kunnen worden. De vorm van de brug is daarbij heel belangrijk.
Bovendien ga je toepassen wat je in hoofdstuk 1 hebt geleerd over materiaalspanningen.

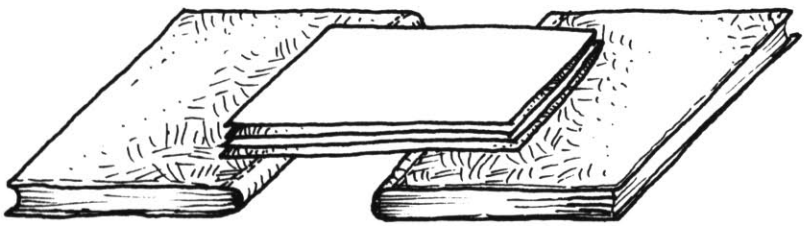
2.1 OVERKAPPINGEN

De brug hiernaast heeft een overkapping over het wegdek. Die is niet alleen bedoeld als schuilplaats tegen de regen, maar helpt ook de brug stevig te maken. Met de volgende proef ga je na hoe dat komt.



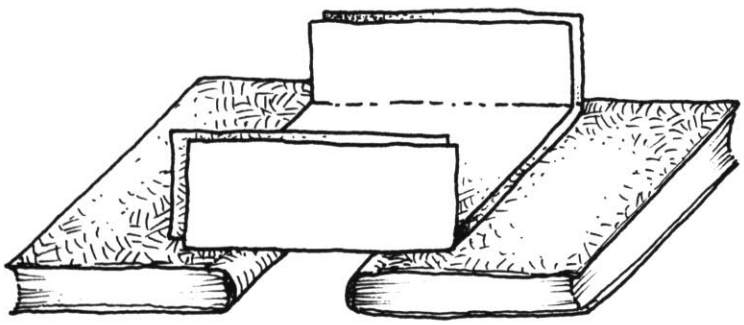
Britanniabrug in Engeland. (zie leestekst 5 blz. 92)

PROEF 2.1 **Een brug van papier**

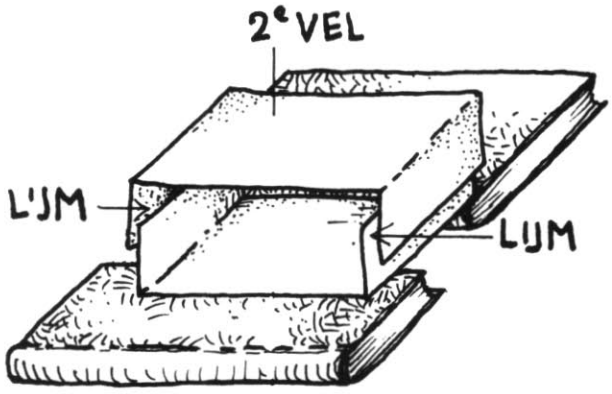


Om eerlijk te vergelijken moet je steeds even veel materiaal gebruiken.

– Leg 2 velletjes papier dubbelgevouwen op elkaar, met de randen op twee boeken als een brug. Kan deze 'brug' veel houden?
– Vouw de 2 papiertjes zoals hieronder getekend is.



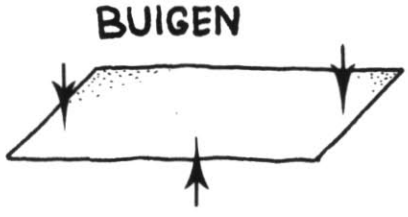
Kan deze brug meer houden?
Wat gebeurt er met de randen als je de brug te ver belast?
Waar treden trekspanningen in de randen op?
Waar duwspanningen? Hoe zie je dat?



– Verstevig nu je brug door 2 vellen op elkaar te lijmen tot een koker.
  Kan je brug nu nog meer houden?
– Hoe kan je deze brug nóg meer verstevigen?

In de proef heb je een plat vlak verstevigd door er een rechthoekige vorm van te maken. Papier is niet zo'n stevig materiaal. Toch kun je er een vrij stevige brug van maken. Je kunt papier op allerlei manieren proberen te vervormen. Op sommige manieren gaat het gemakkelijk op andere moeilijk.

Vervormen

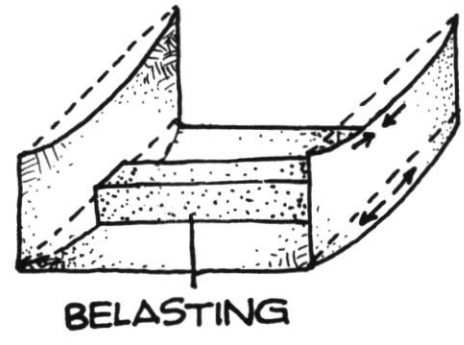


Papier buigt makkelijk.

Papier knikt snel als je het op duw belast.

Pas als je hard trekt, scheurt het. Papier kan dus alleen tegen trekspanning. Dan vervormt het niet snel.

Uit deze papiereigenschappen kun je begrijpen hoe de versteviging in de proef gebeurde:
Door de randen om te vouwen moeten ook de randen vervormen als de brug doorbuigt. De onderkant van de rand wordt op trek belast. Dat voorkomt het doorbuigen van het brugdek, omdat papier beter bestand is tegen trekspanning dan tegen duw- en buigspanning.
Voor een stevige papieren brug moet je dus díe vorm kiezen, waarbij het papier zo veel mogelijk op trek wordt belast.



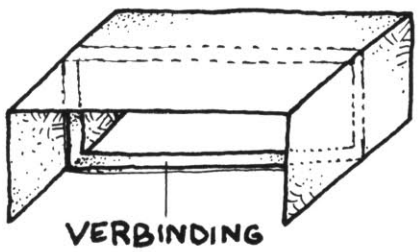
Als de brug te zwaar belast wordt, gaat het papier bovenin knikken. Door het tweede vel papier erop te lijmen, wordt dat knikken moeilijker gemaakt, omdat er in het bovenstuk ook trekspanningen gaan optreden. Papier kan dus best veel dragen als je het maar een kokervorm geeft.

Ook bij andere materialen kan de vorm de stevigheid aanzienlijk vergroten. Bij de Britanniabrug (zie leestekst 5) heeft men een koker van metaal gemaakt.
Metaal is veel steviger dan papier en kan ook tegen duwspanning, zodat een erg stevige brug is ontstaan.
In de leestekst kun je lezen over de brand die op de Britanniabrug heeft gewoed en hoe de stevigheid daardoor afnam.

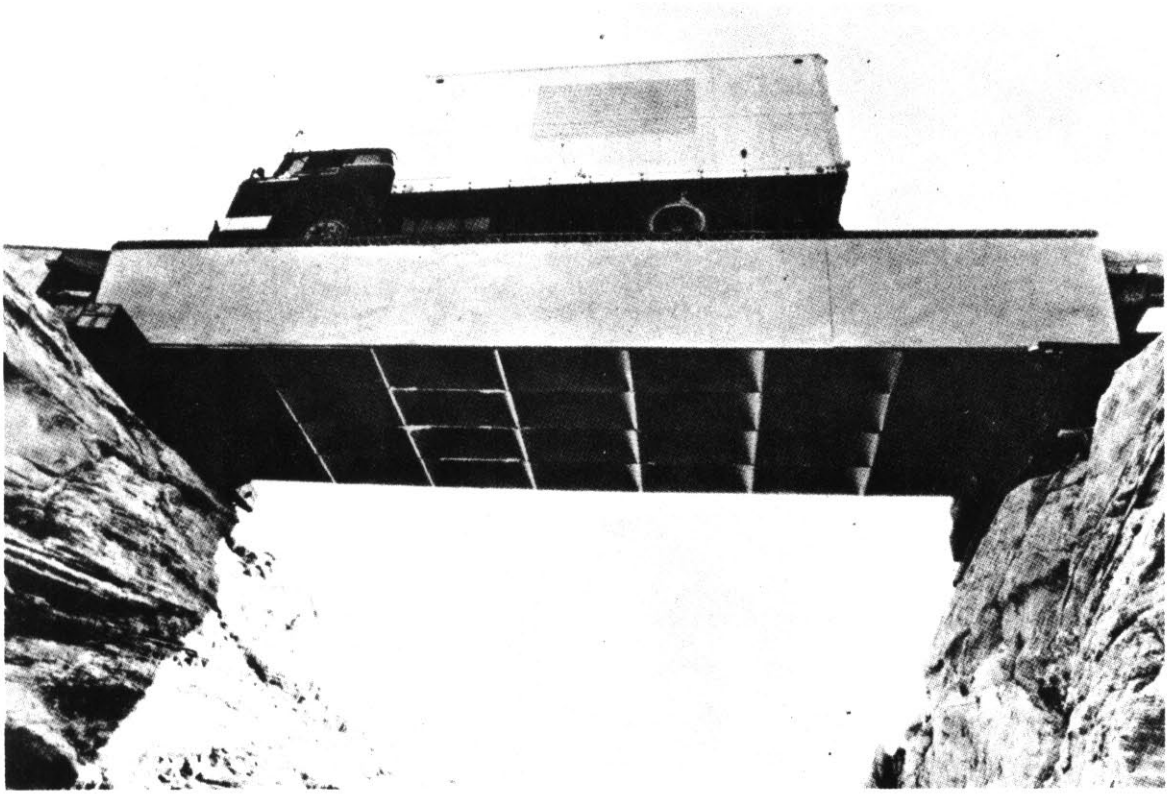
Opdracht 2.1 – Is het bruggetje op de foto hieronder met leuning steviger dan zonder leuning?
– Wordt de leuning bij belasting op trek of op duw belast?

2.2 BRUGDEKKEN

Brugdekken kun je steviger maken door er randen aan te maken. Verbindingen tussen de randen maken het nog steviger.

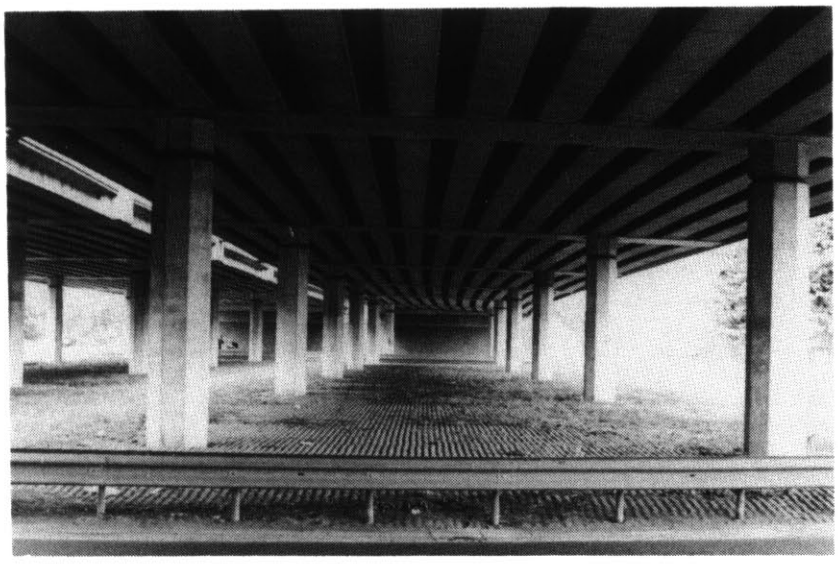


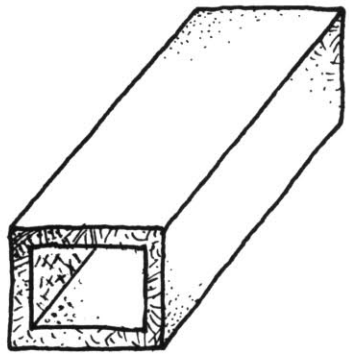
Opdracht 2.2 Wijs in de foto op de volgende bladzijde de randen en de verbindingen aan.
Wat zou er gebeuren als je de verbindingen weglaat?
Geef aan waar trekspanningen en waar duwspanningen werken.



Een brug, helemaal gemaakt van karton en lijm. De brug is ca. 10 meter lang en 5 meter breed, en kan zelfs een vrachtauto (4000 kg) houden. De brug is zelf 200 kg

Bij betonnen brugdekken kun je soms zien dat er onder het brugdek betonnen kokers zijn aangebracht om het doorbuigen van het brugdek tegen te gaan. Je maakt het brugdek daardoor dikker zonder dat het al te veel zwaarder wordt.

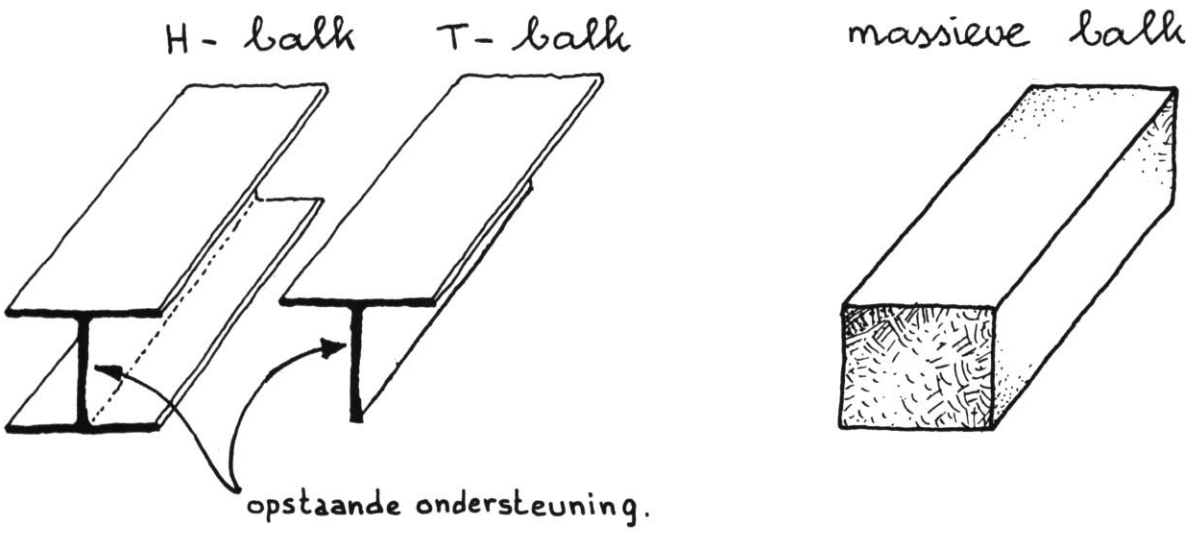




Betonnen kokers onder het wegdek van een viaduct in Utrecht

Opdracht 2.3 Waar zal de wapening in de betonnen kokers (vooral) moeten zitten? Bovenin, onderin of in de zijkanten van de koker?

Bij ijzeren bruggen kom je vooral H of T-balken tegen. Die zijn bijna net zo sterk als een massieve ijzeren balk. Maar massieve balken zijn veel zwaarder en kosten erg veel materiaal. Veel van hun stevigheid is nodig om hun eigen gewicht te dragen. Daarom worden massieve balken niet gebruikt.



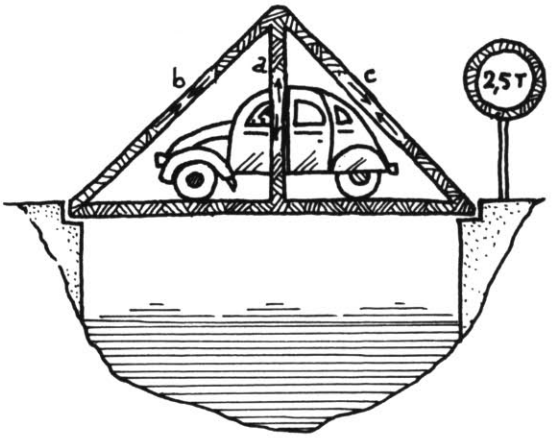
PROEF 2.2 Maak zelf van papier een H-balk en belast die.
Waar werken de trekspanningen en waar duwspanningen?
Hoe merk je dat?
Hoe kun je het plat worden van de papieren balk tegengaan?

Opdracht 2.4 Waarom zal men in brugonderdelen die op trek belast zijn vaak ijzeren staven of kabels gebruiken, maar in onderdelen die op duw of buig belast zijn H of T-balken?

2.3 VAKWERKEN

De Brittaniabrug (zie blz. 29 en leestekst 5) is stevig gemaakt door opstaande zijkanten van dichte metalen platen. Daarvoor is erg veel ijzer nodig. Je kunt ook stevige randen maken met veel minder materiaal. Dat vind je vooral bij vakwerkbruggen (zie blz. 36).
De grondvorm van de vakwerkbrug zie je op de foto en de tekening hieronder.

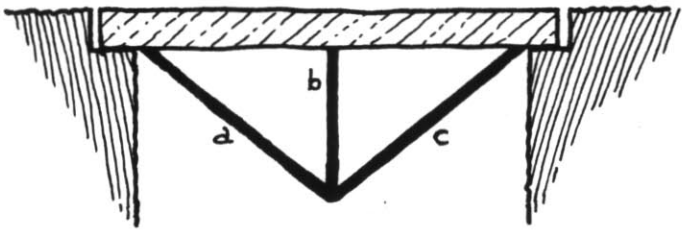
Primitieve houten vakwerkbrug in Albanië



De rand van de primitieve vakwerkbrug is gemaakt van houten palen. Ze verstevigen het brugdek in het midden. Hoe dat gaat, kun je uit de tekening ernaast begrijpen.
Door de auto gaat het brugdek naar beneden. Staaf a gaat dus ook naar beneden, maar wordt tegengehouden door de staven b en c.
Het brugdek kan dus niet zo ver doorbuigen. Staaf a wordt op trek belast, staaf b en c op duw.
Zo wordt het gewicht door het vakwerk (en ook door het wegdek) op de pijlers overgebracht.

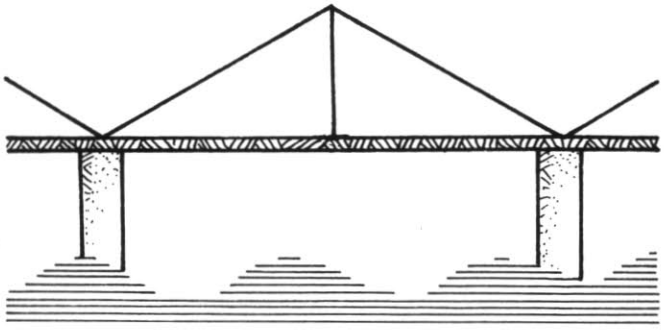
Opdracht 2.5 Welke van de staven a, b en c kan door een kabel vervangen worden?

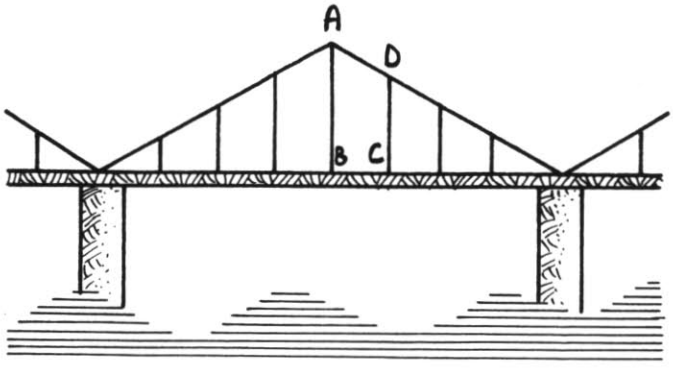
Opdracht 2.6 Een brugdek kan ook van onderen met staven verstevigd worden.
Ga in onderstaande brug na welke staven op trek en welke op duw worden belast.

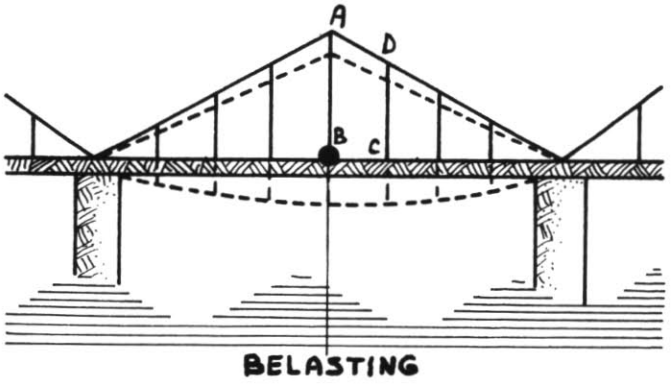


Bij grotere overspanningen kun je het vakwerk ook voorzien van meer verticale verbindingen. Daardoor ontstaan er vierhoeken.

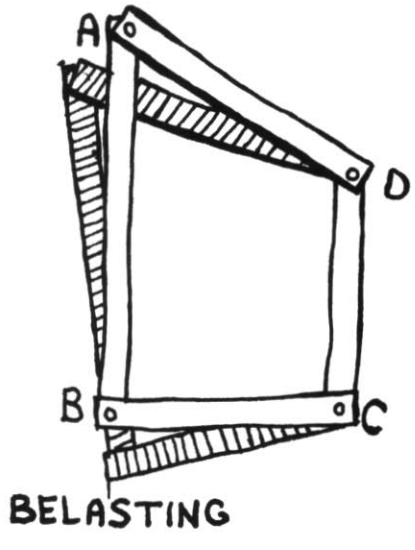
ABCD in de tekening hieronder is zo'n vierhoek.
Vierhoeken vervormen makkelijk. Je kunt die op een eenvoudige manier sterker maken. Dat kan je in de volgende proef ontdekken.







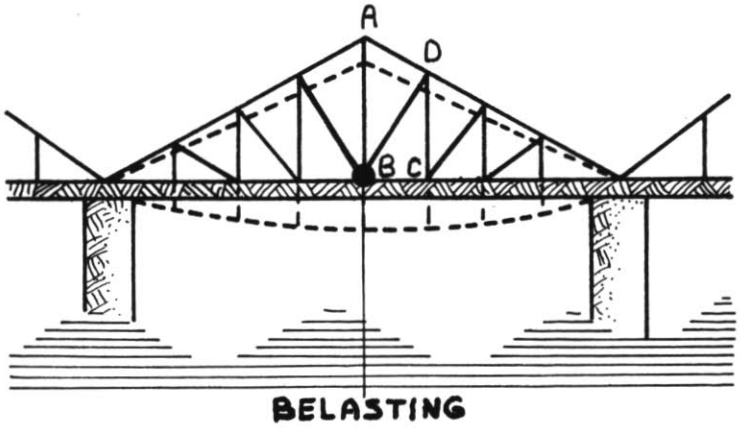
PROEF 2.3



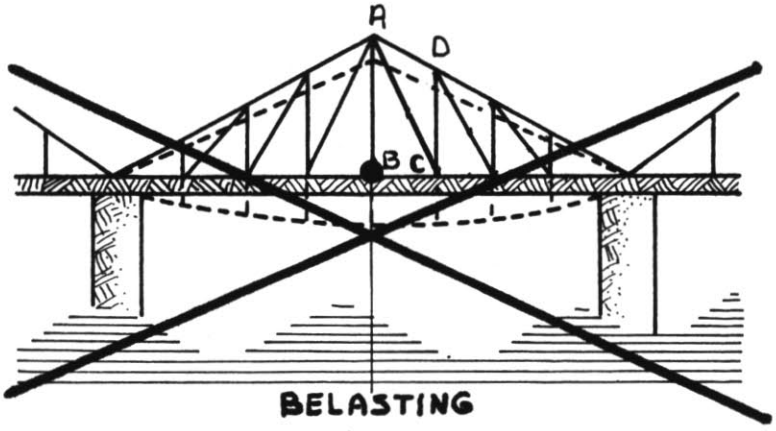
– Trek aan het punt B en houd CD vast. Kijk hoe de vierhoek vervormt.
– Breng een staaf BD aan. Vergelijk de stevigheid van deze nieuwe constructie met de vorige.
– Doe hetzelfde met een staaf AC.
Kan je staaf BD ook door een touw vervangen? En AC? Probeer het maar.

Door in een vierhoek een staaf diagonaal aan te brengen, ontstaan twee driehoeken. Een driehoek is een erg stevige vorm.
De driehoeksvorm wordt daarom in veel bruggen, maar ook in andere constructies, zoals kranen, daken enz. gebruikt.
Let daar maar eens op.

De brug kan dus zo verstevigd worden:

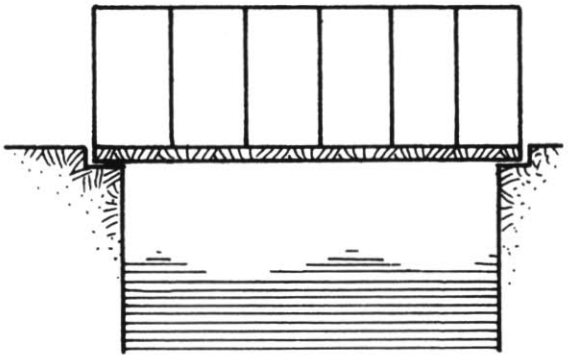


en niet zo:



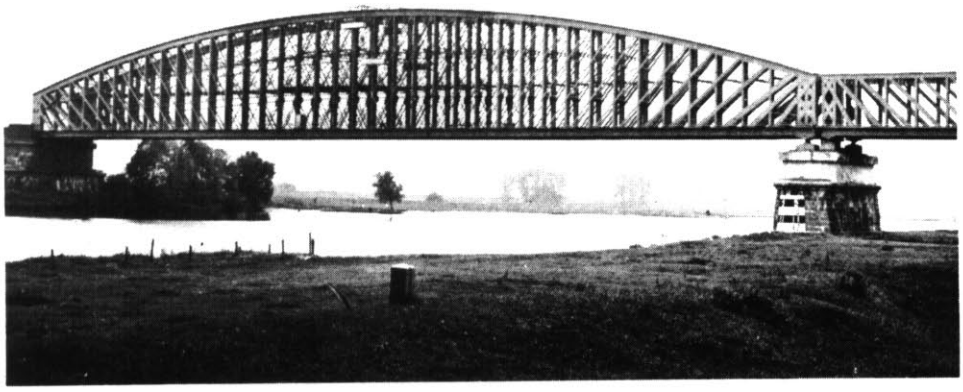
Als je de brug in punt B belast – er staat daar bijvoorbeeld een auto – wordt de vierhoek ABCD vervormd. De afstand AC wordt korter en de afstand BD wordt langer.
Ga dat nog maar eens na met het vierkant van proef 2.3.
Dat betekent, dat een staaf tussen A en C op duw wordt belast, en een staaf tussen BD op trek.
IJzer is goed bestand tegen druk, maar nog beter tegen trek. Bovendien kan trek al weerstaan worden met een eenvoudige staaf, terwijl duw meestal met een H-balk opgevangen moet worden. Dat kost meer materiaal en maakt de brug zwaarder.
Daarom is het aanbrengen van een staaf BD beter. Bovendien wordt het gewicht van de belasting dan overgebracht in de richting van de pijler!

Opdracht 2.7 Hoe zou je extra staven ter versteviging van de hiernaast getekende brug aanbrengen?
Worden die staven daardoor op trek of op duw belast?
Vergelijk jouw oplossing met de foto van de Moerdijkbrug op blz. 89.



2.4 BOGEN

In een boogvakwerkbrug is de driehoekige vorm van het hele vakwerk vervangen door een boog.
Een voorbeeld van zo'n boogvakwerkbrug is de spoorbrug bij Culemborg.

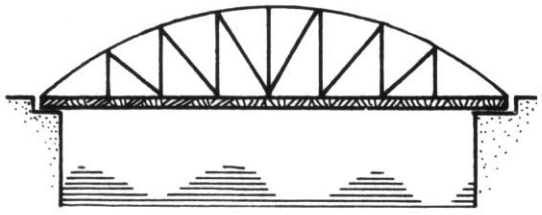


De spoorbrug bij Culemborg (1865) is de oudste spoorbrug van Nederland. Deze boogvakwerkbrug wordt nog steeds gebruikt

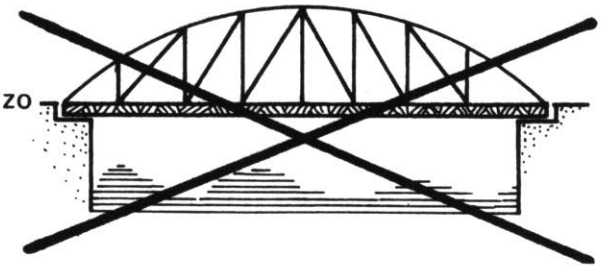
Opdracht 2.8 Leg uit waarom de staven naar de kanten toe steeds dikker worden.

Opdracht 2.9 Op de foto van de spoorbrug bij Culemborg zie je, dat de staven links en rechts van het midden zijn aangebracht wijzend naar het midden van het brugdek.

dus zo



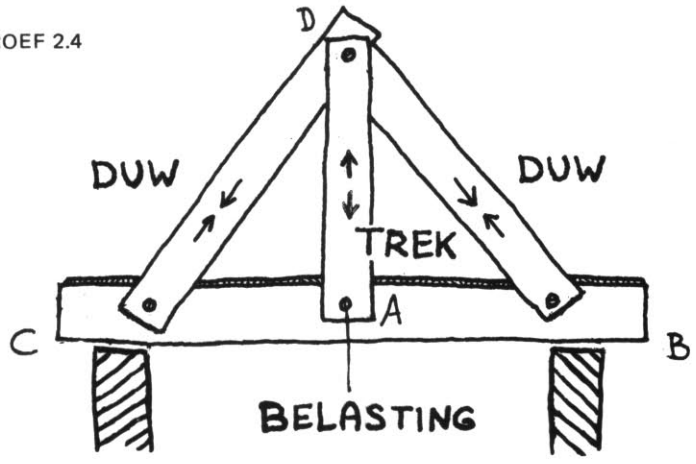
en niet zo



Leg uit waarom.

De boogvorm is sterker dan de driehoeksvorm. Hieronder zie je waarom.

PROEF 2.4

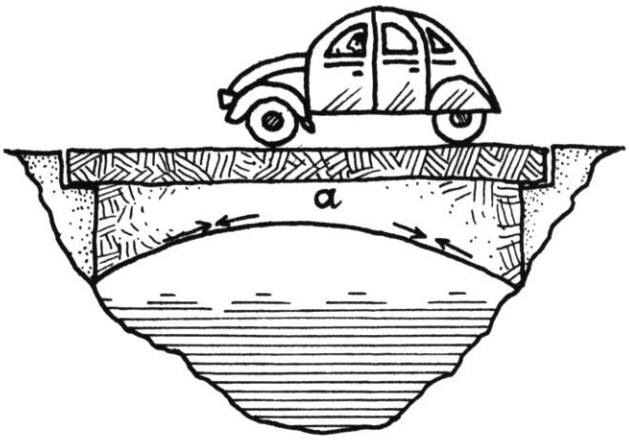


Maak een model van een vakwerkbrug, zoals hiernaast getekend is. Belast de driehoek door in A gewichten te hangen.
Onderzoek welke de zwakste punten van de driehoek zijn.

De brug wordt in A belast. Er ontstaat een trekspanning in staaf AD en een duwspanning in de staven DC en DB. Daardoor wordt het gewicht op de pijlers overgedragen. De hoekpunten B, C en D van de driehoek komen van verschillende kanten onder spanning te staan en hebben dus het meest te houden.

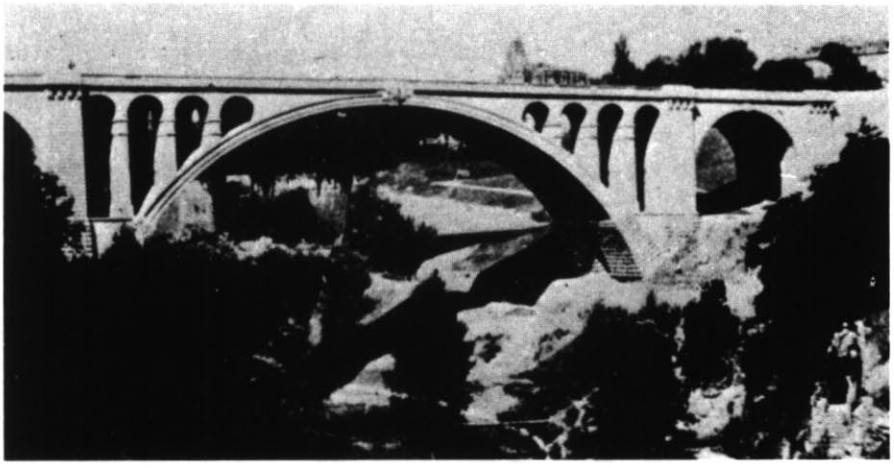
Bij een boog worden de duwspanningen veel meer over de hele boog verdeeld. Dat geldt zowel voor bogen boven als onder de brug.

Het brugdek wordt door het gewicht van de auto iets ingeduwd. Hierdoor wordt boog a iets in elkaar geduwd. Omdat de boog van sterk materiaal is, kan hij daar tegen, zodat het brugdek op zijn plaats blijft.



Van dit principe wordt erg vaak bij bruggen gebruik gemaakt, zowel om het brugdek aan op te hangen als om het brugdek te ondersteunen.

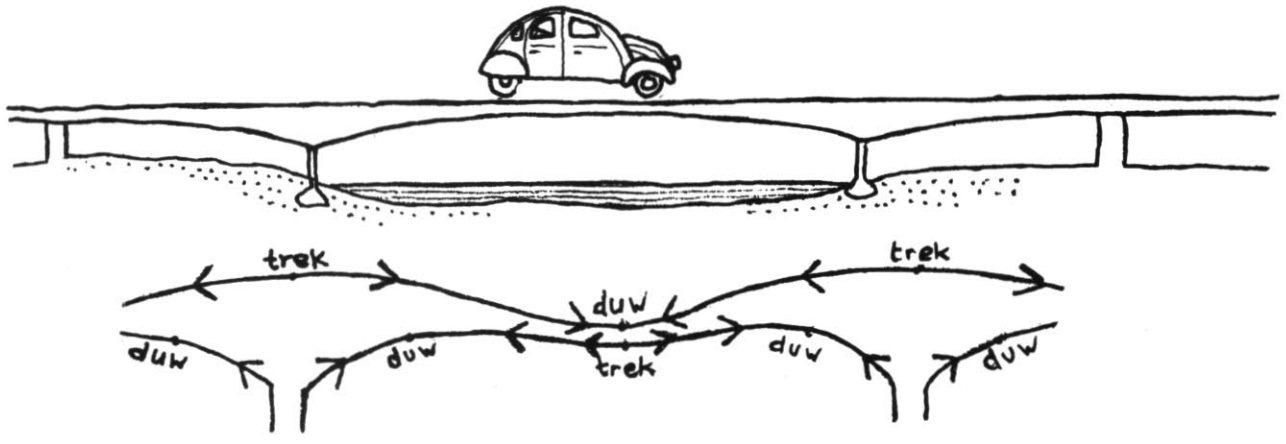
Brug over Twentekanaal, brugdek opgehangen aan boog. Let op hoe de boog bij de oplegging ondersteund wordt



Stenen boogbrug Pont Adolphus, Luxemburg, 1903

Opdracht 2.10 Bekijk deze twee bruggen en leg uit op welke spanningen de verschillende onderdelen van de bruggen belast zijn.

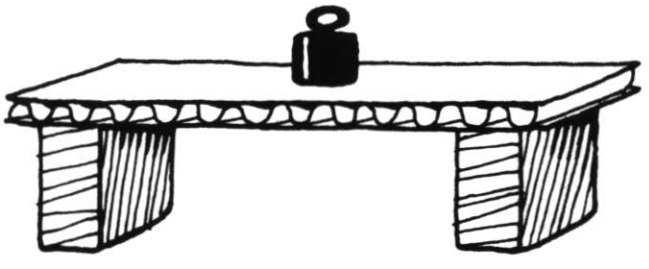
Hieronder zie je de spanningen in een bepaald soort boogbrug (consolebrug) overdreven (!) getekend.



Het samenspel van de spanningen zorgt ervoor dat de auto niet door de brug zakt en dat het gewicht van de auto op de pijlers wordt overgebracht.

Opdracht 2.11 Geef aan op welke plaatsen het beton van de bovengenoemde brug vooral met ijzeren staven gewapend moet worden.

2.5 STEVIGHEID EN MATERIAAL



Uit de proeven heb je gemerkt dat al van slap materiaal, zoals papier of karton, stevige bruggen gemaakt kunnen worden. Toch worden echte bruggen daar nooit van gemaakt. Dat komt niet alleen omdat bruggen vaak nog steviger moeten zijn. Materiaal waarvan bruggen gemaakt worden moet ook aan andere eisen voldoen. Ze moeten bijvoorbeeld zo min mogelijk brandbaar zijn en bestand zijn tegen de inwerking van vocht. Daarom wordt in de praktijk geen karton gebruikt. Ook hout wordt daarom niet zo vaak gebruikt.

Nog twee nadelen van gebruik van hout zijn het onderhoud dat daarvoor nodig is en het 'werken' van hout: hout zet sterk uit als het nat wordt, zodat een brug dan erg kan vervormen. Tenslotte is een belangrijk argument bij de keuze van materiaal de prijs.
Materialen die veel voor bruggen gebruikt worden zijn:

steen: erg duurzaam, goed bestand tegen druk, maar minder tegen trek.
beton: erg duurzaam, goed bestand tegen druk, maar minder tegen trek.
Een voordeel boven steen is, dat het in allerlei vormen gegoten kan worden en dat het gewapend kan worden met ijzeren staven.
ijzer of staal: zowel bestand tegen druk als tegen trek.
Vergt vrij veel onderhoud.

Vaak worden de eigenschappen van ijzer en beton gecombineerd in gewapend beton. De ijzeren bewapening wordt aangebracht waar de brug op trek wordt belast, zodat niet het beton maar het ijzer de trekspanning opvangt.

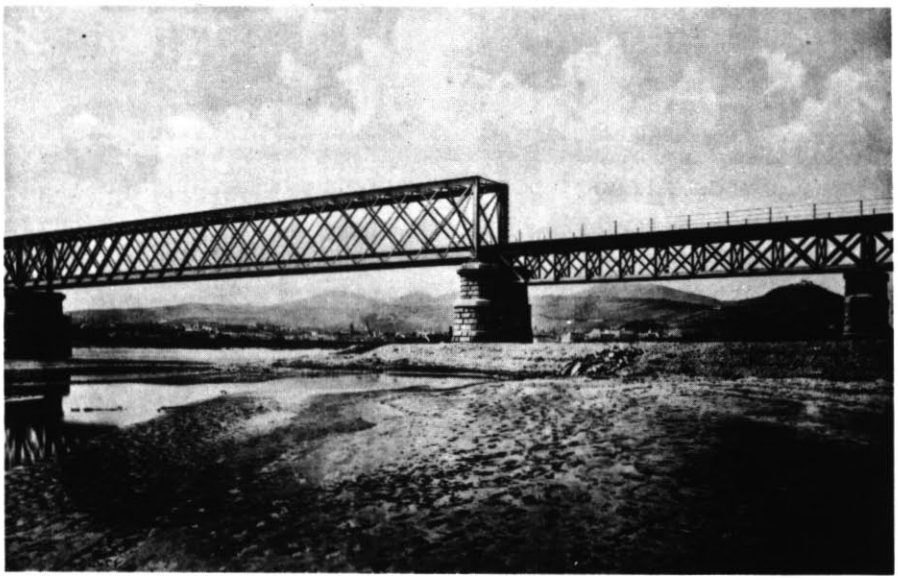
In bruggen zie je vaak dat metaalstaven zó zijn aangebracht, dat ze hoofdzakelijk op trek worden belast. Kabels worden alleen op trek belast. Steen en beton worden vaak alleen op duw belast. Waar metaal op duw belast wordt, worden vaak in plaats van staven T- of H-balken gebruikt.

Opdracht 2.12 Ga dat na bij een paar bruggen die je hiervoor op de foto gezien hebt.

Oefeningen

1 Geef argumenten waarom de boog van de brug over het Twentekanaal van beton gemaakt is. (blz. 37).
Geef argumenten waarom de kabels van staal gemaakt zijn.

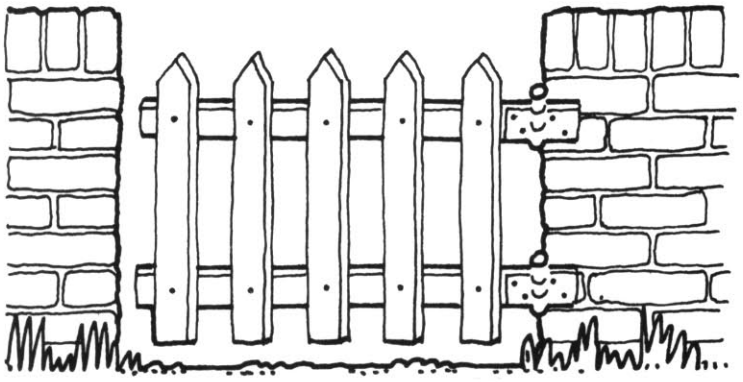
2 Waarom heeft men in plaats van de boog niet twee schuine balken gebruikt?



Vakwerkbrug

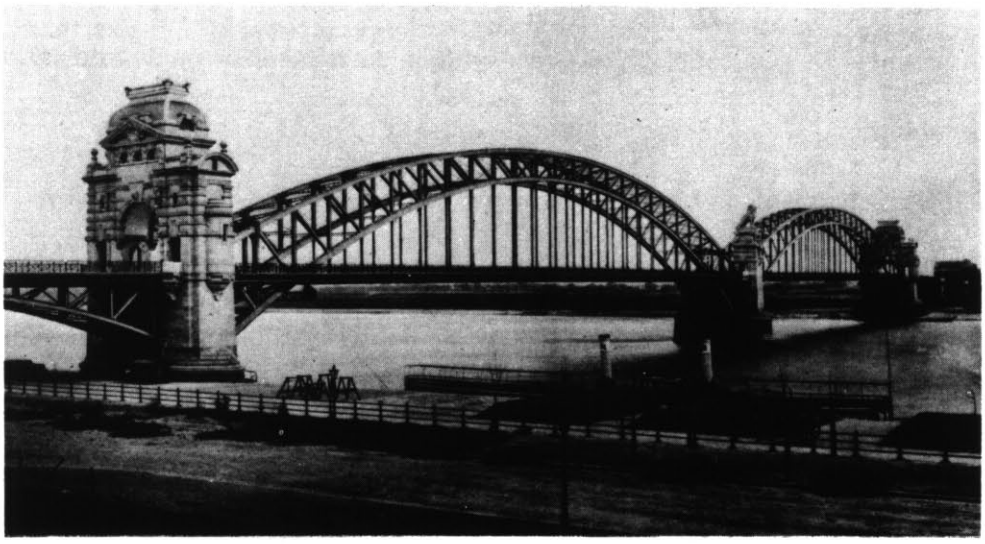
3 De brug op de foto hierboven heeft stevige opstaande 'randen'. In het middenstuk staan de randen omhoog; in het rechterdeel naar beneden, onder het wegdek. Laat met trek- en duwkrachten zien dat het beter is de randen naar beneden te zetten.
Geef argumenten om in het midden de randen toch omhoog te zetten.
Waarom is de opbouw op het middendeel hoger dan de ondersteuning van het rechterdeel?

4 De timmerman heeft van losse plankjes een draaibaar tuinhekje gemaakt, zoals getekend op de volgende bladzijde.



Hoe zou hij met nog één zo'n plankje dit hekje kunnen verstevigen? Kijk ook eens bij hekjes in de buurt van de school of thuis!

5 Ga na welke onderdelen van de brug hieronder op duw en welke op trek belast zijn. Bekijk de boog, de staven tussen boog en brugdek en de pijlers.
Welk materiaal hebben ze voor die onderdelen gebruikt? Zijn er ook onderdelen die er alleen voor de sier zijn en die je dus weg kan laten zonder dat de brug zwakker wordt?

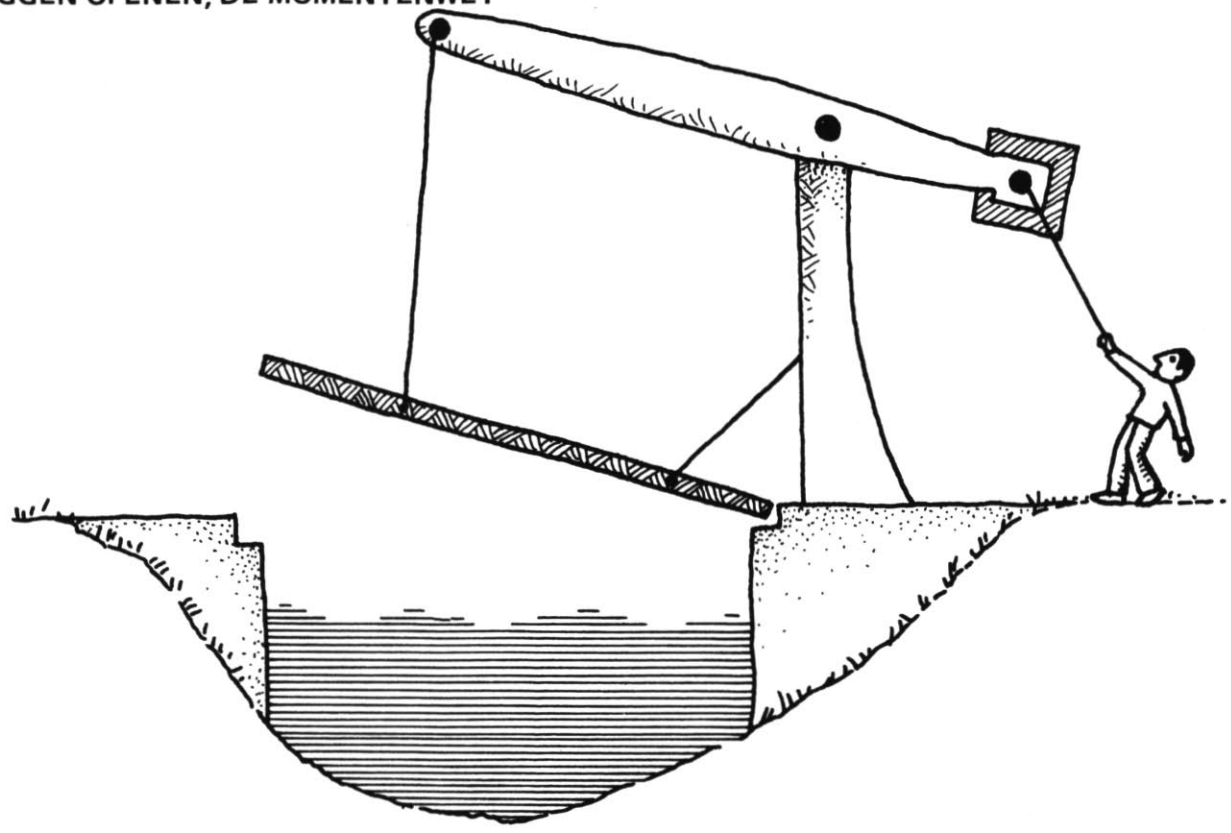


6 Ga ook voor de hangbrug hieronder na welke onderdelen op trek en welke op duw belast zijn. Let op het gebruikte materiaal!
Bekijk van de brug de beide pijlers, de hangkabels en de verticale kabels tussen brugdek en hangkabels.

Hangbrug over de Rijn, Emmerik, 1965

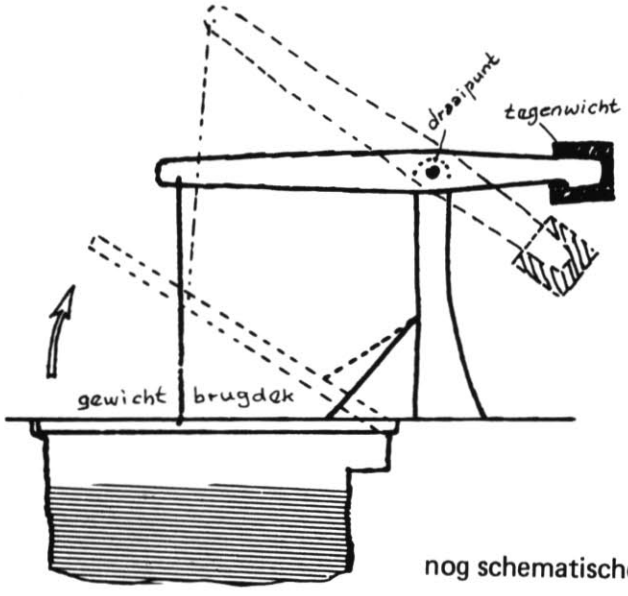
3 gewicht en tegenwicht

3.1 BRUGGEN OPENEN, DE MOMENTENWET

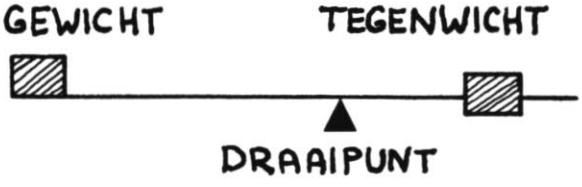


Bij ophaalbruggen zorgt het tegenwicht ervoor dat ze gemakkelijk opgehaald kunnen worden.

Schematisch kun je het zo tekenen:

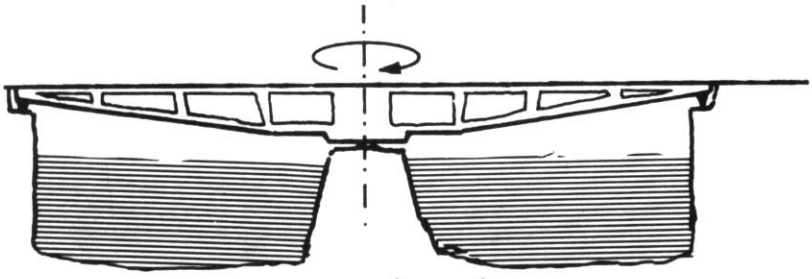


nog schematischer



Ophaalbrug Giethoorn

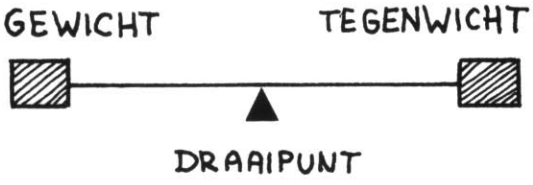
Als de brug opgehaald wordt, gaat het wegdek omhoog en het tegenwicht omlaag. Als er geen tegenwicht is, moet de brugwachter veel harder trekken om de brug te openen.
Het gewicht van het brugdek en het tegenwicht houden elkaar bijna in evenwicht.
Gewicht en tegenwicht kunnen draaien om de *draaias.*
In de tekening zie je daarvan nog maar één punt: het *draaipunt.*



draaibrug

De brug op de tekening hierboven kan opengedraaid worden. Het linker en rechter gedeelte van de brug kunnen niet zonder elkaar. Als je bij de opengedraaide brug het linker gedeelte weghaalt, valt het rechterdeel in het water.
De brug kantelt dan.
Linker en rechter gedeelte houden elkaar in evenwicht.

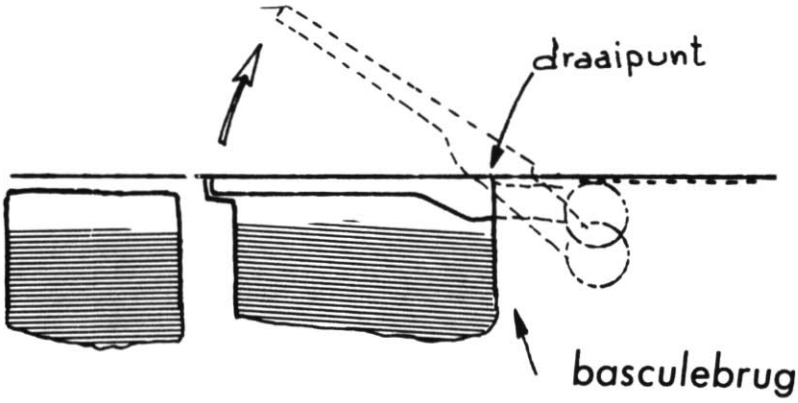
Schematisch



Half geopende draaibrug over het Merwedekanaal bij Nieuwegein

Ook bij de basculebrug wordt een tegenwicht gebruikt. Dat zit onder het wegdek.

Een basculebrug, zoals er zo vele in Nederland te vinden zijn.
Het tegenwicht bevindt zich onder het wegdek in de brede pijler.
Op de achtergrond een ophaalbrug

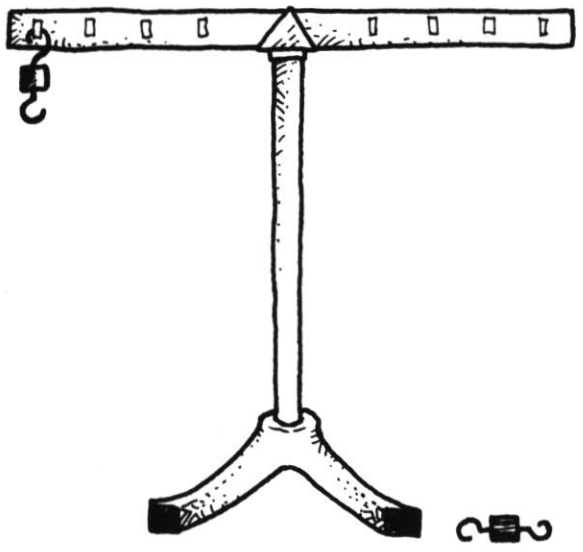


Opdracht 3.1 – Maak zelf een schematische tekening voor de basculebrug.
– Denk je dat het gewicht van het brugdek en het tegenwicht even groot zijn?
– Heb je een groter tegenwicht nodig als het tegenwicht verder naar rechts wordt geplaatst?

Met de volgende proef onderzoek je een natuurkundige regel over evenwicht. Met die regel kun je de laatste twee antwoorden van opdracht 3.1 controleren.

PROEF 3.1 **Evenwicht aan een latje**

Gebruik de opstelling hieronder.



PLAATS EN AANTAL GEWICHT LINKS	PLAATS EN AANTAL GEWICHT RECHTS
1 op 6 cm.	1 op 6 cm
1 op 6 cm	2 op ..
1 op 6 cm	3 op ..
1 op 6 cm	4 op ..

– Hang een gewichtje 6 cm links van het draaipunt.
– Breng het latje in evenwicht door rechts aan een spijker 2 gewichten te hangen.
– Breng het ook in evenwicht met 3 en 4 gewichten.
– Vul de tabel in.

– Hang het linker gewichtje op een andere plaats en breng het latje weer op verschillende manieren in evenwicht.
Vul de tabel verder in.

Als er evenwicht is, geldt het volgende:
Aantal gewichtjes links x aantal cm links = aantal gewichtjes rechts x aantal cm rechts.

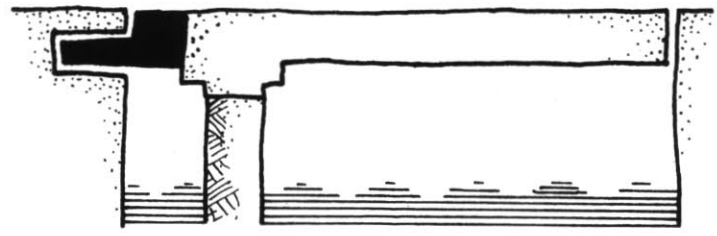
Opdracht 3.2 Controleer deze regel voor jouw metingen.

Meer algemeen geldt er als er evenwicht is:
(gewicht x afstand tot het draaipunt) links = (gewicht x afstand tot het draaipunt) rechts.
Deze regel heet de *momentenwet.*

Opdracht 3.3 Bij je metingen heb je gevonden dat een aantal (bijv. 3) gewichten rechts in evenwicht gehouden kan worden door 1 gewicht links.
Wat kun je dan zeggen over de afstanden van de gewichten links en rechts tot het draaipunt?

Opdracht 3.4 Pas de momentenwet toe op de basculebrug.
Wat moet je doen met het tegenwicht als de kelder waarin het tegenwicht zich bevindt klein is?

3.2 BRUGGEN VASTZETTEN

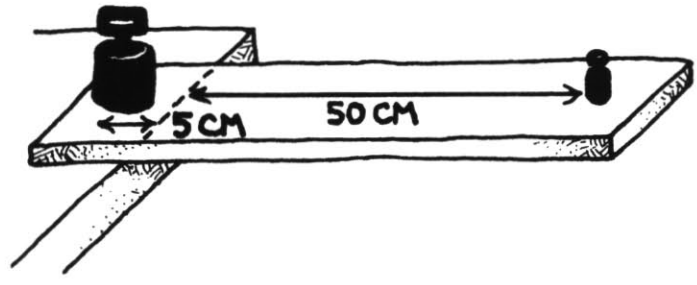


De draaibrug hiernaast is alleen aan de linkerkant ondersteund. Het linker deel van de brug is erg zwaar gemaakt om te voorkomen dat het brugdek rechts naar beneden draait.

Opdracht 3.5 Leg met de momentenwet uit dat het linker deel veel zwaarder moet zijn dan het brugdek.

Met het volgende proefje moet je nagaan hoe groot de krachten links zijn als er rechts op deze brug een auto staat.

PROEF 3.2 **Kantelen**



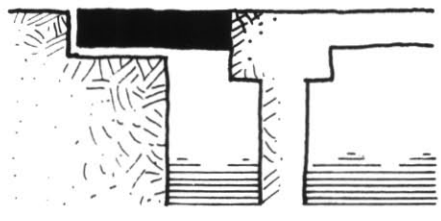
Maak de opstelling hiernaast zó, dat de plank niet kantelt. Waar zit de draailijn? Hoe groot zijn de gewichten? Klopt dat met de momentenwet?

Je merkt dat om het kleine gewicht rechts te houden links een groot gewicht nodig is.

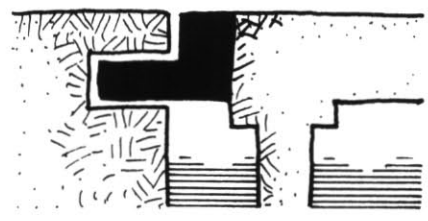
Opdracht 3.6

- Leg uit hoe het komt dat de korte kant een grote kracht moet kunnen verdragen.
- Waarom is de brug

niet zo:



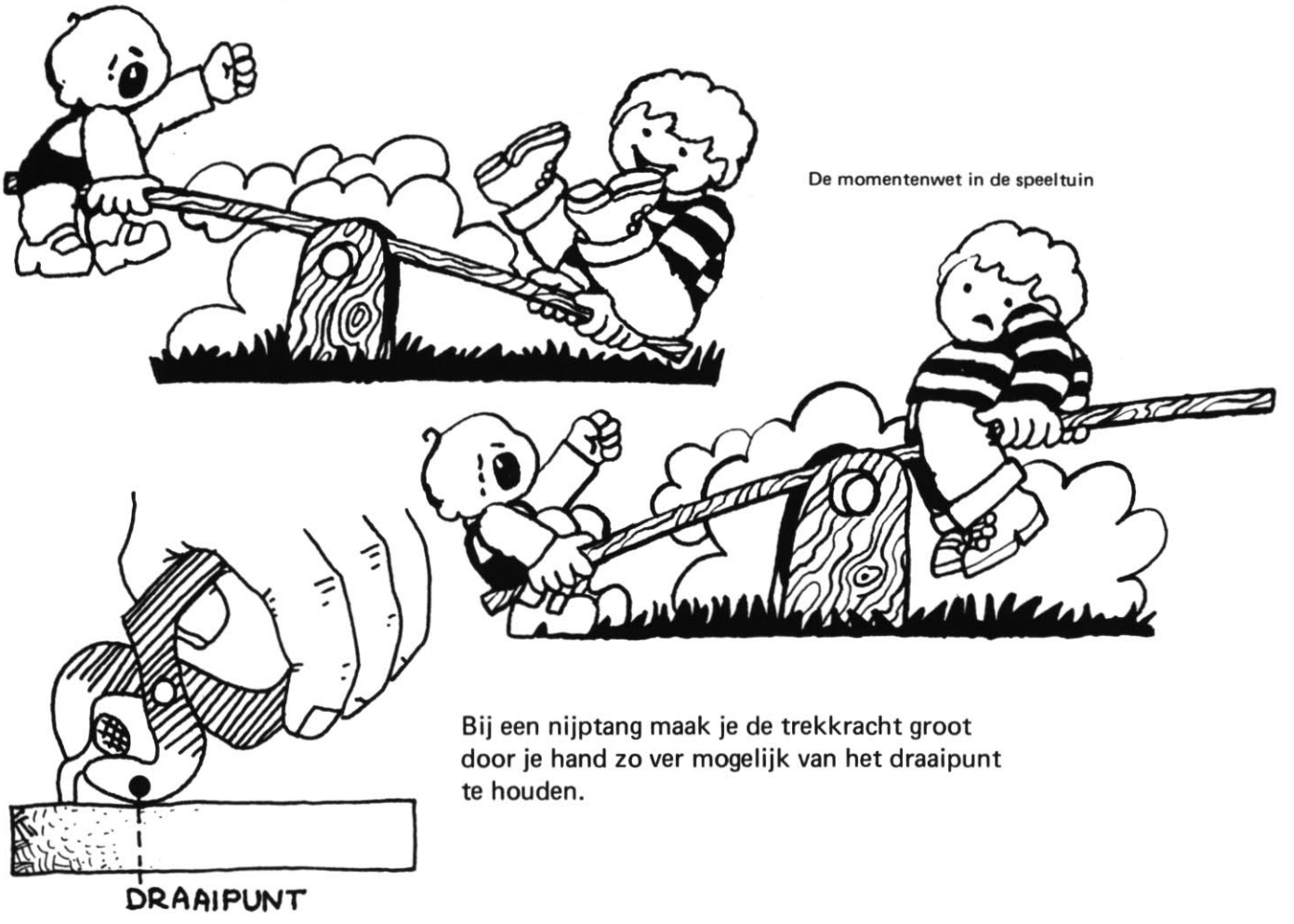
maar zo:



gebouwd?

3.3 ANDERE TOEPASSINGEN VAN DE MOMENTENWET

De momentenwet kom je ook op allerlei andere plaatsen tegen.



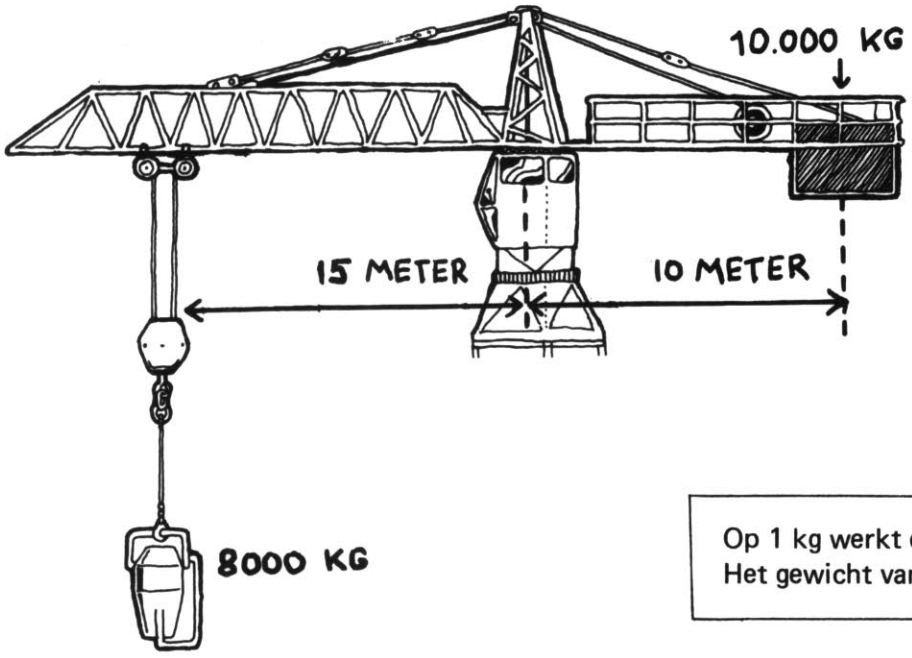
De momentenwet in de speeltuin

Bij een nijptang maak je de trekkracht groot door je hand zo ver mogelijk van het draaipunt te houden.

Bij sommige hijskranen is er behalve de arm waarmee iets opgehesen wordt ook een arm met een tegenwicht. De gewichten aan die twee armen werken elkaar tegen, zodat de hijskraan niet zo makkelijk kan kantelen. Een extra verzwaring (ballast) in de voet van de hijskraan zorgt ervoor dat de kraan extra stabiel is. In hoofdstuk 4 vind je daar meer over.

Ballast in de voet van een hijskraan

Een hijskraan met een tegenwicht aan de arm

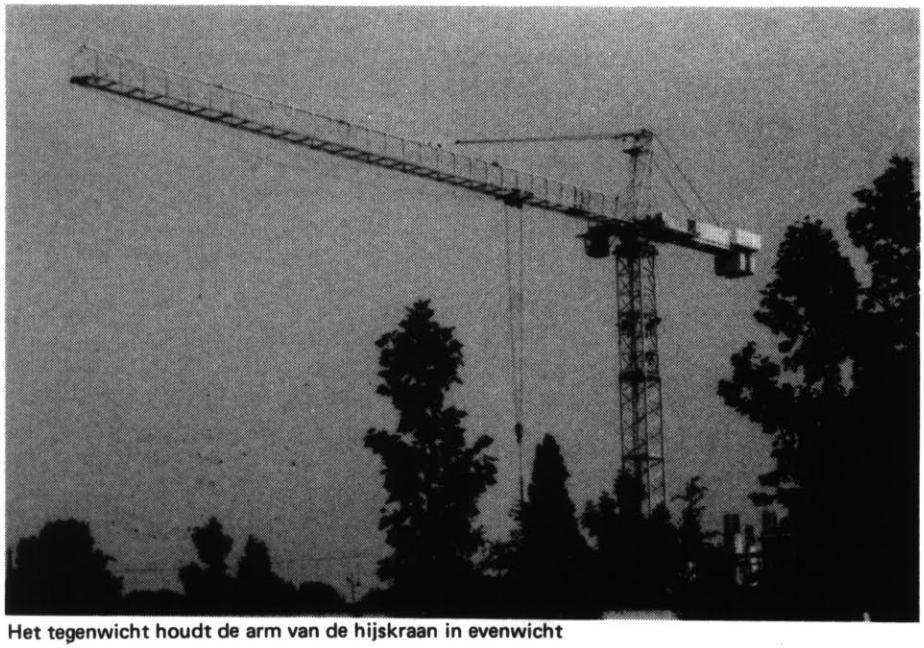


Op 1 kg werkt een zwaartekracht van 10 N.
Het gewicht van 1 kg is op aarde 10 N.

De armen van de hijskraan hierboven zijn niet in evenwicht.
Links is het gewicht x de afstand tot het draaipunt 80.000 N x 15 m = 1.200.000 Nm
Rechts 100.000 N x 10 m = 1.000.000 Nm.

De kraan zal dus neiging hebben om naar links te kantelen: 1.200.000 is nl. groter dan 1.000.000.
Door de ballast in de voet kantelt de hijskraan toch niet. Die ballast maakt de hijskraan stabiel.
Daarover ga je meer leren in hoofdstuk 4 over stabiliteit.

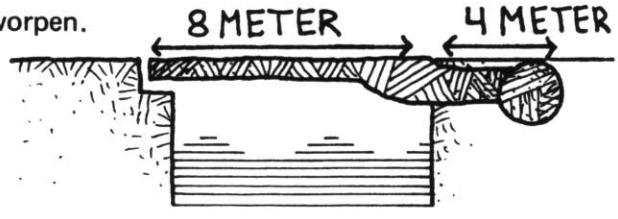
Uit dit voorbeeld kun je zien dat je de momentenwet ook kunt gebruiken om te voorspellen of iets linksom of rechtsom zal gaan draaien.



Het tegenwicht houdt de arm van de hijskraan in evenwicht

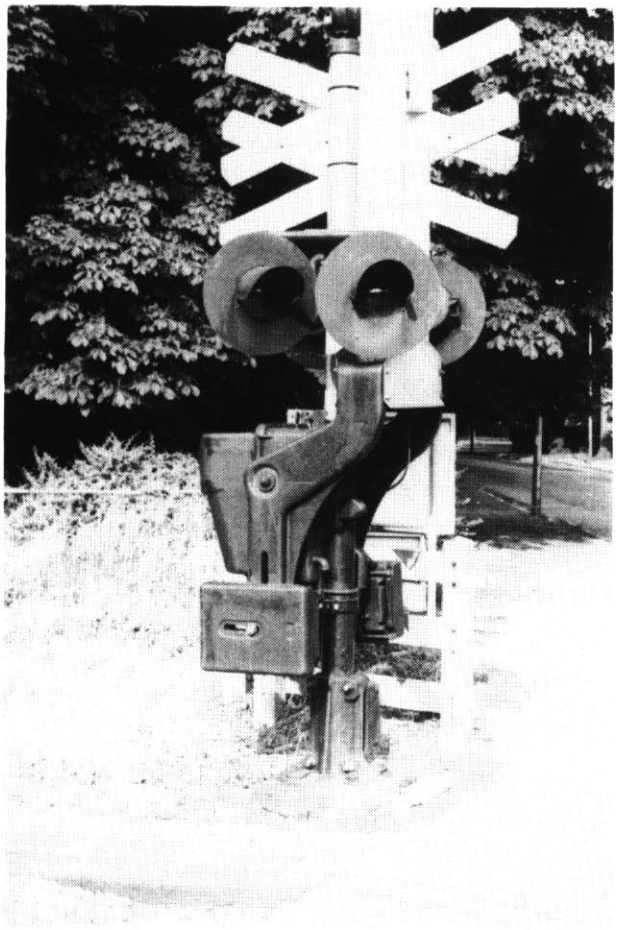
Oefeningen

1 Een bruggenbouwer heeft de volgende basculebrug ontworpen.

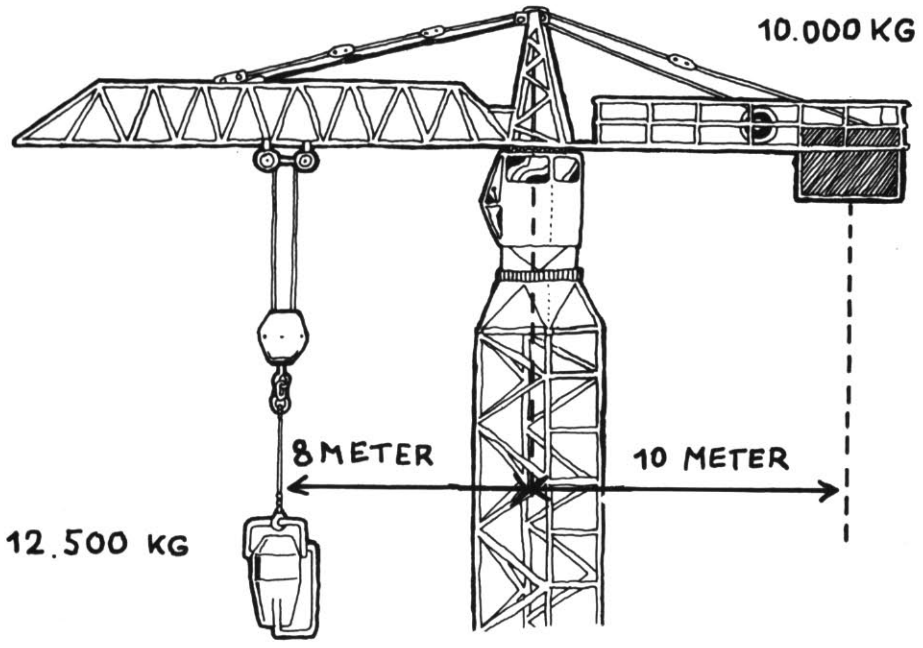


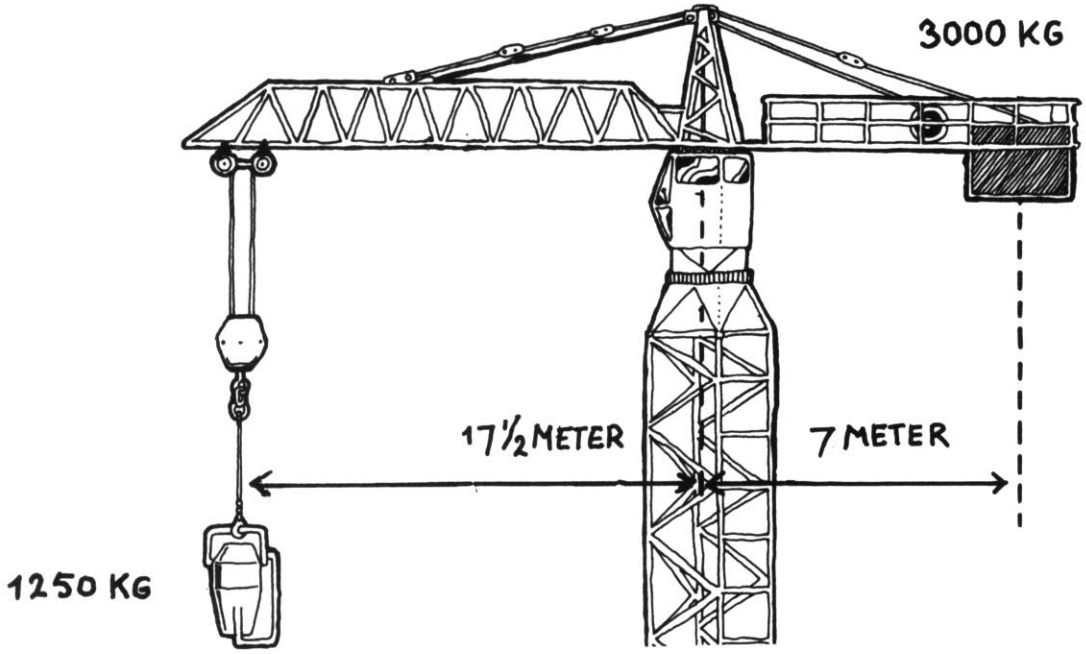
Het brugdek wordt door een tegenwicht van 4000 kg in evenwicht gehouden. Een andere bouwer plaatst bij hetzelfde wegdek het tegenwicht op 2 meter afstand van het draaipunt.
- Hoe groot moet dan het tegenwicht zijn?
- Geef een argument om het eerste ontwerp te kiezen.
- Geef een argument om het tweede ontwerp te kiezen.

2 Waarvoor dient het contragewicht bij deze spoorwegboom?

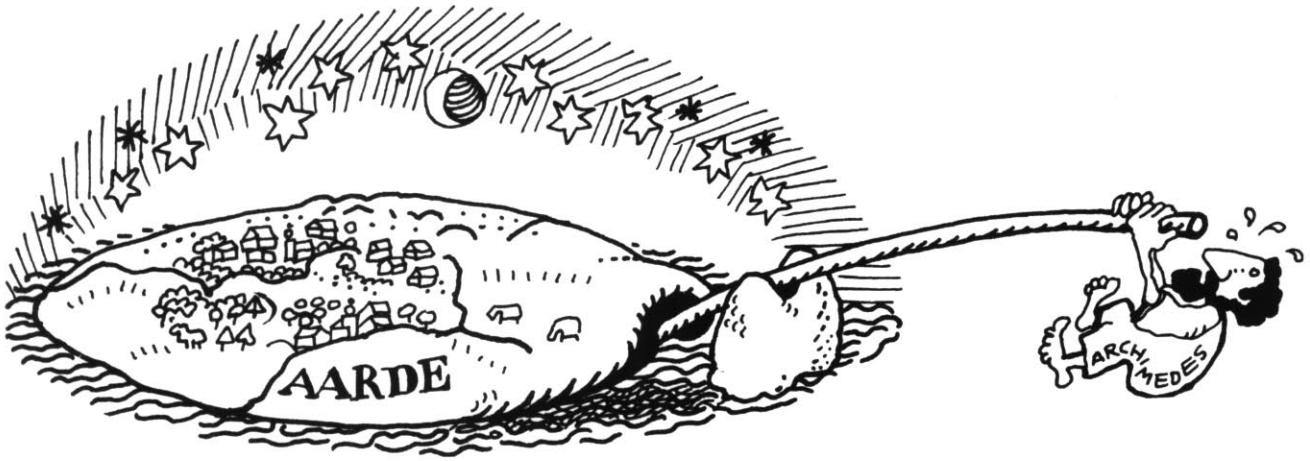


3 Vertel of in de volgende situaties de armen van de hijskraan in evenwicht zijn of niet. Zo niet, welke kant zal de arm dan uit proberen te draaien? Zal dat lukken, denk je?





4 In de Griekse Oudheid meende men dat de aarde een platte pannekoek was, geheel omgeven door de zee. Een man, Archimedes, hield zich in die tijd met de momentenwet bezig. Hij zei: 'Geef mij een vast punt en ik zal de aarde uit haar voegen lichten.'
De tekenaar heeft dat proberen uit te beelden.
Denk je dat Archimedes gelijk zou hebben als de aarde geen bol maar een platte pannekoek was?



4 stabiliteit

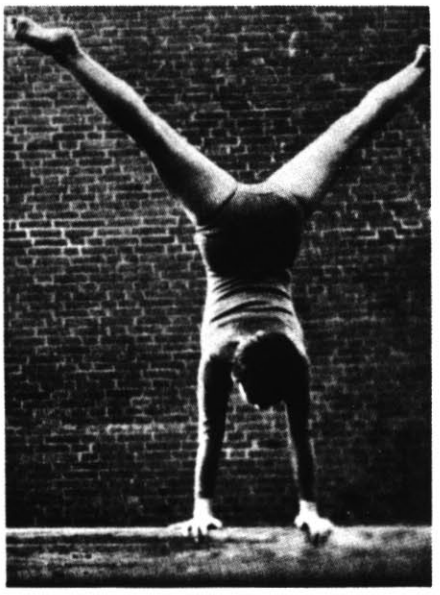
Je ziet het gebeuren: doordat het verliefde stel opstaat, kantelt de bank en mevrouw maakt een noodlanding. Je hebt zelf ook wel van die situaties meegemaakt, soms grappig en soms gevaarlijk, waarin voorwerpen met of zonder mensen omvielen. Je kunt denken aan bekers, flessen, vazen met bloemen, stoelen, ladders, fietsen, kruiwagens, vrachtauto's, hijskranen, enzovoort.

Bij veel voorwerpen en constructies is het dus niet alleen belangrijk dat ze *sterk* zijn: ze moeten ook *stabiel* zijn: ze moeten goed in evenwicht blijven en niet makkelijk omvallen. Daarover gaat dit hoofdstuk.

We kijken alleen naar voorwerpen die ergens los op staan, bijvoorbeeld op de grond, op een tafel of op een plank. Ze mogen niét vastgemaakt zijn door schroeven, spijkers, lijm of wat dan ook.

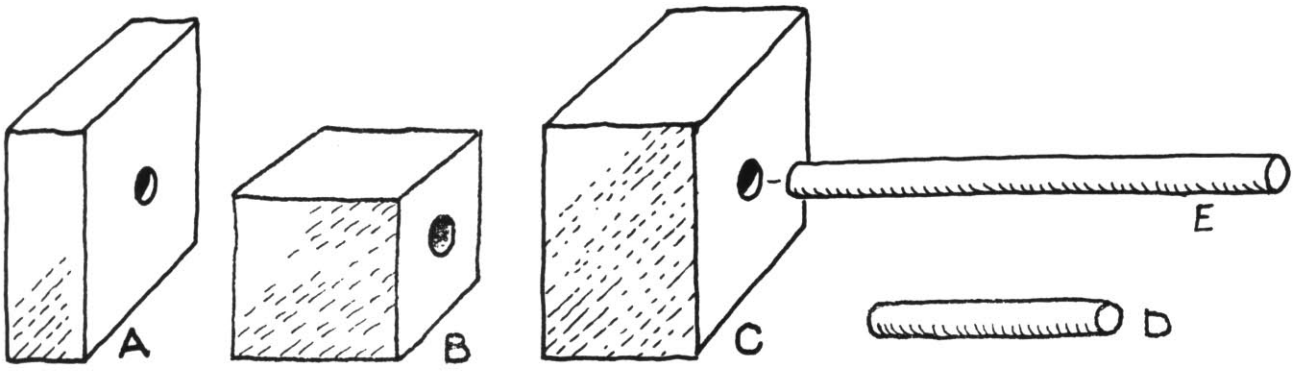
4.1 STABIELE VOORWERPEN

Om te onderzoeken hoe stabiel een voorwerp of een constructie is, kun je hem scheef zetten en dan loslaten. Valt hij terug naar zijn evenwichtsstand of valt hij om? Hoe scheef kun je hem zetten voor hij omvalt?

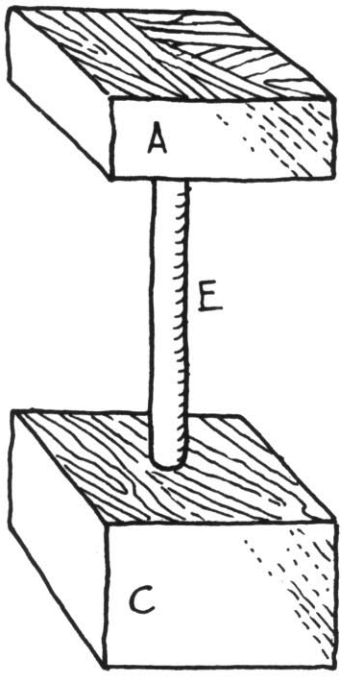


Wanneer valt de turnster om?

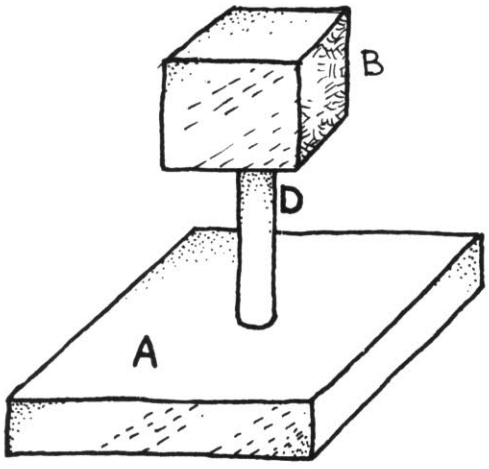
Bij de proeven gebruiken we voorwerpen die zijn opgebouwd uit de volgende bouwelementen:
A: een groot rond of vierkant blok.
B: een klein rond of vierkant blok met hetzelfde gewicht als A.
C: een rond of vierkant blok, evengroot als A maar zwaarder.
D: een kort verbindingsstuk.
E: een lang verbindingsstuk.
D en E passen precies in de gaten midden in A, B en C.



Met deze bouwelementen kun je allerlei voorwerpen maken, bijvoorbeeld voorwerp ADB en voorwerp CEA.



Voorwerp CEA



Voorwerp ADB

Van deze voorwerpen gaan we de stabiliteit onderzoeken. We gebruiken de opstelling van de tekening hiernaast.

Proefopstelling onderzoek stabiliteit

PROEF 4.1 **Grondvlak en stabiliteit**

1 Zet voorwerp ADB (of AEB) op de plank. Til de plank langzaam op. Lees op de gradenboog af bij welke hoek het voorwerp omvalt. (Zorg dat het voorwerp niet omlaag schuift. Dat kun je doen met een laagje plakband of met twee punaises.)
2 Zet het voorwerp op z'n kop en herhaal de proef. Wordt het voorwerp stabieler?
3 Plak het voorwerp midden op een groot stuk karton en herhaal de proef. Wordt het voorwerp stabieler?

Als je voorwerp ADB of AEB op z'n kop zet, maak je het grondvlak groter of kleiner. Het grondvlak maak je groter door er een stuk karton onder te plakken. Verder verandert er niets: het voorwerp blijft ongeveer even zwaar. Ook blijft er ongeveer evenveel massa bovenin als onderin, want A en B zijn even zwaar.

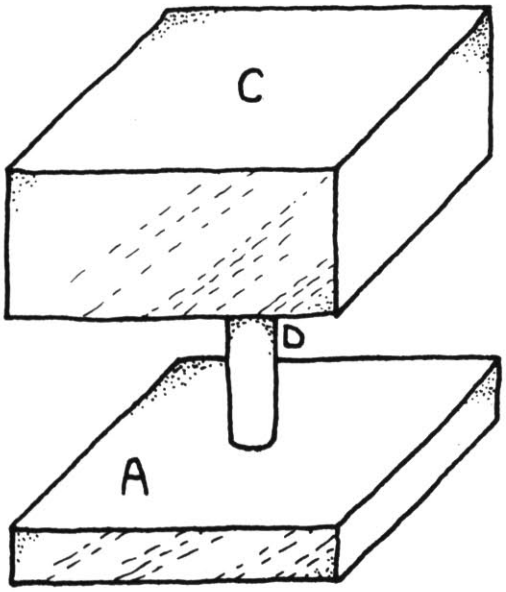
Uit de proef volgt dat een breed grondvlak de constructie stabiel maakt.

PROEF 4.2 **Gewichtsverdeling en stabiliteit**

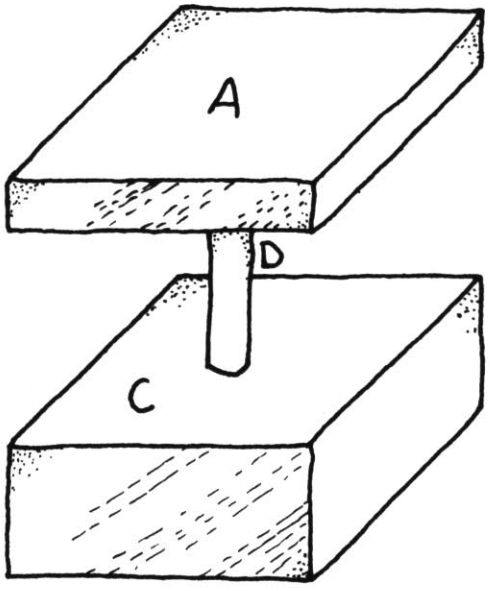
1 Zet voorwerp CDA op de plank. Til de plank langzaam op. Lees op de gradenboog af bij welke hoek het voorwerp omvalt.
2 Zet het voorwerp op zijn kop en herhaal de proef.

Als je voorwerp CDA omkeert, breng je meer of minder massa bovenin. Verder verandert er niets: het voorwerp blijft even zwaar. Ook blijft het grondvlak gelijk.

Uit de proef volgt dat een voorwerp stabieler is als er meer massa onderin zit.



Meer massa bovenin



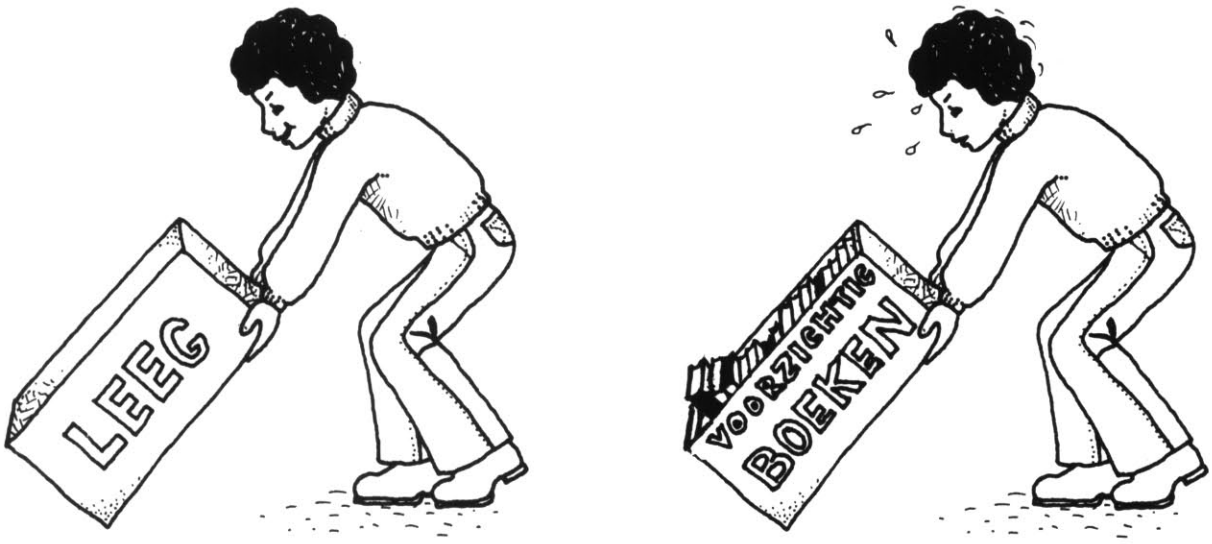
Meer massa onderin

PROEF 4.3 **Hoogte en stabiliteit**

1 Vergelijk de stabiliteit van voorwerp ADB met die van AEB. Zet steeds hetzelfde blok onder.
2 Vergelijk de stabiliteit van voorwerp ADC met die van AEC. Zet steeds hetzelfde blok onder.
3 Waarom moet bij 1 steeds hetzelfde blok onder? En waarom bij 2?

Als je verbindingsstuk D vervangt door E maak je het voorwerp hoger. Verder verandert er niets.

Uit de proef volgt dat een voorwerp stabieler is als het lager is.



Een lege doos kun je veel gemakkelijker kantelen dan dezelfde doos vol met zware boeken

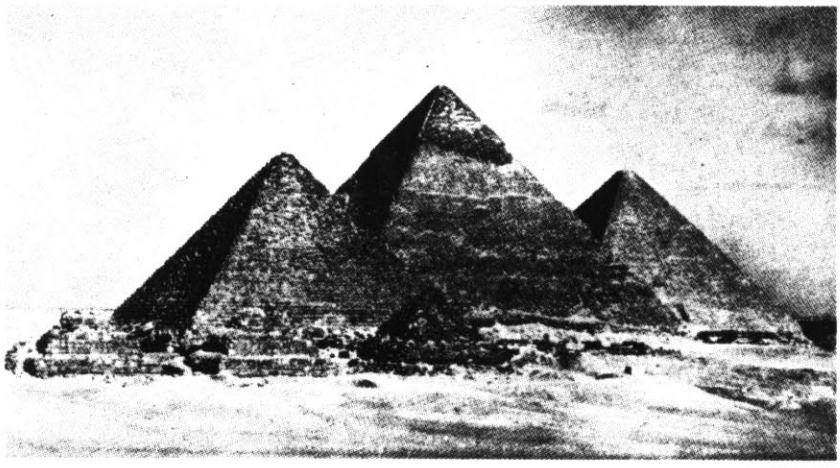
De proef uit de tekening hierboven hoef je niet te doen. Wel kun je eruit concluderen dat je een zwaar voorwerp moeilijker kunt kantelen dan een licht voorwerp.

Regels voor stabiliteit

Voor alle mogelijke voorwerpen, of het nu huishoudtrappen, keukenkrukjes, hijskranen of vrachtauto's zijn, gelden de regels die we in de proeven gevonden hebben.
Dus: om een stabiel voorwerp of een stabiele constructie te krijgen kun je:

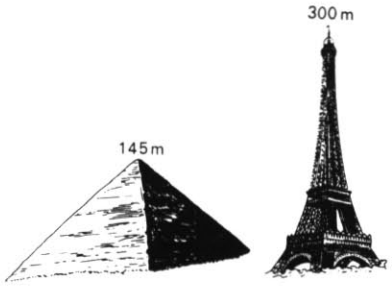
1 het grondvlak breed maken
2 veel massa onderin stoppen
3 het voorwerp laag maken
4 het voorwerp zwaar maken

Een bouwkraan: stabiel door veel massa onderin



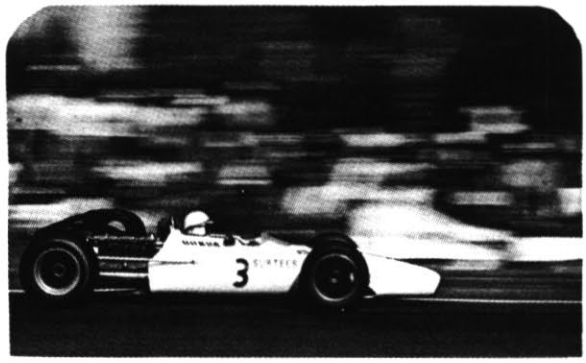
Egyptische pyramide, een stabiele constructie

Een heel stabiele constructie is de Egyptische pyramide. De Eiffeltoren rust op een minder brede basis, maar de sterkste orkaan heeft geen schijn van kans hem om te blazen.



Ook bij auto's heb je te maken met de regels voor stabiliteit. Kijk maar eens naar de raceauto op de foto.

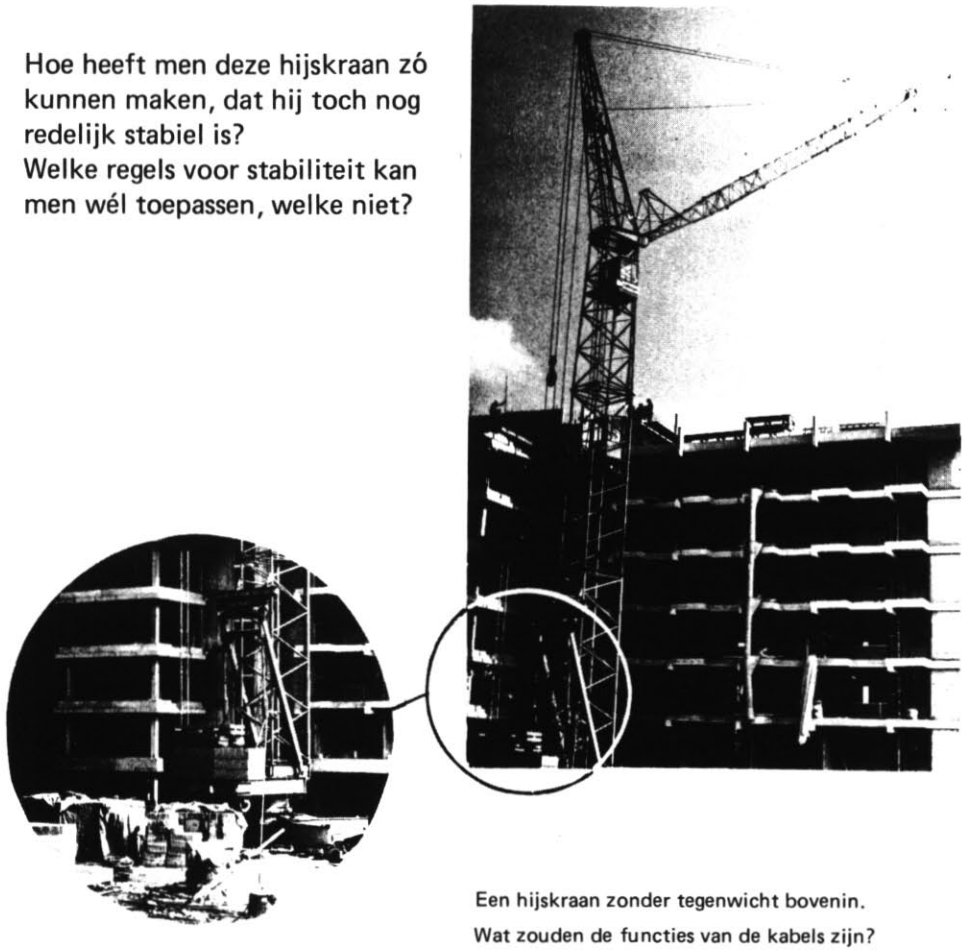
Opdracht 4.1 Leg uit welke regels je daarin herkent.



In Engeland hebben ze de hoge dubbeldeksbussen toch nog behoorlijk stabiel gemaakt door de wielen ver uit elkaar te zetten, zodat een breed grondvlak ontstaat (brede wielbasis). Verder is er veel massa onderin gestopt. De motor zit erg laag, vrijwel tussen de wielen. Als de bus vol zit met mensen is hij aanzienlijk minder stabiel.

Opdracht 4.2 Waarom is dit zo?

Opdracht 4.3 Hoe heeft men deze hijskraan zó kunnen maken, dat hij toch nog redelijk stabiel is?
Welke regels voor stabiliteit kan men wél toepassen, welke niet?

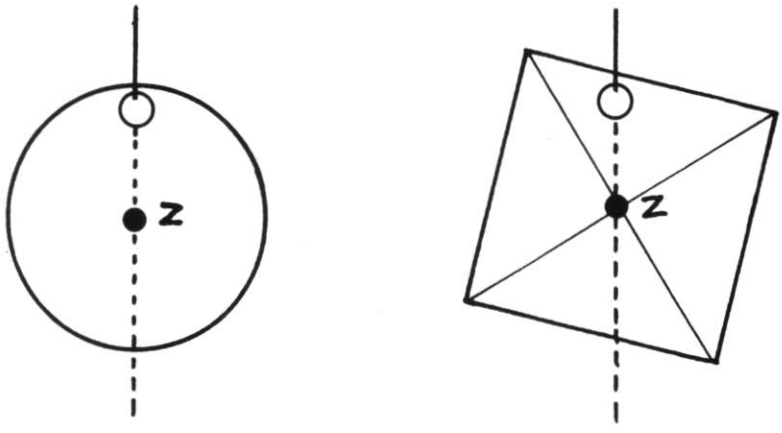


Een hijskraan zonder tegenwicht bovenin.
Wat zouden de functies van de kabels zijn?

4.2 ZWAARTEPUNT

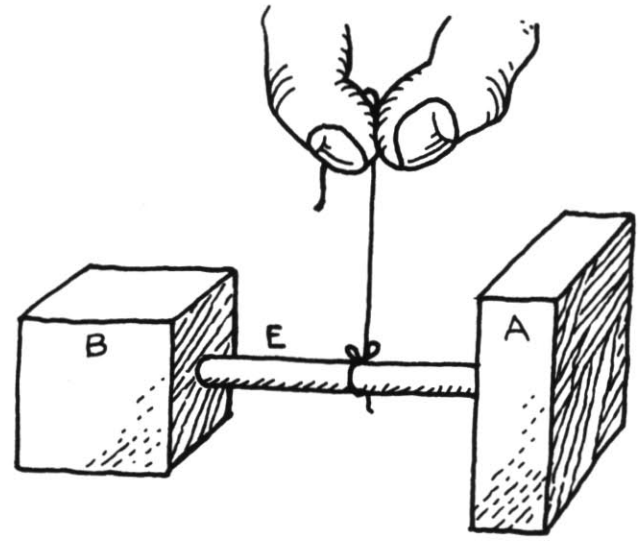
Er is een algemene regel op te stellen waarmee je kunt voorspellen wanneer een constructie omvalt. Om die regel te vinden moet je weten wat het *zwaartepunt* of *massamiddelpunt* van een voorwerp is.

Het zwaartepunt of massamiddelpunt van een ronde schijf is het midden van de schijf. Als je de schijf wilt laten balanceren op je vinger moet je hem precies onder het zwaartepunt ondersteunen. Als je de schijf ophangt aan een touw gaat hij zo hangen, dat het zwaartepunt recht onder het ophangpunt is.



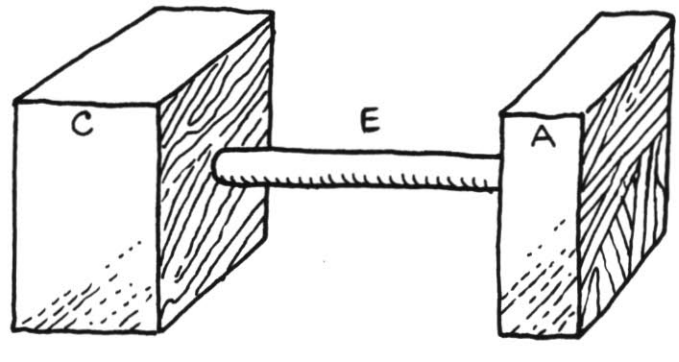
Het zwaartepunt of massamiddelpunt van een kartonnen vierkant is het midden van dat vierkant. Als je het vierkant wilt laten balanceren op je vinger moet je het precies onder het zwaartepunt ondersteunen. Als je het vierkant ophangt aan een touw, gaat het zo hangen, dat het zwaartepunt recht onder het ophangpunt is.

Het zwaartepunt Z van voorwerp AEB ligt midden tussen A en B (A en B zijn even zwaar). Als je AEB zo wilt ophangen als in de tekening, moet je het touwtje bij het zwaartepunt vastmaken. Als je AEB op je vinger wilt laten balanceren, moet je het ondersteunen onder het zwaartepunt.



PROEF 4.5 **Zwaartepunt bepalen (1)**

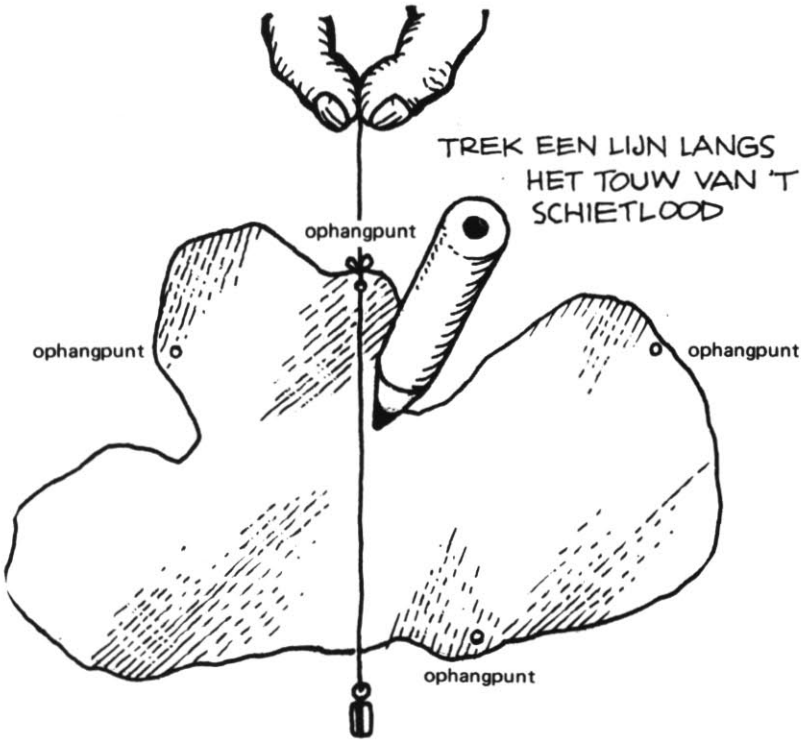
Bepaal het zwaartepunt van het voorwerp AEC.



Waarschijnlijk heb je bij proef 4.5 het voorwerp laten balanceren. Je weet dan dat je het voorwerp onder het zwaartepunt ondersteunt als er evenwicht is. Op dezelfde manier kun je het zwaartepunt bepalen van een grillig gevormd stuk karton. Maar er is nog een andere manier. Je gebruikt dan de regel dat het zwaartepunt zich altijd onder het ophangpunt bevindt bij ophangen.

PROEF 4.6 **Zwaartepunt bepalen (2)**

Voor deze proef heb je een stuk karton nodig waarin zich drie of vier gaatjes bevinden vlakbij de rand.
Je kunt de gaatjes gebruiken om het karton op te hangen. Verder heb je een touw, een potlood en een schietlood nodig. (een schietlood is een touwtje met iets zwaars eraan; als het touwtje vrij hangt wijst het altijd loodrecht naar beneden)



1 Hang het stuk karton op aan een touw
2 Maak in het ophangpunt ook het schietlood vast en laat het vrij hangen
3 Trek met het potlood een lijn langs het touwtje van het schietlood
4 Herhaal 1 t/m 3 voor de andere ophangpunten

Als je nauwkeurig hebt gewerkt, snijden alle lijnen elkaar in hetzelfde punt. Dit snijpunt is het zwaartepunt van het stuk karton.

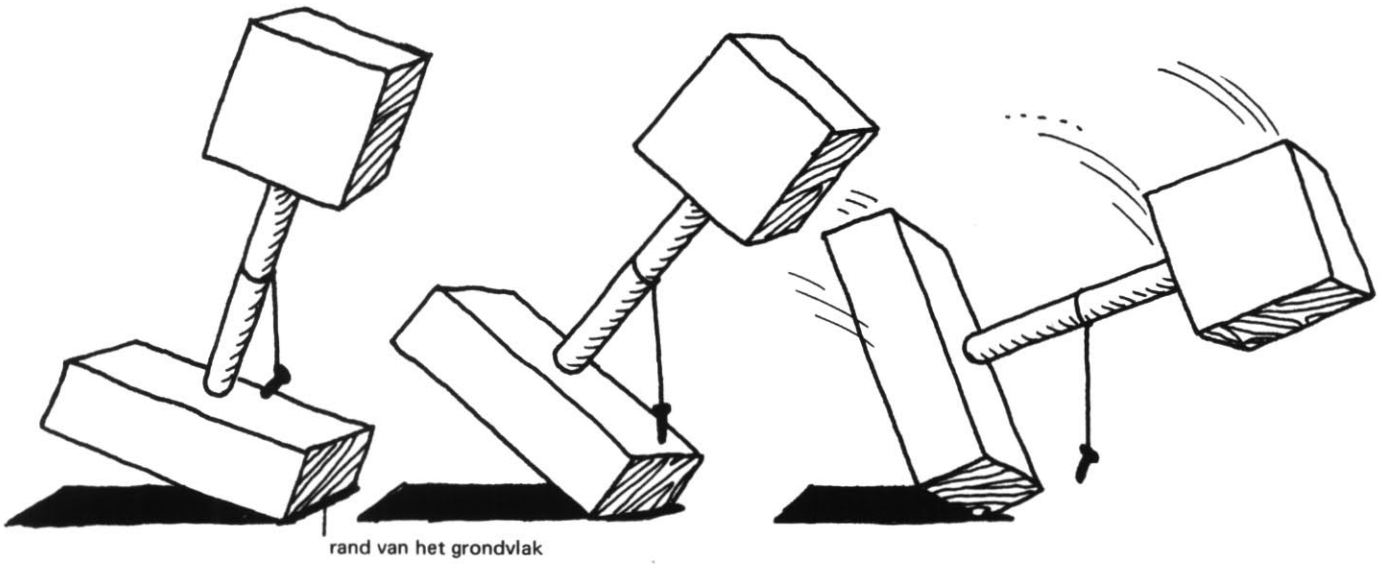
Als je het stuk karton wilt laten balanceren op je vinger of op de punt van een potlood moet je het precies onder het zwaartepunt ondersteunen.

Met de methode van proef 4.6 kun je van allerlei voorwerpen het zwaartepunt bepalen. Zie bijvoorbeeld onderzoek 6.2 op blz. 75.

PROEF 4.7 **Zwaartepunt en kantelen**

Als je weet waar het zwaartepunt van een constructie ligt, kun je duidelijk zien wat er aan de hand is bij kantelen.

1 Maak een schietlood vast aan het zwaartepunt van voorwerp AEB



2 Zet het voorwerp scheef en let op, voordat je het loslaat, naar welk punt van de tafel het schietlood wijst. Ligt dit punt links of rechts van de rand waar de constructie op de tafel steunt?
3 Naar welk punt van de tafel wijst het schietlood in de 'kritieke' stand, als de constructie net op het punt staat om te kantelen?
4 Zet het voorwerp op z'n kop, herhaal 2 en 3
5 Herhaal de proef met voorwerp AEC
6 Trek je conclusies uit de proef.

Waarschijnlijk heb je gemerkt dat het voorwerp kantelt zodra de schietloodlijn buiten het grondvlak valt; met andere woorden, zodra het zwaartepunt zich niet meer boven het grondvlak bevindt.
Als het zwaartepunt precies boven de rand van het grondvlak is gekomen, staat de constructie in zijn 'kritieke' stand. Misschien kun je hem, met een beetje geluk en handigheid, even zo laten staan. Hij is dan in 'labiel evenwicht': bij het minste duwtje klapt hij om!

Regels voor stabiliteit

Je kunt nu de regels van blz. 52 beter begrijpen. Bij een breed grondvlak moet je het voorwerp veel verder scheef zetten, voordat het zwaartepunt boven de rand van het grondvlak zit. Bij een laag voorwerp of een voorwerp waarbij veel massa onder zit, ligt het zwaartepunt laag. Daardoor moet je het voorwerp ook weer verder scheef zetten, voordat het zwaartepunt boven de rand van het grondvlak zit.
Voordat je een stabiele constructie omgekanteld krijgt, moet je het zwaartepunt een stuk omhoog brengen. En dit kost altijd moeite, doordat de zwaartekracht tegenwerkt. Bij een zwaar voorwerp kost het meer moeite dan bij een licht voorwerp; vandaar dat een zwaar voorwerp stabieler is dan een licht voorwerp.
Tot de 'kritische' stand (als de constructie staat te wankelen op zijn rand) moet je het zwaartepunt steeds hoger brengen. Daarna maakt het zwaartepunt een zwaai omlaag.

De algemene regel luidt dus:
hoe meer moeite het kost om het zwaartepunt boven de rand van het grondvlak te brengen, hoe stabieler de constructie is.

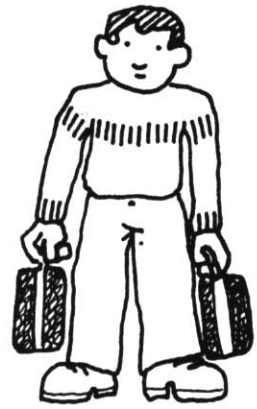
PROEF 4.8 **Balanceren**

Wat je geleerd hebt over evenwicht en zwaartepunten kun je ook toepassen op voorwerpen die je laat balanceren en op je eigen lichaam.

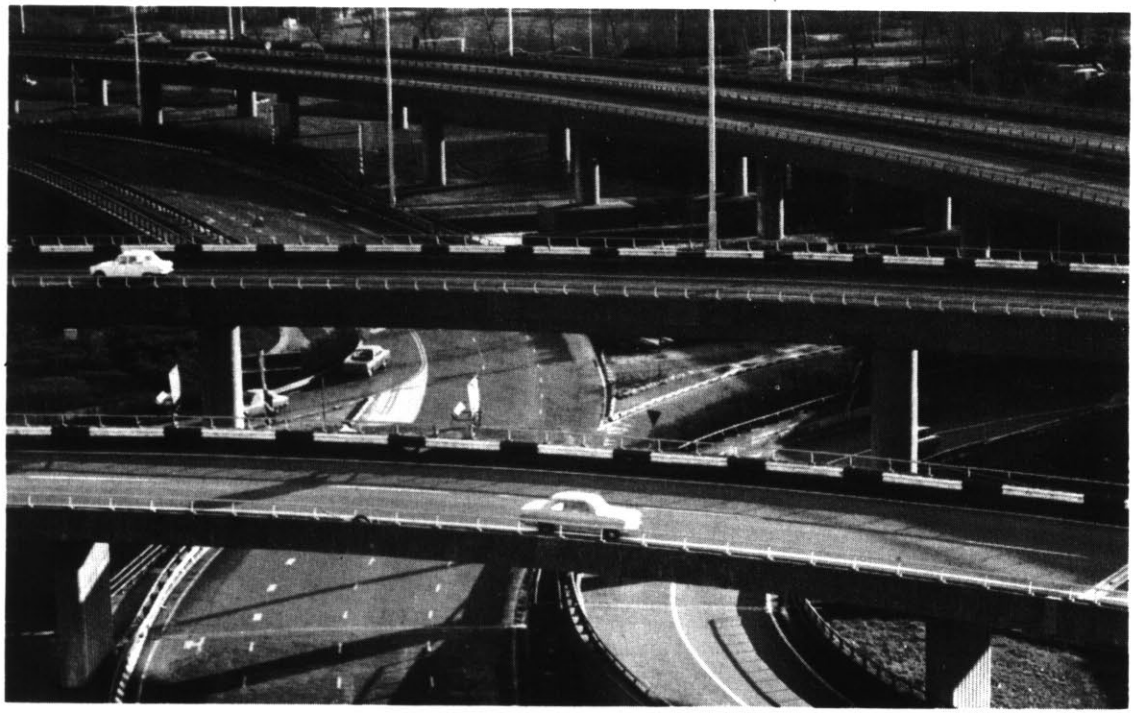
1 Probeer een stok of een krukje in evenwicht te houden op je vinger.
Waar moet het zwaartepunt van het voorwerp zitten?
Hoe komt het dat het voorwerp telkens 'uit zijn balans' raakt?
Wat doe je dan steeds met je vinger?
2 Balanceer op je tenen of op een voet.
Wat doe je als je dreigt om te vallen?

Als je dreigt om te vallen, probeer je je zwaartepunt weer recht boven het steunpunt te krijgen. Je lichaam is (gelukkig) geen starre constructie; je kunt je zwaartepunt verplaatsen door bijvoorbeeld een arm uit te steken. Soms ga je door je knieën om je zwaartepunt lager te krijgen, zodat je minder makkelijk omvalt. Zo zie je dat je van nature al lang doet wat je hier ontdekt hebt.

Opdracht 4.3 Kijk maar eens naar wat de mensen in de vier tekeningen doen — hoe passen zij de evenwichtsregels toe?



Een zwangere vrouw staat vaak met de buik vooruit en de schouders achteruit. Het zwaartepunt blijft zo boven de voeten. De houding is echter erg slecht voor de rug



Het verkeersplein Kleinpolderplein bij Rotterdam. Voorrang voor het autoverkeer . . .

De Kennedybrug in Maastricht. Prachtig of bedreigend?

onderzoeken

inhoud

Onderzoek 1 Een brug bouwen, belasten en versterken blz. 60

Onderzoek 2 Een hijskraan bouwen blz. 65

Onderzoek 3 Een hijskraan en de momentenwet blz. 69

Onderzoek 4 Allerlei onderzoeken rond stevigheid en vorm blz. 71

Onderzoek 5 Allerlei onderzoeken rond 'laten draaien' blz. 73

Onderzoek 6 Allerlei onderzoeken rond stabiliteit blz. 75

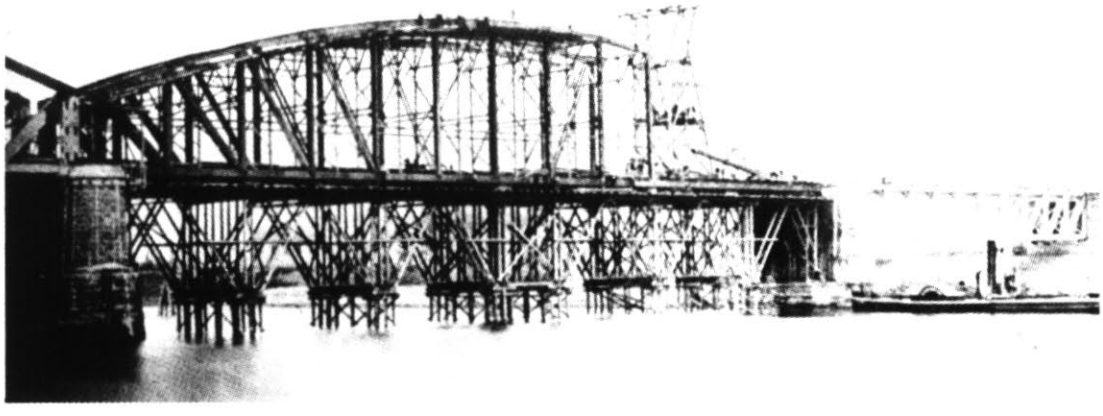
een brug bouwen, belasten en versterken

1.1 EEN BRUG BOUWEN: BOUWPLAN

In dit onderzoek ga je met je groep een brug bouwen. Kies daarvoor één van de bruggen uit die in het oriëntatiedeel getekend staat. Maar een ander soort mag ook. Je kunt bijvoorbeeld een brug uit je omgeving namaken. Zorg er echter voor dat je heel goed weet hoe de brug in elkaar zit.

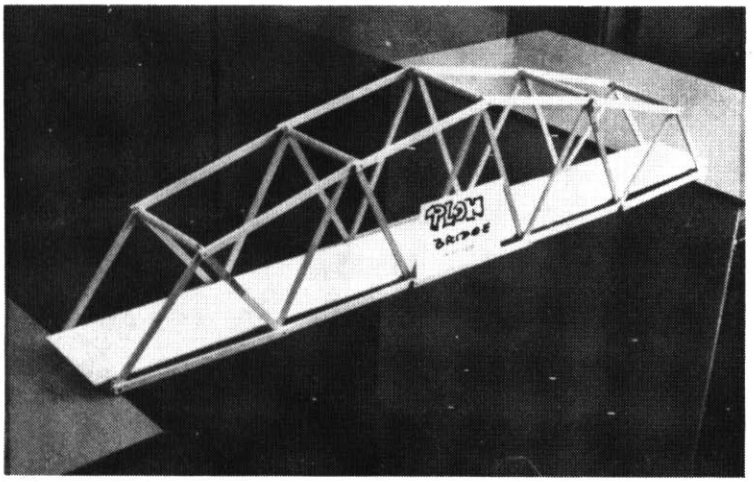
Als er meer groepen een brug gaan bouwen, kan je dat in een wedstrijdvorm doen: welke brug kan het meeste houden?
Bij het bouwen van een brug moet je het volgende met elkaar overeenkomen:
- hoe groot is de afstand die de bruggen moeten overspannen?
- hoe breed moeten de bruggen zijn?
- welke materialen mogen gebruikt worden? (bijvoorbeeld papier, karton, lijm, nietjes, touw)
- moet de brug open en dicht kunnen?
- hoeveel tijd krijg je voor het bouwen?
- worden bruggen van één soort of van verschillende soorten met elkaar vergeleken?

Als je dat hebt afgesproken, kan de groep een *bouwplan* maken. Als je meteen begint te bouwen gaat het zeker mis!
Bij de bouw van een echte brug zijn jaren van bouwtekeningen, berekeningen en voorbereidingen nodig!



Een brug in aanbouw rond de eeuwwisseling. Elk onderdeel wordt precies op maat aangevoerd en kan dan op de juiste plaats gemonteerd worden. De bouw verloopt volgens een strak bouwplan!

In dat bouwplan kan staan:
- een nauwkeurig ontwerp van de brug. Geef voor elk onderdeel aan, welk materiaal je ervoor wil gebruiken.
- welke materialen zijn nodig? Hoe veel en van welke maat?
- waar haal je de materialen vandaan? Wie zorgt daarvoor?
- de volgorde waarin de onderdelen van de brug gemaakt worden en gemonteerd worden.
- wat de taakverdeling in de groep is.
- wat je op school doet en wat je thuis doet.



Hier zie je een foto van een eenvoudig brug-model.

– Welk soort brug is dit?
– Uit welke materialen bestaat deze brug denk je?

1.2 BOUW JE BRUG

Bouwen van een brug betekent: goed samenwerken, goed naar elkaar luisteren!
Bouw je brug volgens het bouwplan. Het kan voorkomen dat het bouwplan tijdens de bouw niet goed blijkt te zijn. Verander het bouwplan dan gezamenlijk. Schrijf voor je verslag of rapportage op, waarom het bouwplan moest veranderen.

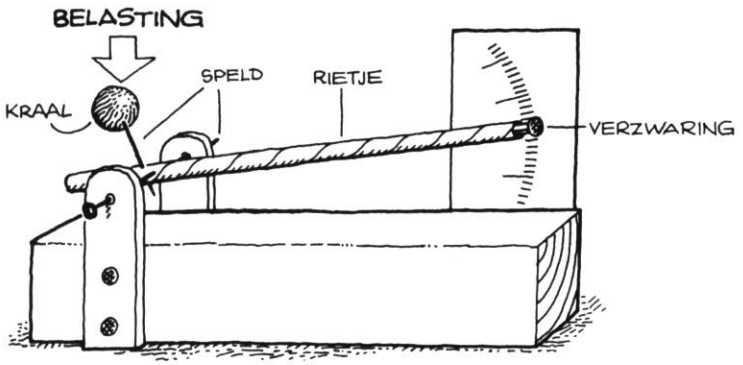
1.3 BELAST JE BRUG

Belast je brug als die af is. Dat kan je doen door er een emmer met gewichten of zakjes zand aan te hangen. Op een veer kan je aflezen hoeveel je aan de brug gehangen hebt.
Door de belasting gaat je brug doorbuigen: door de trek- en duwspanningen wordt het gewicht van de belasting op de pijlers overgedragen. Hoeveel de brug buigt, kan je bepalen met een doorbuigingsmeter.

ZO MAAK JE EEN **doorbuigingsmeter**

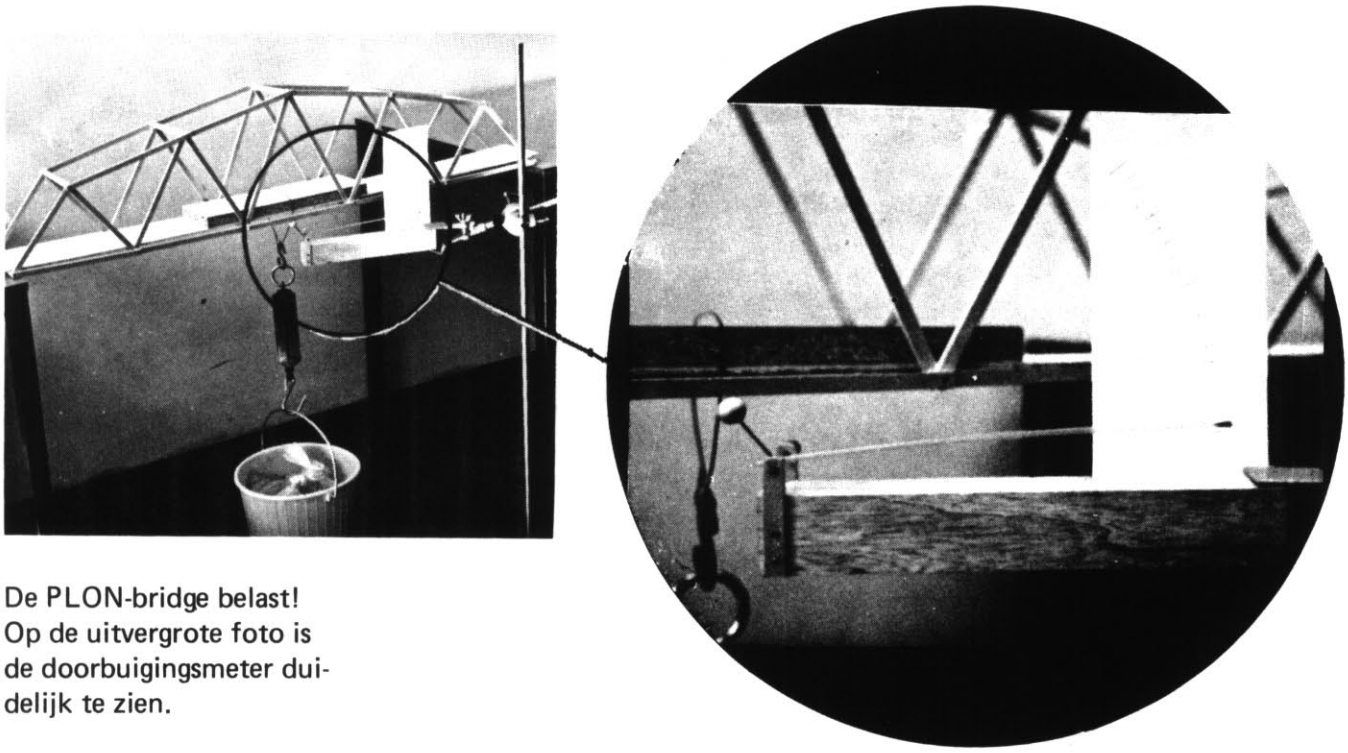
Met deze doorbuigingsmeter kun je de doorbuiging van een brug bij belasten meten. De meter zoals die hier staat is gevoelig d.w.z. bij een kleine doorbuiging van de brug slaat hij al ver uit. Dat komt omdat de draaias van het rietje ver naar links zit.

1 Bouw onderstaande meter na.



2 IJk de meter door links de kraal 1 cm naar beneden te duwen en rechts bij het uiteinde van het rietje 1 cm te schrijven. Doe dat voor een aantal waarden om de 0,5 cm. Maak tussen de getallen een mm-verdeling.
3 Gebruik de meter bij een zelfgebouwde brug. Weinig doorbuiging bij een grote belasting betekent een sterke brug.

Belast de brug zó zwaar, dat zij nog nét niet kapot gaat. Let heel goed op welke vervormingen optreden! Ga na of die veroorzaakt worden door trek- of door duwspanningen of door buigspanningen (die zijn een combinatie van trek- en duwspanningen).



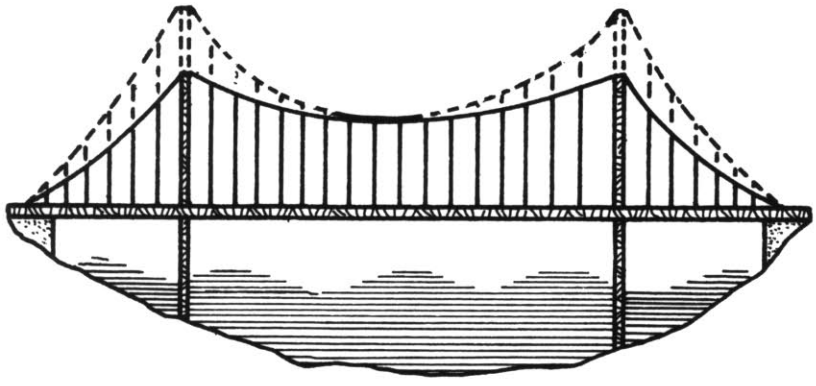
De PLON-bridge belast!
Op de uitvergrote foto is de doorbuigingsmeter duidelijk te zien.

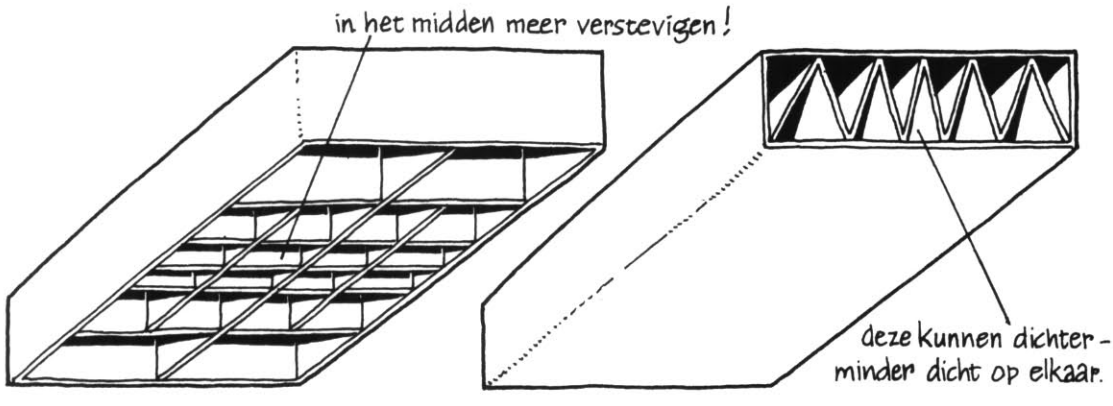
1.4 VERBETER JE BRUG

a *De brug verstevigen*

Probeer je brug te verstevigen. Dat moet natuurlijk vooral gebeuren op die plaatsen waar de vervormingen het grootst zijn. Bedenk welke versteviging je kan aanbrengen. Houd er bij het bedenken van de versteviging vooral rekening mee met wat je in het theorie-hoofdstuk kan leren (bijvoorbeeld over trek- en duwspanning, over vorm, over de momentenwet).

Enkele ideeën voor versteviging zijn:
- kokers onder het wegdek
- hoge of lage pylonen (tuibrug)
- extra dwarsverbindingen





Controleer bij iedere verandering of je brug inderdaad steviger geworden is. Klopte wat je bedacht had? Zo nee, waar lag dat aan?

b *De brug lichter maken*

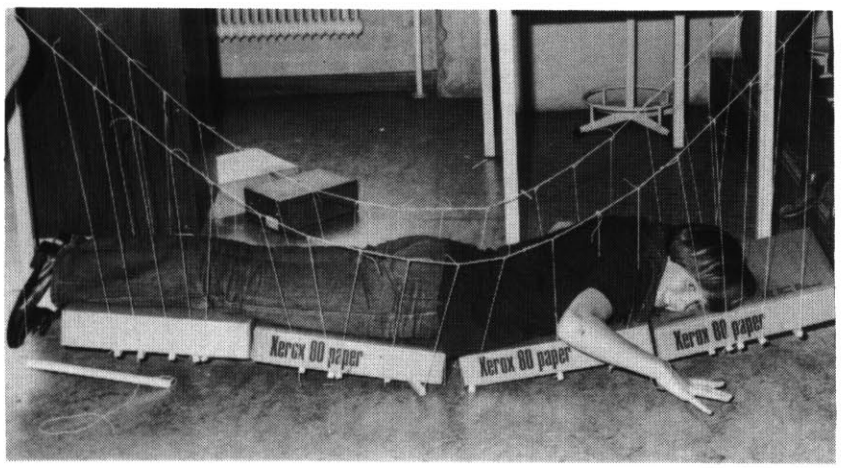
De brug buigt altijd al een beetje door vanwege zijn eigen gewicht.
Je moet dus proberen je brug zo licht mogelijk te maken. Maar dat moet niet ten koste van de stevigheid gaan. Bedenk een verandering en houd daarbij rekening met wat je in het theoriedeel kon leren.

Enkele ideeën voor lichter maken zijn:
– trekstaven vervangen door touw.
– duwstaven niet massief (H-balken)
– overbodige staven of onderdelen weglaten.

Controleer bij iedere verandering of je brug lichter is geworden en of die niet minder stevig is. Klopte het wat je bedacht had? Zo nee, waarom niet?

1.5 BRUGGEN VERGELIJKEN

Is de brug die het zwaarst belast kan worden ook het beste? Dat is alleen maar waar als je bruggen waarin evenveel materiaal gebruikt wordt met elkaar vergelijkt. Het is eerlijker ook rekening te houden met het gewicht van de brug zelf.
Materiaal voor (echte) bruggen is duur. Er wordt dus altijd geprobeerd om met zo weinig mogelijk materiaal een zo sterk mogelijke brug te bouwen.



Een hangbrug die door de leerlingen van het Niels Stensen College in Utrecht is gemaakt én belast (foto Ad Nuhn)

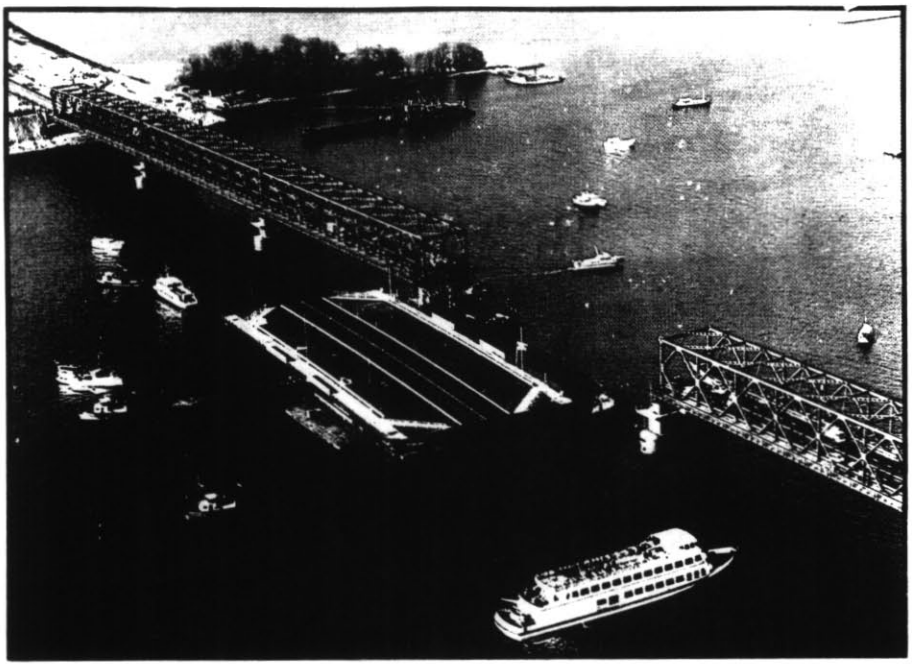
Er is een eenvoudige manier om bruggen te vergelijken op sterkte én op gewicht: door naar de 'brugverhouding' te kijken.

$$\text{de brugverhouding} = \frac{\text{maximale belasting van de brug}}{\text{eigen gewicht van de brug}} = \frac{\ldots\ \text{N}}{\ldots\ \text{N}} =$$

Bij de brug van karton die op blz. 32 van het theoriedeel staat is deze verhouding $\frac{40.000\ \text{N}}{2000\ \ \text{N}} = 20$

– Welke brug komt er het beste af?
– Zijn er nog andere belangrijke dingen waarmee je rekening moet houden met vergelijken?

De nieuwe brugdelen van de Moerdijkbrug (zie leestekst 3) zijn ongeveer even zwaar als de oude delen. Maar er kunnen veel meer auto's over. De brugverhouding van de nieuwe brugdelen is dus groter.

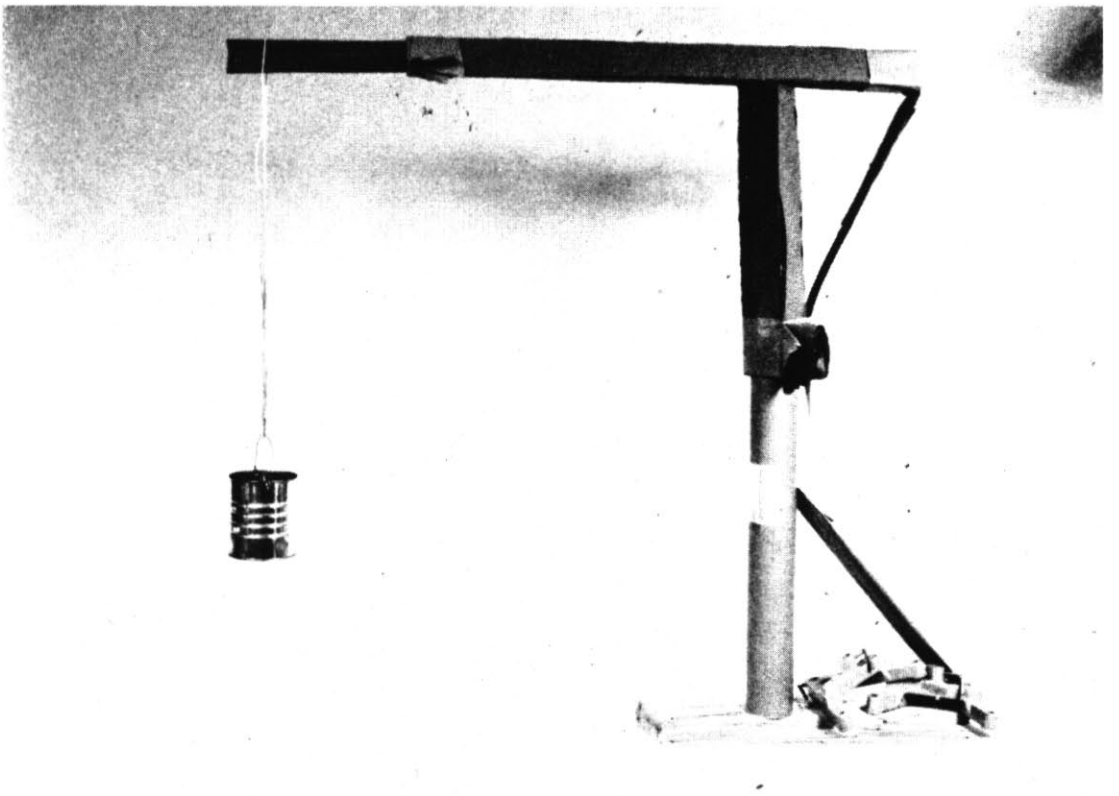


Het invaren van een nieuw brugdeel van de Moerdijkbrug. Dit brugdeel komt te rusten op de oude pijlers, die nog in een uitstekende staat zijn

een hijskraan bouwen

2.1 EEN HIJSKRAAN BOUWEN: BOUWPLAN

In dit onderzoek ga je met je groep een hijskraan bouwen.
Laat je inspireren door het bouwsel op de foto hieronder.



Een hijskraan van karton en papier, die een gewicht kan dragen van 10 N. De hijskraan is 80 cm hoog, op 80 cm van de staander. Met een plaatje van 20 x 15 cm, nietjes, touw, plakband en contragewichten erbij weegt het totaal 50 N

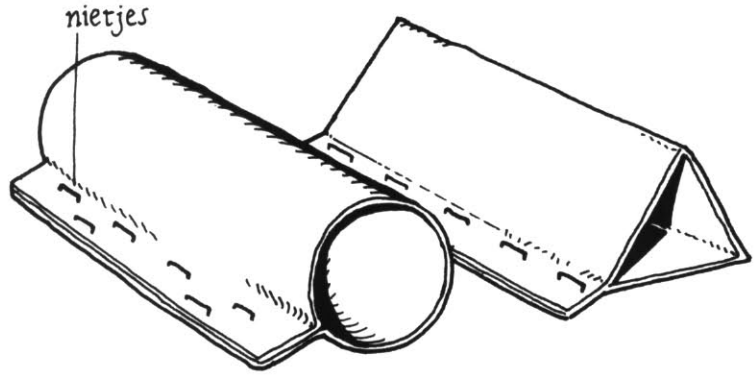
De hijskraan op de foto heeft alleen een contragewicht op de voet. Jullie groep gaat nu ook een hijskraan maken, maar die hoeft er niet hetzelfde uit te zien als op de foto. Het mag dus ook een hijskraan zijn met contragewicht in de bovenarm.

Vóór je echt met het bouwen begint, moet je met elkaar een bouwplan maken. Met een goed doordacht bouwplan kun je met zijn allen een veel betere hijskraan bouwen dan zonder bouwplan.

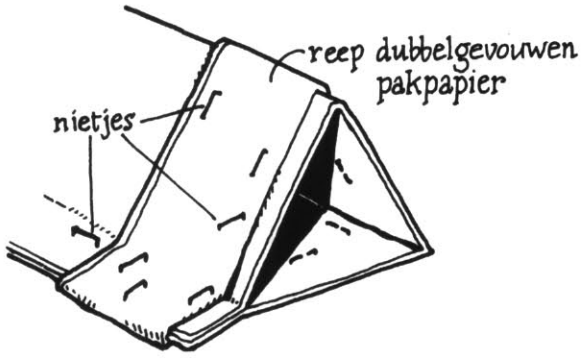
Wat er zou kunnen staan in je bouwplan:
- hoe moet je kraan eruit komen te zien?
- welke materialen ga je gebruiken?
- wie zorgt er voor de materialen?
- hoe is de taakverdeling binnen de groep?
- welke dingen doe je thuis en welke doe je op school?

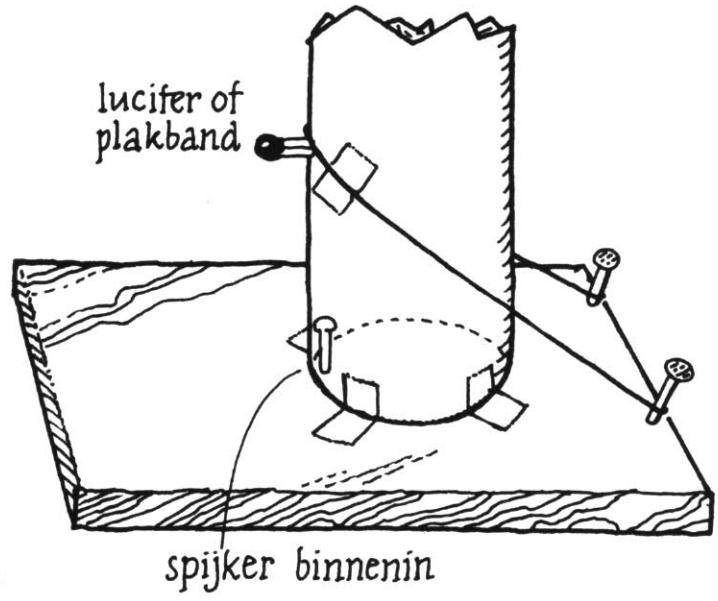
Hier vind je een paar tips voor het bouwen van de kraan.

TIP 1 EEN KOKER OF ANDERE VORM MAKEN



TIP 2 MET PAKPAPIER VERSTEVIGEN

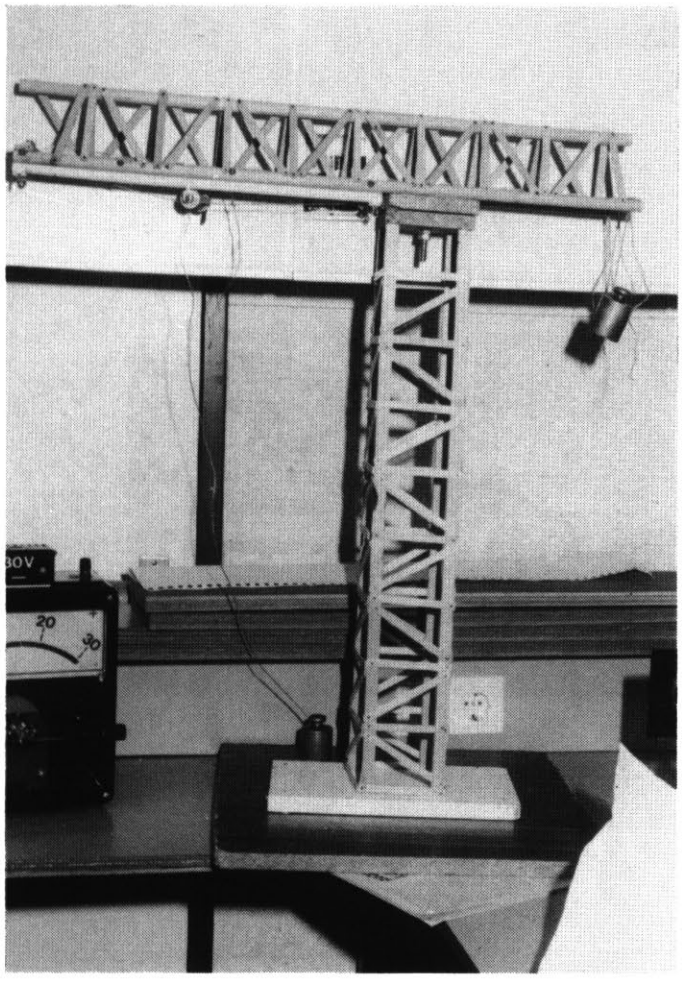




TIP 3 STAANDER OP BODEM

2.2 BOUW JE HIJSKRAAN

Voor het bouwen van een hijskraan is nodig: goed samen werken, goed naar elkaar luisteren!
Bouw je hijskraan volgens je bouwplan. Het kan voorkomen dat het bouwplan tijdens de bouw niet goed blijkt te zijn. Verander het bouwplan dan gezamenlijk. Schrijf voor je verslag of rapportage op waarom je het bouwplan moest veranderen.

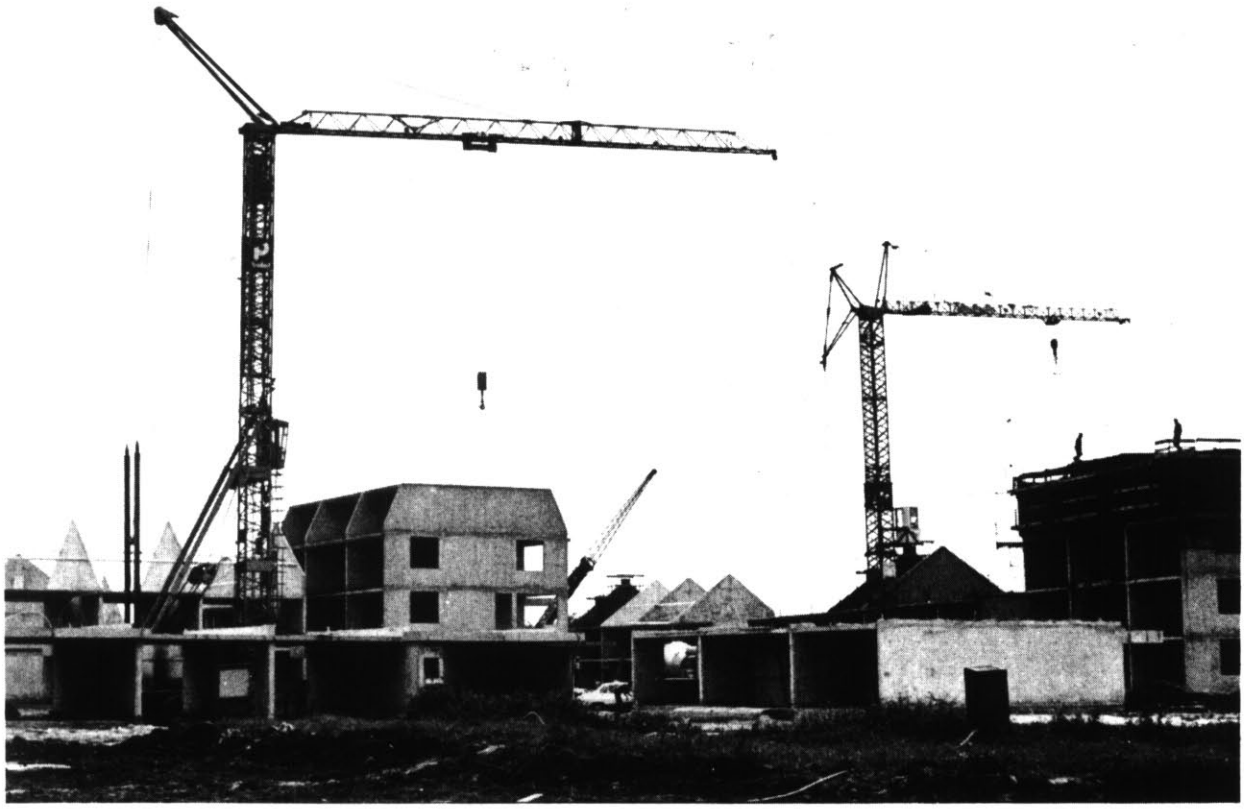


Een door de leerlingen gemaakte hijskraan, o.a. bestaande uit ijslolliestokjes (foto Ad Nuhn)

2.3 BELAST EN VERBETER JE KRAAN

Belast je kraan door vooraan de bovenarm gewichtjes te hangen. Probeer bij welke belasting je kraan nét niet kapot gaat of nét niet kantelt. Hoe kan je de kraan op een eenvoudige wijze stabieler maken?
Waar dreigt de kraan te knikken of te scheuren?
Ga na of dat door een te grote trekspanning of duwspanning komt.
Leid daaruit af hoe je de zwakke punten kunt versterken.
Schrijf op waar de zwakke punten zitten en wat de verstevigingen voor een effect hebben.

Bekijk de kranen op de foto hieronder heel goed. Let vooral op de functie van de kabels.



Doe je uit deze foto nog ideeën op om je hijskraan verder te verstevigen? Probeer ze uit!

2.4 VERDER ONDERZOEK

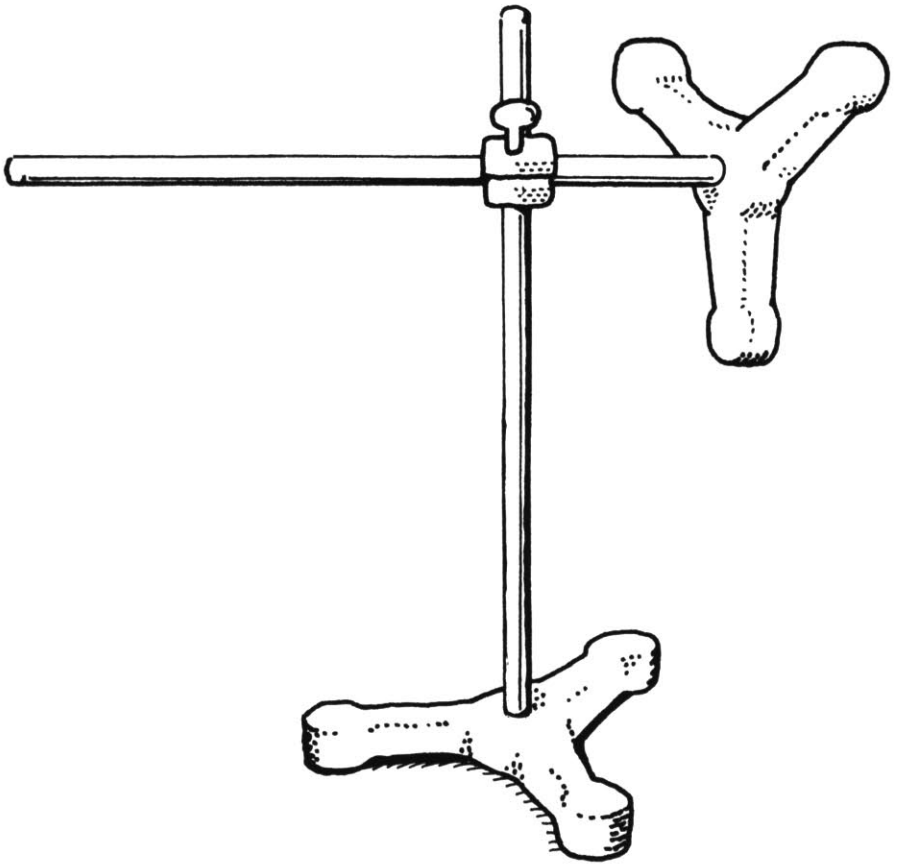
Belast de hijskraan op verschillende afstanden van het draaipunt. Wat merk je? Wat is de belangrijkste reden waardoor het te dragen gewicht beperkt wordt: de stevigheid van de hijskraan of de stabiliteit? Waar is het makkelijkste iets aan te doen? Is dat in de praktijk ook zo, denk je?

Onderzoek 3

een hijskraan en de momentenwet

In dit onderzoek ga je kijken naar de last die een hijskraan kan dragen in verschillende punten van zijn bovenarm.

1 Maak een stevige hijskraan, bijvoorbeeld van 2 statieven.



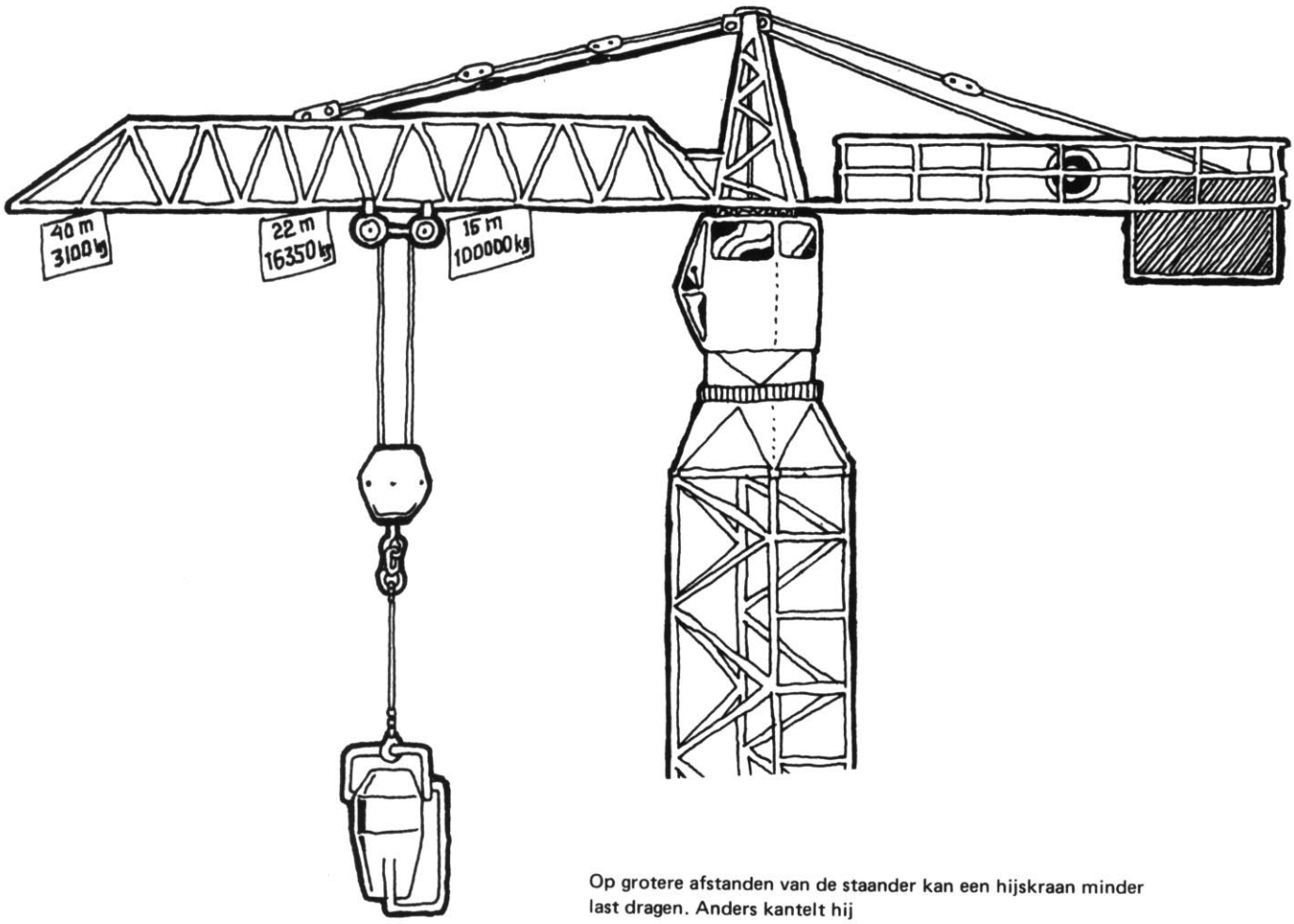
2 Belast de hijskraan en onderzoek waar de draailijn zich bevindt.

3 Belast de hijskraan op een zelf te kiezen plaats zó zwaar, dat hij nét niet kantelt. Hoe zwaar is de last? Meet de afstand tot de draailijn.
Maak een tabel van de maximum last op verschillende afstanden van de draailijn.
Op grond van de momentenwet (zie blz. 44) zou je verwachten dat de maximale last halveren moet als je afstand tot de draailijn verdubbelt. (Ga dat na! Klopt dat bij je metingen?)

4 Iemand beweert dat je de maximale last groter kunt maken:
- door het tegenwicht in de bovenarm groter te maken
- door het tegenwicht op de voet groter te maken. Maakt het nog uit waar?
- door het tegenwicht in de bovenarm verder van de staander te zetten.
- In al deze gevallen komt het zwaartepunt op groter afstand van het draaipunt te liggen.

Onderzoek of hij gelijk heeft.

5 Een theorieopdracht: laat met de gegeven getallen zien dat het draaipunt bij kantelen op ongeveer 14 m afstand van de staander ligt.

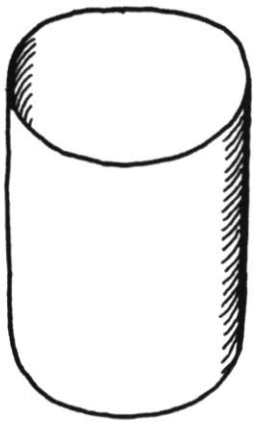


Op grotere afstanden van de staander kan een hijskraan minder last dragen. Anders kantelt hij

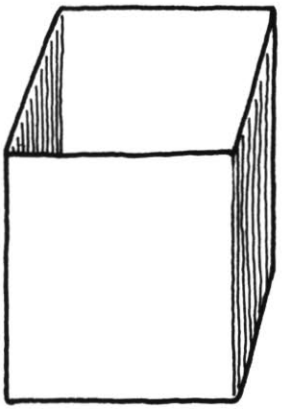
allerlei onderzoeken rond stevigheid en vorm

4.1 PIJLERS

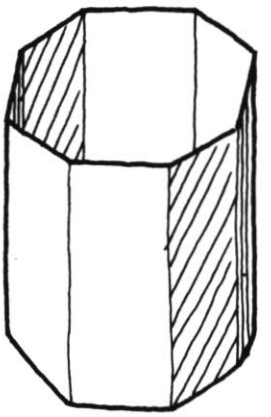
Maak verschillende pijlers (rond, vierkant, driehoekig, zeshoekig, achthoekig) van steeds dezelfde hoeveelheid tekenpapier.



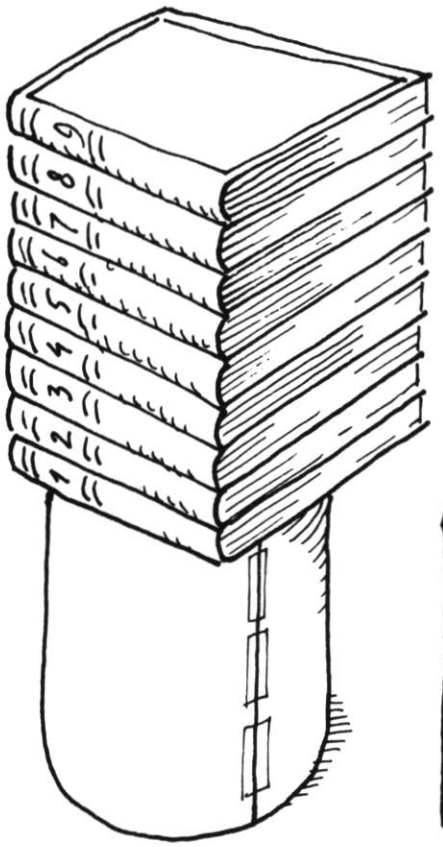
model 1



model 2

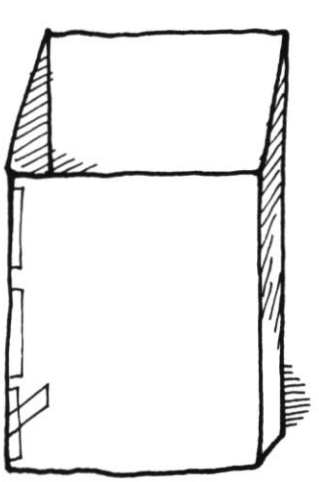


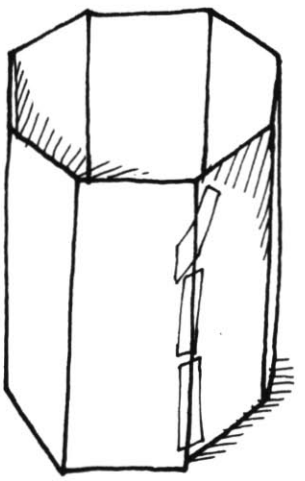
model 3



Belast vervolgens de pijlers met boeken.
Maak aantekeningen van je onderzoek.
Waar vervormt het papier?
Vervormt het door trek- of door duwspanningen?

← STAPEL 'GELIJKE' BOEKEN



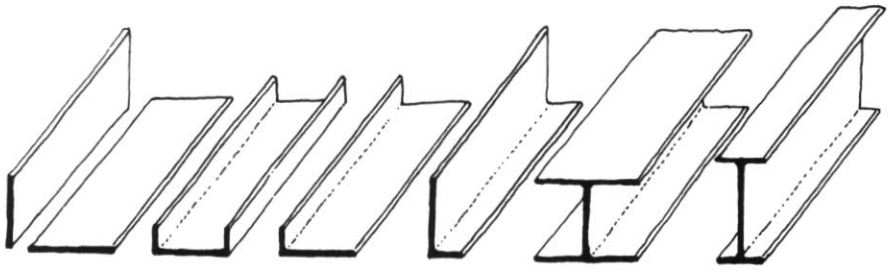


HEXAGONAAL

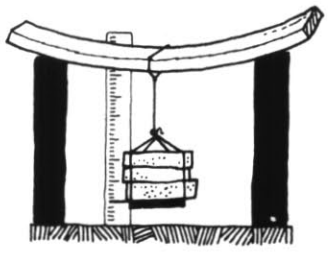
Probeer met tussenschotten of dwarsverbindingen verstevigingen aan te brengen, bijvoorbeeld een extra stuk papier van het ene hoekpunt naar het ander in de vierkante kolom. Worden de pijlers sterker?

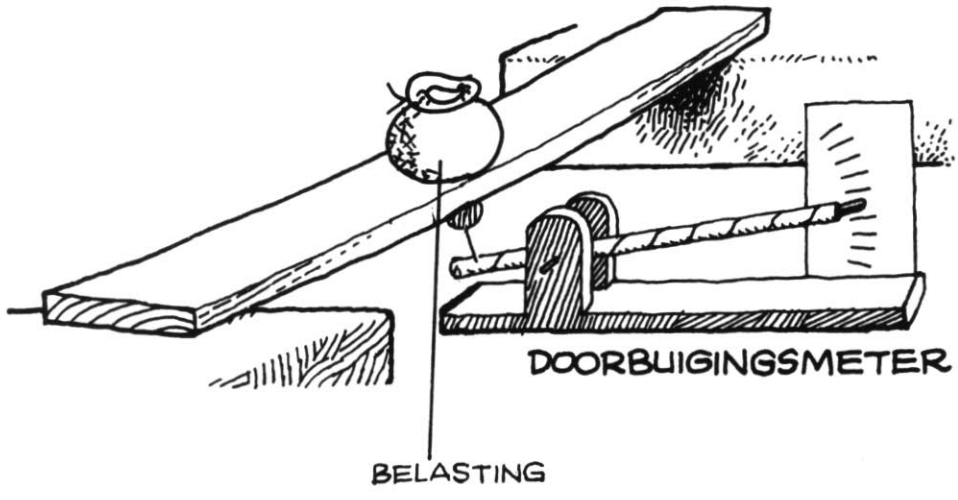
4.2 DE STERKTE VAN BALKEN

Maak van papier of balsahout balken met verschillende vormen. Gebruik voor elke balk evenveel materiaal en maak ze allemaal even lang. Ga na, welke balk het beste bestand is tegen buigen bij een bepaalde belasting. Let op waar trek- en waar duwspanningen werken. Hoe zie je dat?



Meet de doorbuiging met een lineaal of met een doorbuigingsmeter. (Zie Onderzoek 1 blz. 61 hoe je een doorbuigingsmeter maakt.)

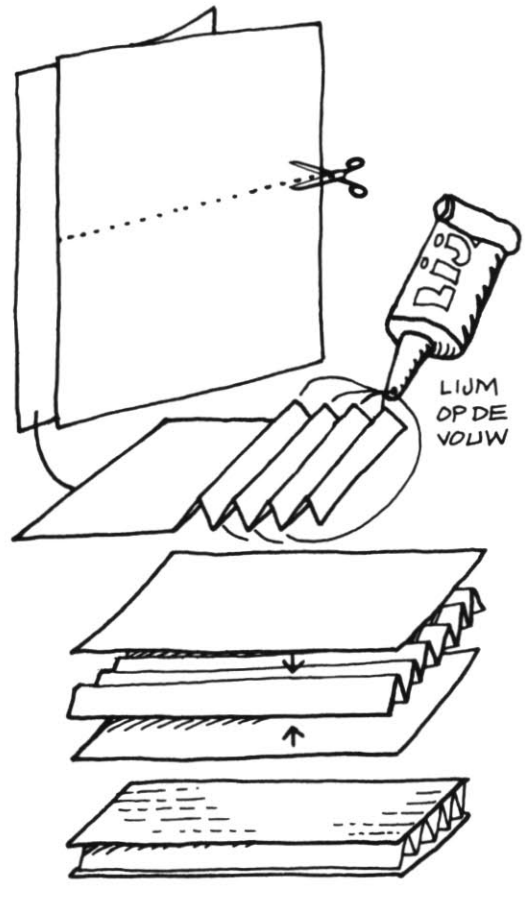




4.3 EEN STEVIG BRUGDEK VAN PAPIER

Van twee velletjes papier kun je een stevig vlak maken.
Het ene velletje vouw je zigzag:
Het andere velletje knip je middendoor. Als je nu dit zigzag velletje tussen de helften van het doorgeknipte papier plakt, krijg je een stevig geheel. Belast je brugdek maar en vergelijk dat met 3 gewone velletjes op elkaar geplakt.

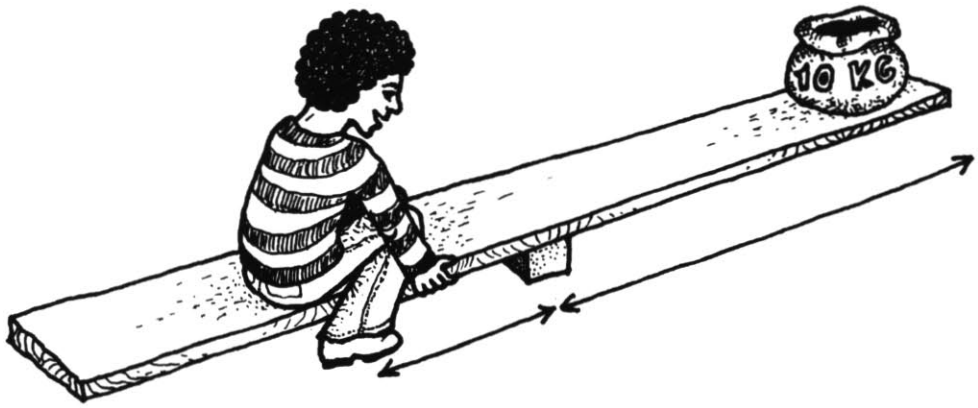
Kan je nog andere verstevigingen bedenken? Denk bijvoorbeeld maar aan het karton van dozen.



allerlei onderzoeken rond 'laten draaien'

5.1 BEPAAL JE EIGEN GEWICHT

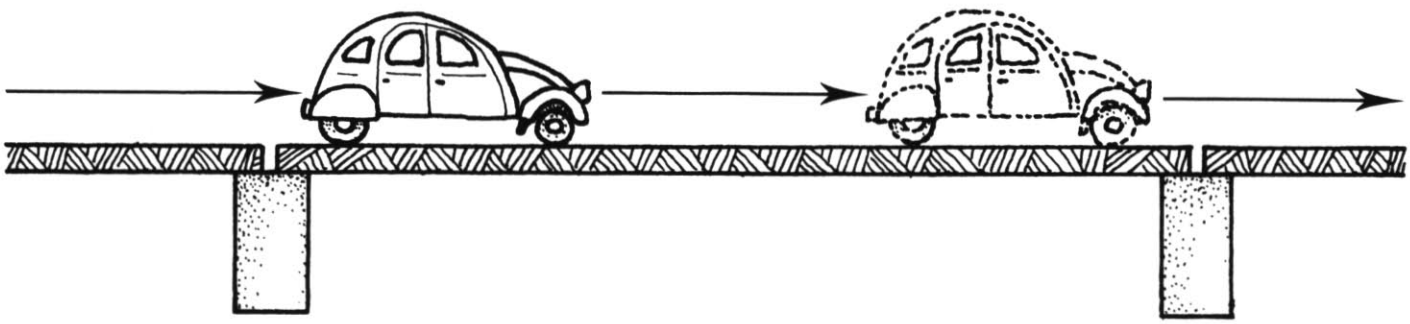
Dit onderzoek gaat met behulp van een plank die in het midden op een baksteen rust. Een van jullie gaat links staan, op ongeveer 50 cm van de draaias. Ergens op 't eind aan de andere kant zet je een gewicht van 100 N neer, zodat er evenwicht is. Bereken met behulp van de momentenwet (zie blz. 44) het gewicht van de persoon. Doe dit bij iedereen in jullie groep.



naam	gewicht

5.2 DE BELASTING VAN PIJLERS

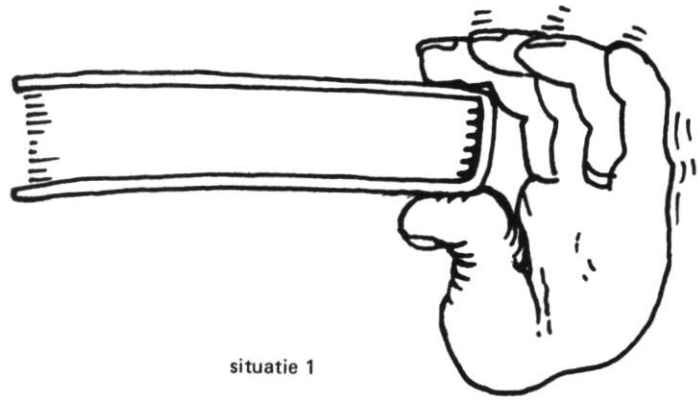
Een brugdek rust vaak op twee pijlers. Een auto die van de ene kant naar de andere kant rijdt belast die pijlers. Dit onderzoekje gaat over hoe groot de belasting van de pijlers is voor verschillende plaatsen van de auto.



De proef kun je nabootsen door een plank op twee weegschalen te leggen en dan van de ene naar de andere kant te lopen.
Voer deze proef uit en lees voortdurend af, wat de weegschaal aangeeft. Meet steeds ook de afstand tot beide weegschalen (pijlers) Zet de gegevens in een tabel.
Welke conclusie kun je trekken uit de metingen?

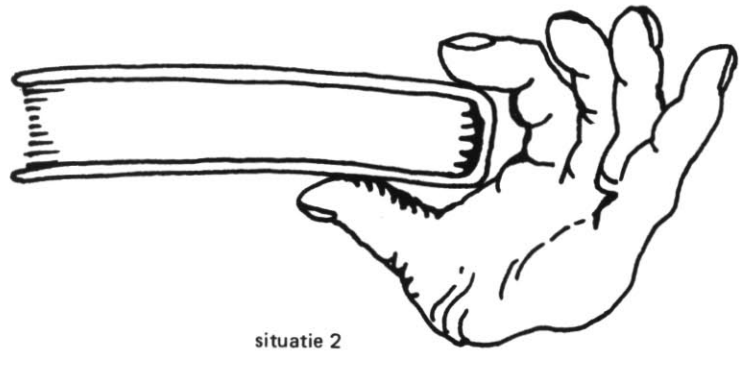
Volg onderstaande tips op als je nauwkeurig wilt meten.
- Leg op elke weegschaal in het midden een dun plaatje, voordat je de grote plank erop legt. Dan bepaal je de afstand tot de weegschaal gemakkelijk.
- Meet de afstand van het midden van je voet (ga op één been staan) tot het midden van de weegschaal.

5.3 EEN BOEK VASTHOUDEN



situatie 1

1 Voorspel of je het boek makkelijker kunt vasthouden in situatie 1 of in situatie 2.
Voer de proef uit.
2 Probeer m.b.v. de momentenwet te verklaren, hoe het komt dat je het boek in de ene situatie makkelijker vasthoudt dan in de andere situatie.
Bepaal daartoe in beide gevallen de draaias van het boek, de plaats van de 'last' en de plaats van het 'tegenwicht'.

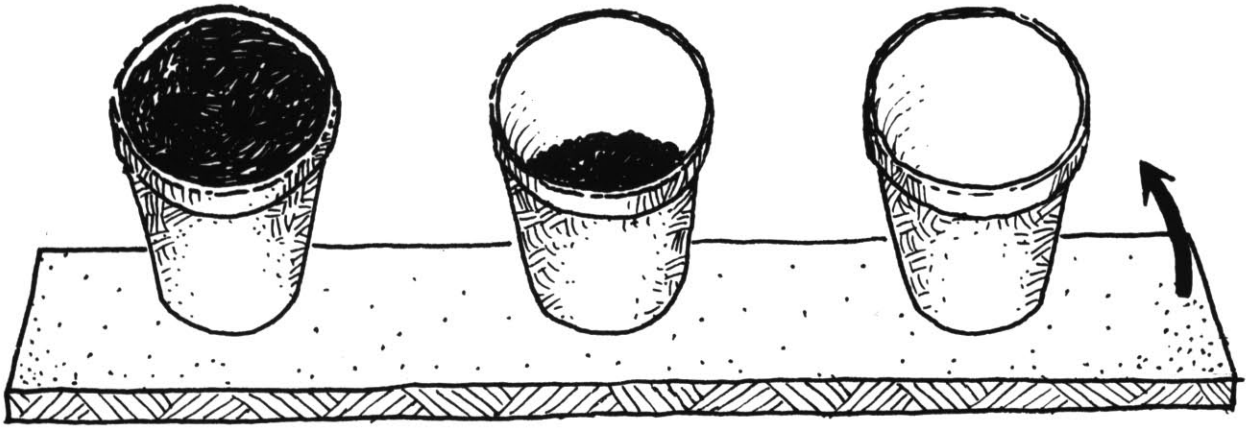


situatie 2

allerlei onderzoeken rond stabiliteit

6.1 OMVALLENDE POTTEN

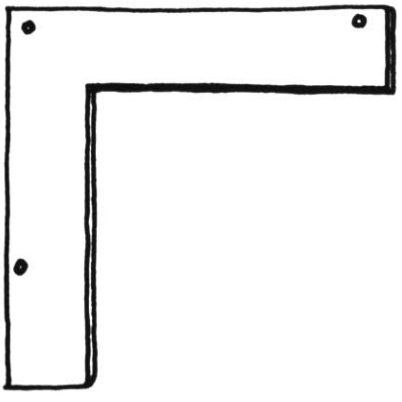
Zet drie potten of bekertjes op een plank: één helemaal gevuld met zand, één halfvol en één leeg.

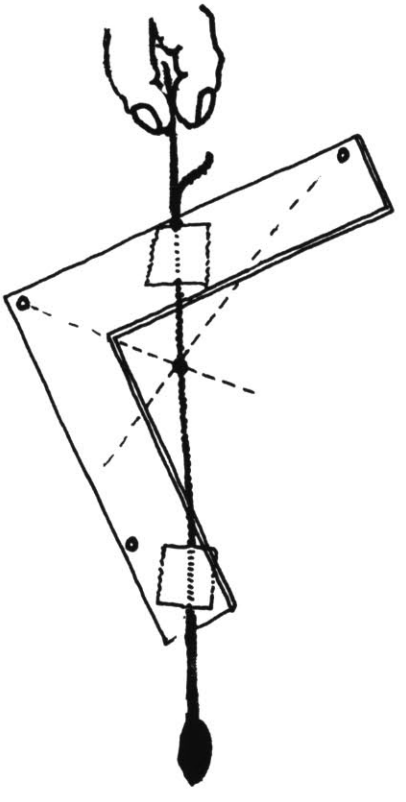


Welke pot kantelt het eerst als je de plank optilt? De potten mogen niet schuiven. Geef een verklaring met de regels voor stabiliteit (zie blz. 52).

6.2 HET ZWAARTEPUNT IN DE RUIMTE

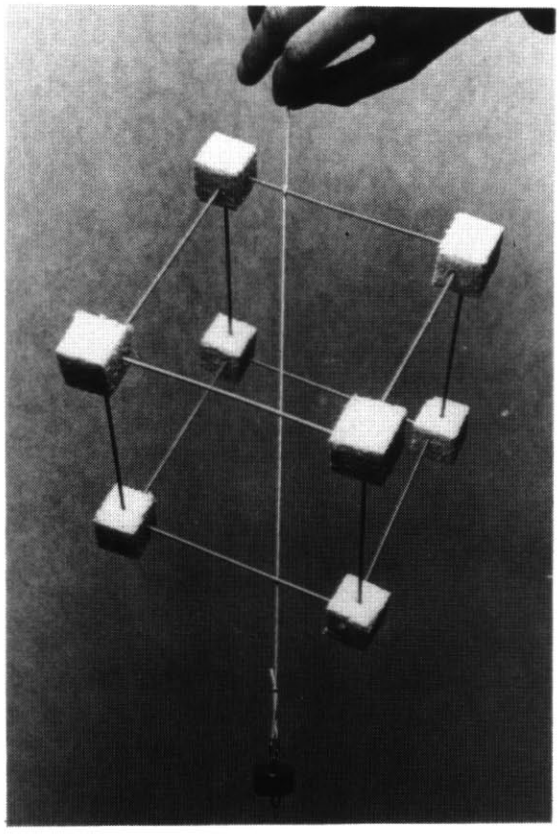
Als je een voorwerp in het zwaartepunt ophangt, blijft het voorwerp — hoe je het ook neerhangt — in evenwicht: het gaat niet draaien of kantelen. Bij onderstaande figuur ligt het zwaartepunt ergens in de ruimte. In dit onderzoek ga je dat zwaartepunt bepalen.





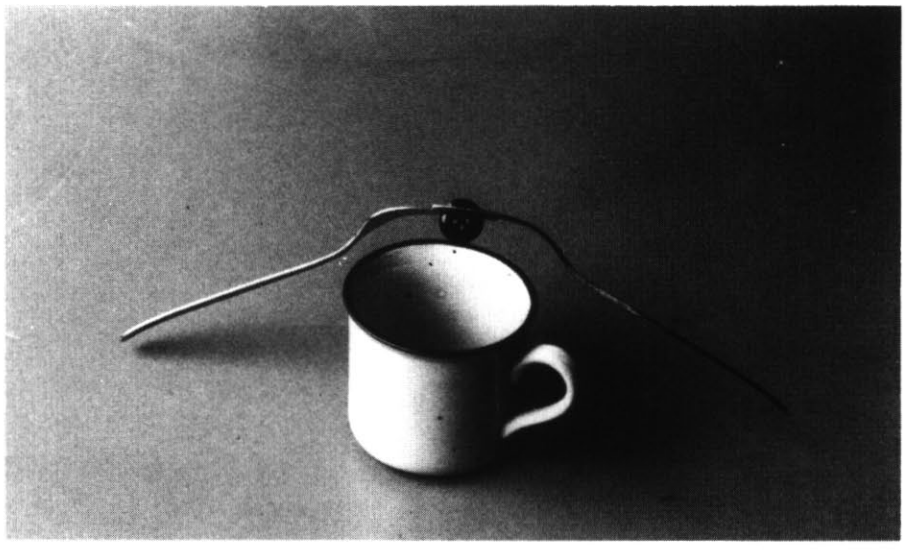
Knip een stuk karton uit zoals hierboven, met minstens 3 gaten erin. Hang het op aan een touw in een van de gaten. Maak ook een touw met schietlood vast in het gat. Plak dat laatste touw vast in de stand zoals het komt te hangen. Doe dat ook voor de andere gaten.
Alle touwen moeten nu door één punt gaan: het zwaartepunt.
Klopt dat?

Hang het karton op aan het zwaartepunt. Het karton blijft nu in evenwicht hangen.



Probeer op dezelfde wijze het zwaartepunt te bepalen van ruimtelijke figuren, bijvoorbeeld een kubus die gemaakt is van 12 saté-stokjes die in 8 gelijke blokjes van tempex gestoken zijn.

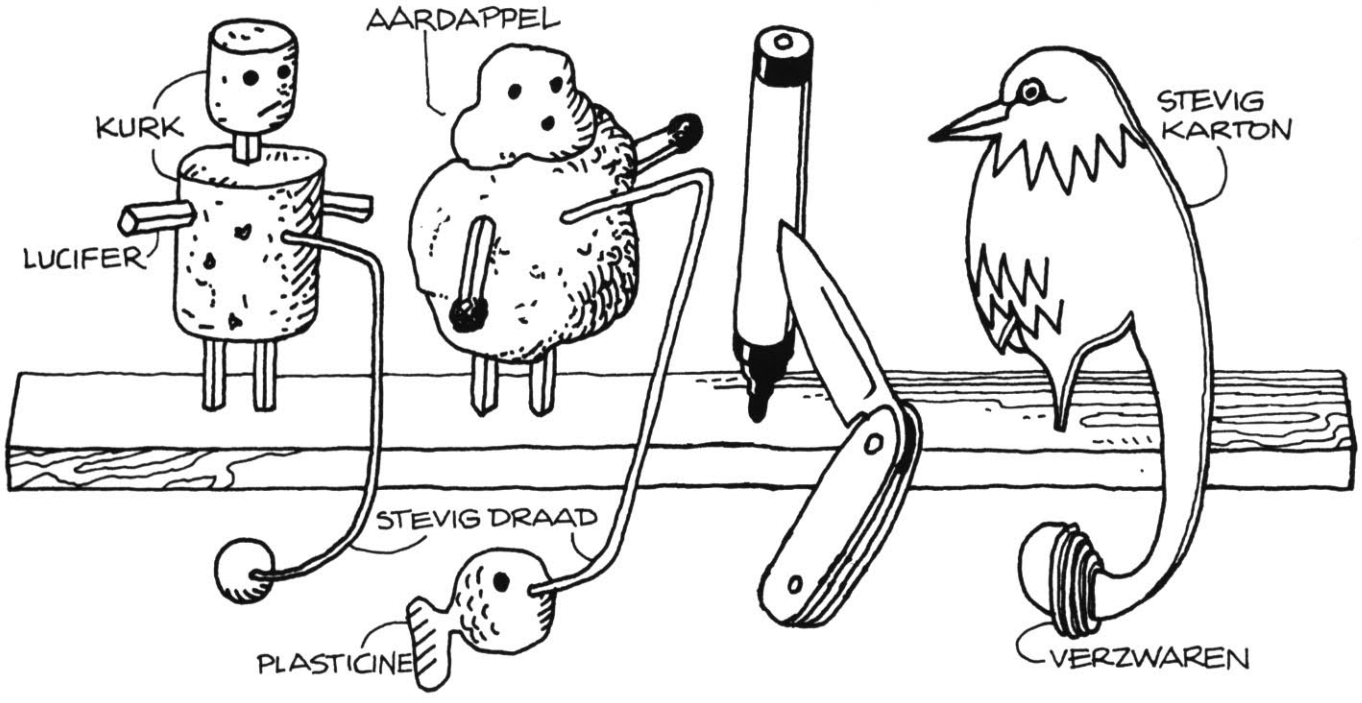
6.3 FIGUREN DIE IN EVENWICHT BLIJVEN



De balancerende knoop

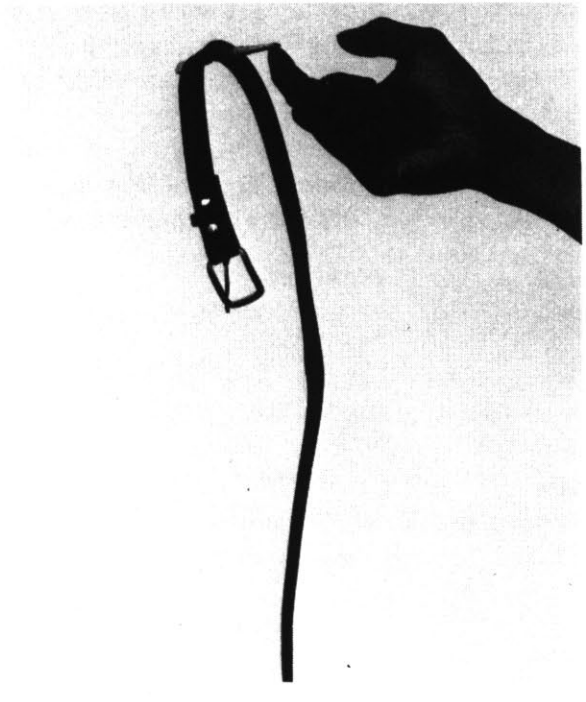
Als je een knoop op de rand van een kopje legt, valt hij er natuurlijk meteen af. Niemand zal geloven, dat de knoop op de rand van het kopje blijft liggen, als je er nog een gewicht aan bevestigt. En toch is dat mogelijk. Je neemt daarvoor twee vorken en klemt de knoop tussen de tanden. Als je de knoop met de vorken op de rand van een kopje legt, blijft de knoop in evenwicht.
De gebogen stelen van de vorken met hun extra zware uiteinden, die aan beide zijden van het kopje uitsteken, maken dat het zwaartepunt onder de rand van het kopje ligt, waardoor de vorken en knoop in evenwicht blijven.

Maak één of meer van de figuren die hieronder getekend zijn.
Zet ze dan op de rand van een tafel of op een draad. Als het goed is, blijven ze staan. Dit komt omdat het zwaartepunt van elk poppetje beneden de draad ligt door een zwaar gewicht onderin.



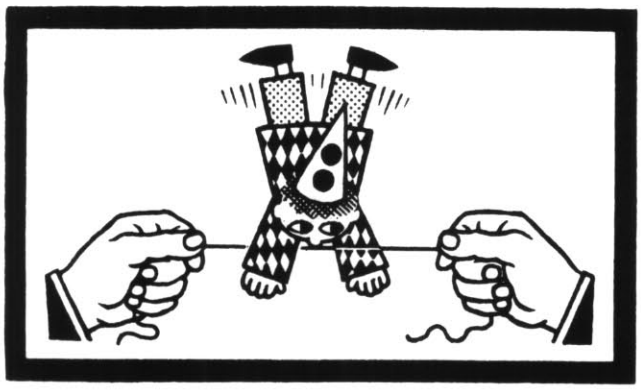
Toverkracht?

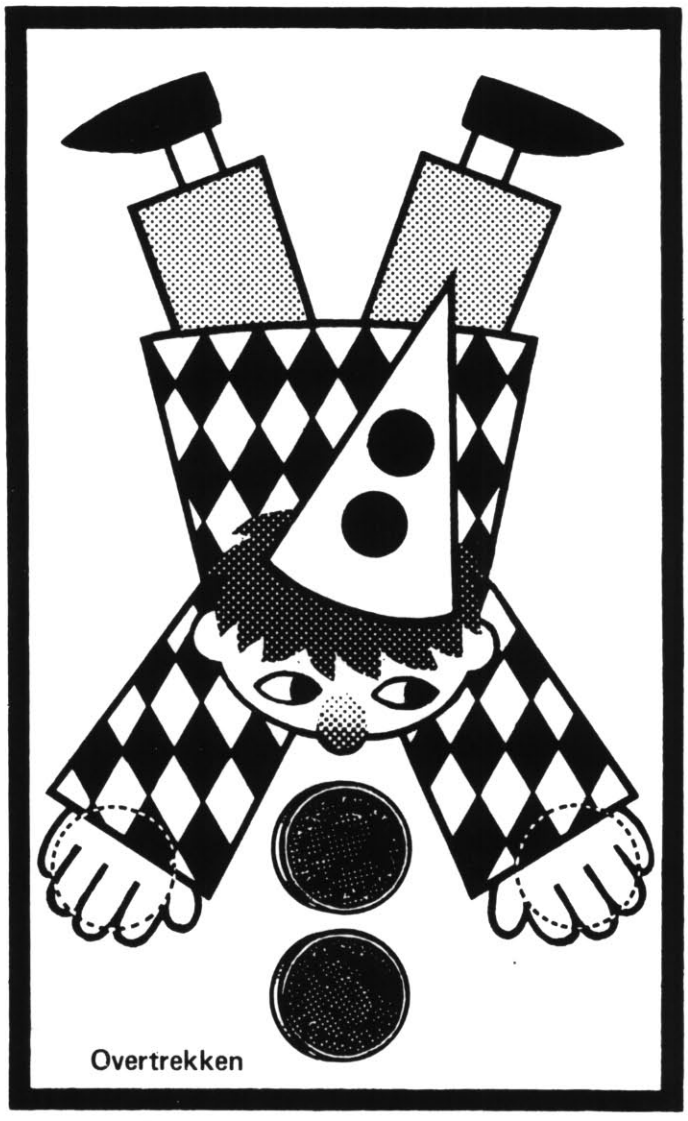
Hang een leren riem over een wasknijper. Zou je die wasknijper met de riem eraan op het puntje van je vinger in evenwicht kunnen houden?
Dat kan! Dan moet je het zó doen: snij van de wasknijper een puntje af. Maak ook een scheve insnijding iets naast het midden. Op de tekening zie je waar. Duw de riem daar stevig in. Je kunt de riem en de wasknijper nu op het topje van je vinger zetten. Verklaar zelf waarom met behulp van de regels voor stabiliteit van blz. 52.



Evenwichtsacrobaat

Trek de clown over en knip hem twee maal uit. Plak die twee figuurtjes op elkaar met een dubbeltje of een cent tussen de handjes. Zet het clowntje op de punt van een potlood of op een draad en probeer of die in evenwicht te krijgen is. Verklaar het resultaat met de stabiliteitsregels van blz. 52.





Overtrekken

6.4 WIPPEN TIJDENS DE LES

Soms zit jij, of iemand anders, op je stoel te wippen tijdens de les. In de natuurkundeles kun je daar een proef van maken.

- Ga op een stoel zitten en kantel hem zover achterover dat je net in evenwicht bent, dus net niet omvalt. Laat iemand je vasthouden.
- Doe je arm en je lichaam naar voren. Wat gebeurt er, als je losgelaten wordt?
- Doe daarna je arm naar achteren of buig achterover. Wat gebeurt er dan? Wat doe je om niet te vallen? Verklaar dit met de theorie uit hoofdstuk 4.

(foto Henk de Vries)

leesteksten

inhoud

leestekst 1	ontwikkeling van bruggen	blz. 81
leestekst 2	voorgespannen beton	blz. 87
leestekst 3	de Moerdijkbrug	blz. 89
leestekst 4	de stalen tuibrug over de Waal bij Ewijk	blz. 91
leestekst 5	de Britanniabrug	blz. 92
leestekst 6	Bruggen en files	blz. 94

West-Irian. Brug gemaakt van takken

leestekst 1

ontwikkeling van bruggen

De geschiedenis van de bruggen is erg oud. Eeuwen lang al hebben de mensen geprobeerd rivieren, stroompjes en kloven te overwinnen, en lang niet alle pogingen waren even succesvol. Talloze mensen zijn omgekomen bij hun pogingen om 'aan de overkant' te komen.

De ontwikkeling van de bruggenbouw houdt gelijke tred met de beschaving. Belangrijke rijken in de Oudheid hadden een goed wegennet nodig en dus ook bruggen. Bekend om hun vaardigheid in het bouwen van bruggen waren vooral de Romeinen, maar ook de Inca's en de Chinezen.

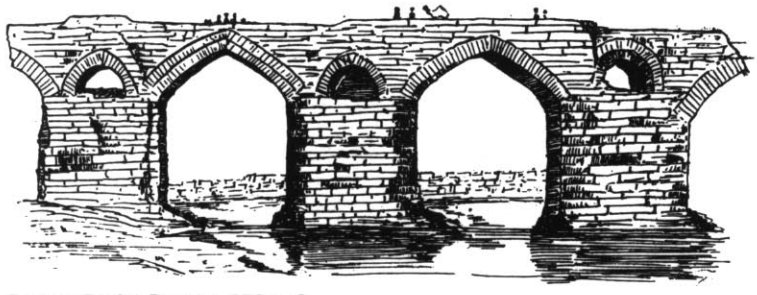
'Stepping stones'

Een van de eerste primitieve overbruggingen was de omgevallen of afgehakte boomstam, terwijl we in Engeland de *stepping stones* vinden, stenen waarover men de andere kant van de rivier kon bereiken. De volgende ontwikkeling was, dat men hierop planken of stenen platen legde, waardoor men een doorlopende brug kreeg. De stenen in het riviertje worden dan 'pijler' (pilaar) of steunpunt genoemd.

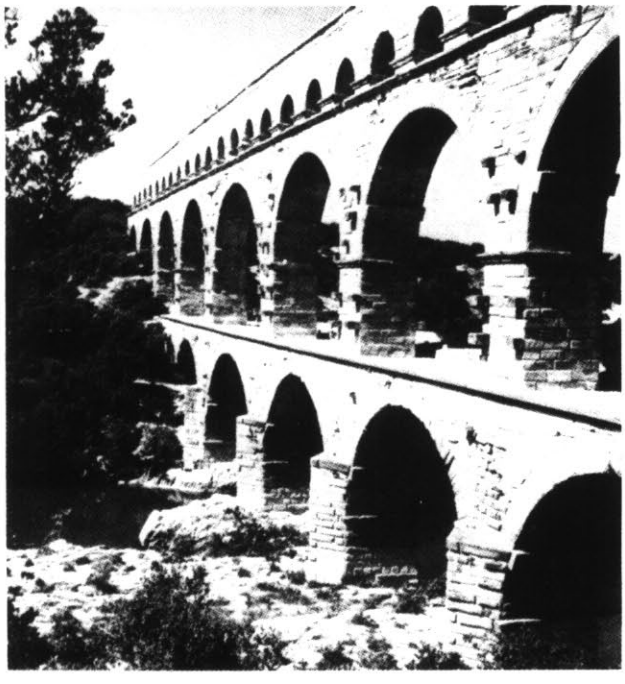
Omgevallen boomstam . . .

Naast deze platte bruggen ontwikkelden zich ook de zgn. boogbruggen. Resten daarvan vinden we al in Perzië (350 v.C.), terwijl de Chinezen waarschijnlijk eeuwen eerder al bogen toepasten. Bogen werden gebruikt om muren te dragen boven stromen en rivieren. Ook werden kleine bogen toegepast boven deuren en vensters.

Post Bridge te Devon, Engeland



Brug te Dizful, Perzië ± 350 v. C.

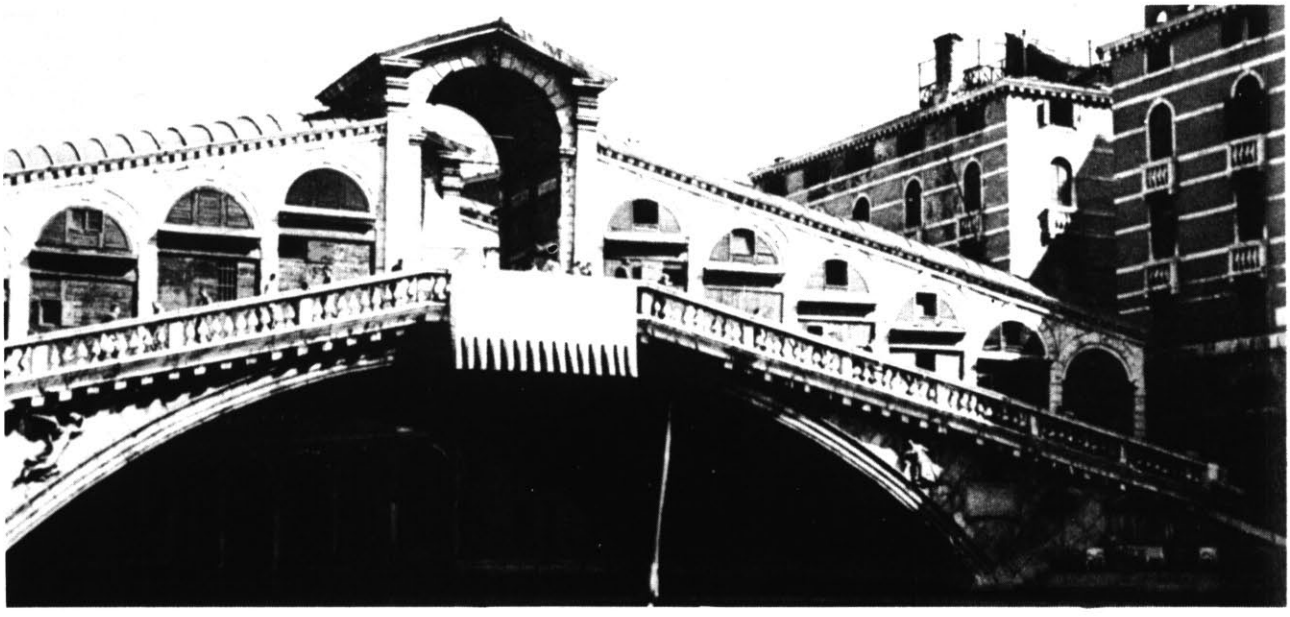


Pont du Gard te Nîmes, Frankrijk ± 180 n. C.

Van de Romeinse bruggen zijn er nog een aantal in redelijk goede staat, zoals het aquaduct bij Nîmes, Frankrijk (Pont du Gard) en de brug in Rimini, waar tot op de dag van vandaag zwaar verkeer overheenraast. Blijkbaar verwekte de vaardigheid in het bouwen van bruggen bij het volk zo'n ontzag, dat de Romeinse opperpriester (en daarna zijn opvolger: de Paus) zich met de titel Pontifex Maximus (opperste bruggenbouwer) tooide. Na de instorting van het Romeinse Rijk kwam ook het wegennet — en daarmee de bruggen — tot verval.

Rimini, Italië

Pas in de latere middeleeuwen werden ten behoeve van het weer toenemende verkeer nieuwe bruggen gebouwd, bijvoorbeeld de Maasbrug te Maastricht, de Pont D'Avignon, enz. In navolging van de Romeinen hadden deze bruggen van natuursteen eerst nog een halfcirkelvormige boog. Later bouwde men meer gedurfde, vlakkere boogtypen. De bouw geschiedde uitsluitend op grond van ervaring en intuïtie, maar er werden toch overspanningen tot 60 m bereikt.



Ponte Rialto te Venetië, Italië 1591

Twee boomstammen . . .

Een veel toegepast brugtype was ook de houten balkbrug. Waar de lengte van de grootste boomstammen te kort schoot, werden primitieve houten vakwerken geconstrueerd. Om de brug tegen weersinvloeden te beschermen werd deze vaak over de hele lengte van een dak voorzien. Van die bruggen zijn in de Alpen nog enkele, zeer oude, voorbeelden te vinden.

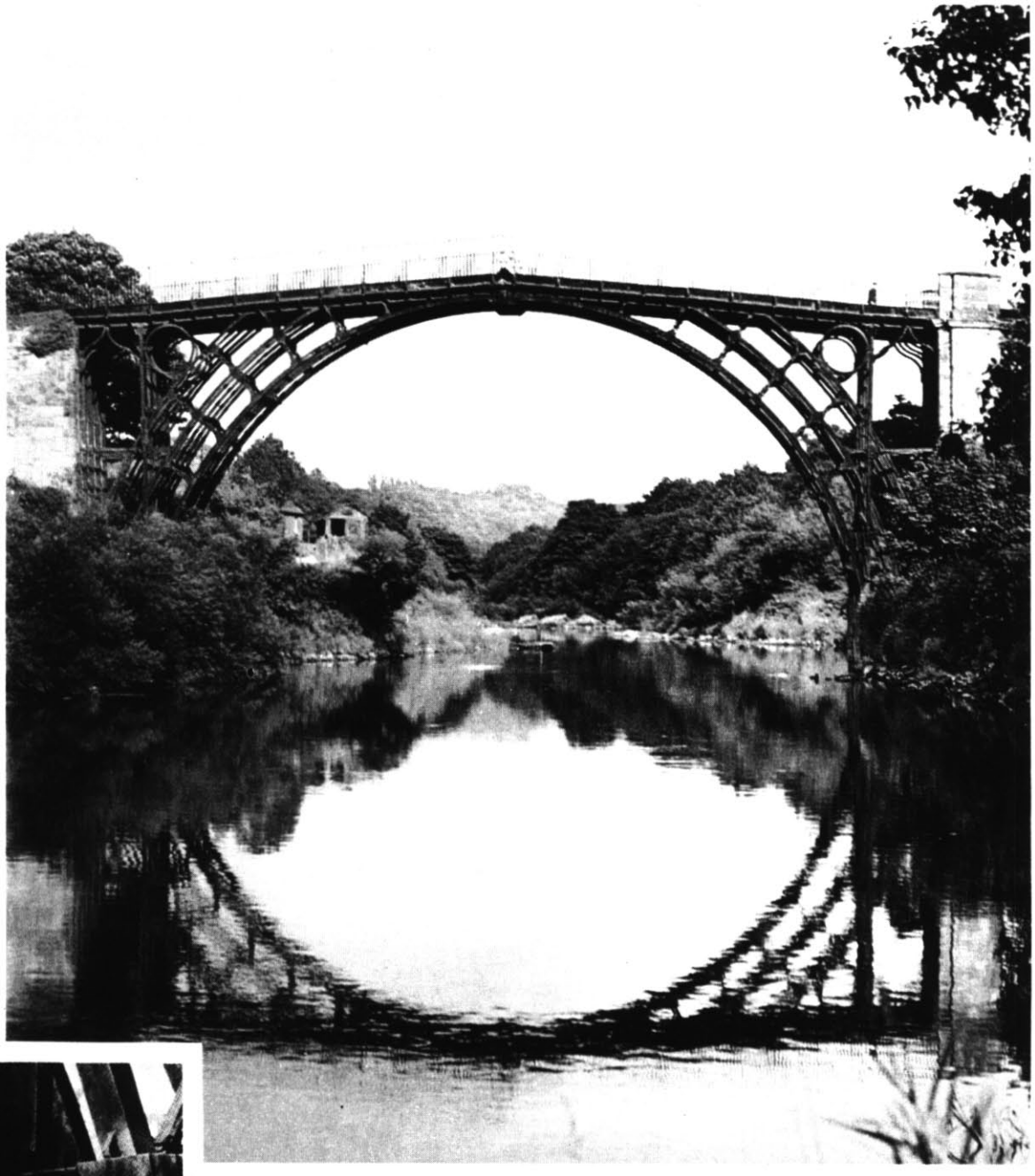
Brug over de Jagst, Unterregenbach, Zwitserland

In de loop van de 18e eeuw werd de kunst van het berekenen van bouwconstructies ontwikkeld, evenals het beproeven van materialen. Hierdoor werd het mogelijk om tot een meer verantwoorde vormgeving en veiligheid te komen.

Tot het midden van de 19e eeuw beperkte de ontwikkeling van de beweegbare bruggen (behalve de pontonbruggen) zich voornamelijk tot houten ophaalbruggen over kasteel- en stadsgrachten en het daaruit, vooral in Holland, ontwikkelde type van de dubbele houten ophaalbrug.

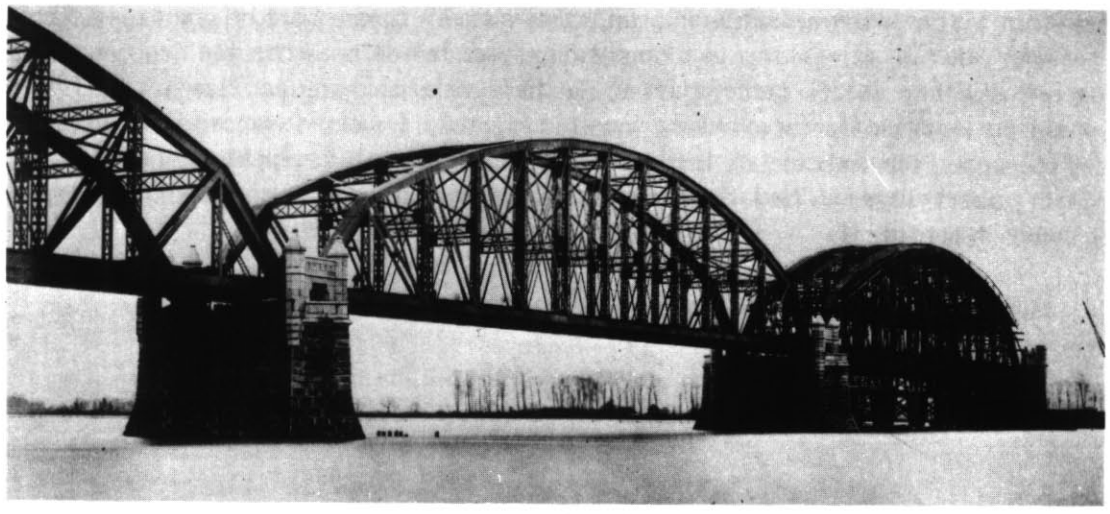
Een dubbele houten ophaalbrug

De grote stoot tot de verdere ontwikkeling van zowel vaste als beweegbare bruggen werd tussen 1825 en 1850 gegeven door de samenloop van omstandigheden dat de behoefte aan bruggen enorm toenam door de ontwikkeling van de spoorwegen en dat het geschikte materiaal, ijzer en staal, in voldoende hoeveelheid en kwaliteit ter beschikking kwam. Vooral in Engeland werden zeer geavanceerde constructies toegepast, bijvoorbeeld de Britanniabrug over de Menai-straits bij Anglesey, anno 1850. De eerste grote stalen bruggen in Nederland dateren van ca. 1865, bijvoorbeeld de spoorbrug bij Culemborg, die nog steeds in gebruik is.



De eerste (giet-)ijzeren brug. Coalbrookdale, Engeland 1779

De ijzeren verbindingen werden net zo gemaakt als men met hout gewend was: pen en gat-verbinding



Een ijzeren brug, nog in staat van opbouw. Waaraan zie je dat? Wat voor een soort brug is dit?

Een nieuw tijdperk van bruggenbouw werd ingeluid door het gebruik van ijzer als bouwmateriaal. Dit begon in feite in 1779 met de bouw van de brug over de Severn bij Coalbrookdale. Darby liet deze brug, die moest dienen om transport tussen de verschillende delen van zijn ijzer- en staalbedrijf te vergemakkelijken, bouwen alsof het een houten brug was, met gegoten zwaluwstaarten en pen-gatverbindingen.

Na 1900 krijgt het staal vooral bij bruggen met kleine en middelgrote overspanningen concurrentie van het gewapend beton. Na de Tweede Wereldoorlog ontwikkelen zowel de staal- als de betonconstructie zich snel. Zo wordt bij de stalen brug het van ouds overgeleverde verbindingsmiddel, de klinknagel, grotendeels door lasnaden en/of voorspanbouten vervangen, wat een gewichts- en arbeidsbesparing betekent. Ook het gebruik van staalsoorten met een hogere toelaatbare materiaalspanning leidt tot lichtere en meer gedurfde constructies. Het gewapend beton wordt in de bruggenbouw bijna geheel verdrongen door het voorgespannen beton, waardoor lichtere constructies en grotere overspanningen mogelijk worden.

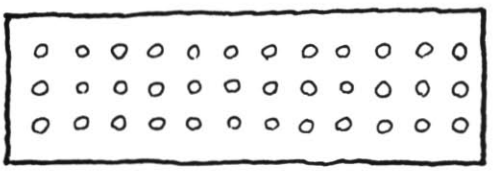
De Medway-brug, Engeland, voorgespannen beton

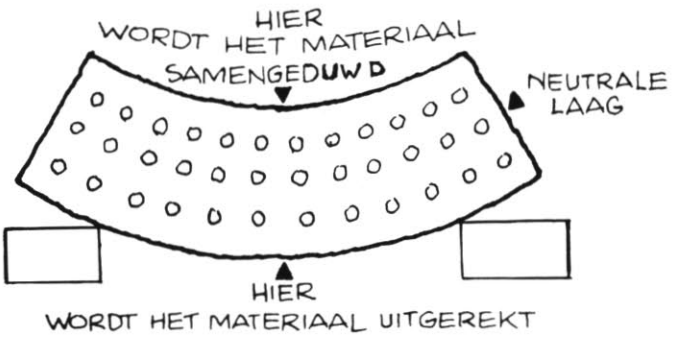
voorgespannen beton

Beton is een snelhardend mengsel van cement, zand en kiezel, waaraan vaak grote brokken natuur- of baksteen zijn toegevoegd.

Beton heeft de prettige eigenschap dat het materiaal grote drukken kan weerstaan en dus flink belast kan worden (het kan heel wat 'houden'). Het is te gieten en daarom gemakkelijk in allerlei moeilijke vormen te fabriceren.

Bij vlakke bruggen zal het brugdek door het gewicht van zichzelf (!) en het verkeer doorbuigen. Als een brugdek doorbuigt wordt de bovenlaag ingeduwd (duw) en de onderlaag uitgerekt (trek).



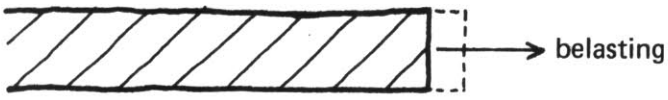


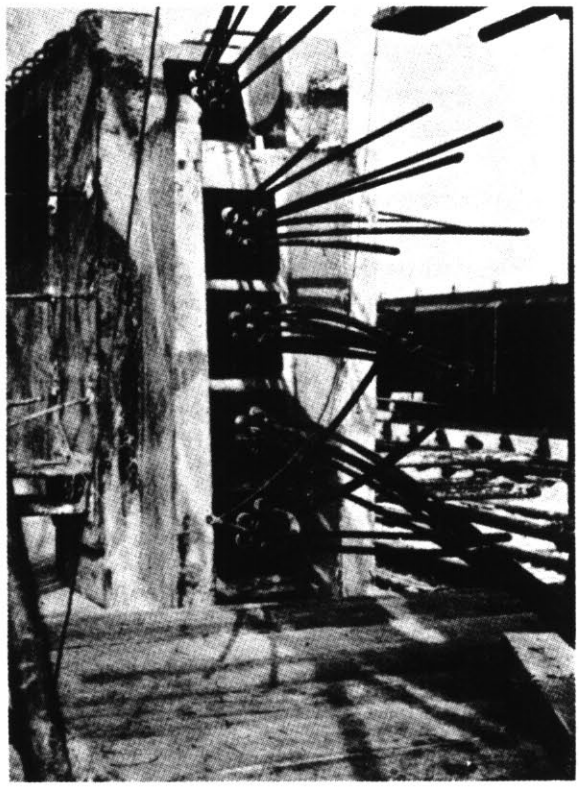
Maar beton kan erg slecht tegen trek. Het scheurt en gaat kapot als het op trek belast wordt. Om het beton te versterken is men bewapening gaan toepassen: ijzeren staven in het beton (betonijzer) die uitrekken zoveel mogelijk tegengaan.

In zijn rankheid is de brug bij Wessem een goed voorbeeld van één der eerste toepassingen in Nederland van de steigerloze uitbouwmethode, met voorgespannen betonnen moten.
Bij aandachtig kijken zijn de verticale voegen tussen de verschillende moten bij deze fraai afgewerkte brug flauw waarneembaar, waarbij de sluitmoot in het midden van de overspanning zich aftekent door een iets meer donkere kleur van het beton

Deze verbetering was niet voldoende. Bij grote overspanningen moet de betonlaag nog erg dik zijn, waardoor het 'eigen gewicht' aan beton te groot werd. De brug zou te zwaar worden.
De volgende ontwikkeling was het zgn. voorspannen.

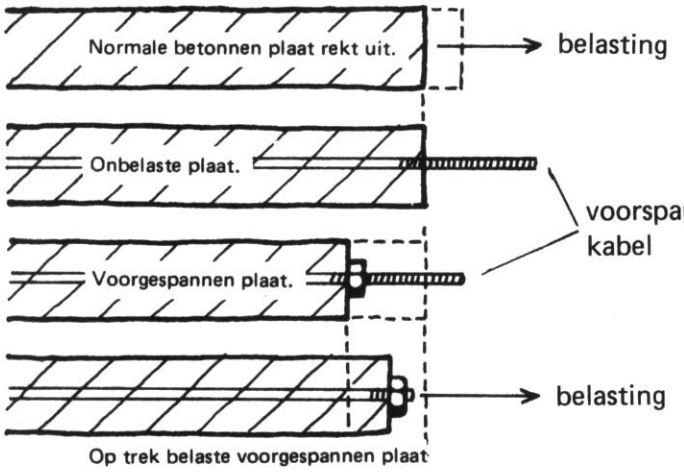
Een normale betonnen plaat zal bij trekbelasting langer worden (en daar kan beton slecht tegen).





Een voorbeeld van voorgespannen beton.
Duidelijk zijn de gespannen staalkabels te zien

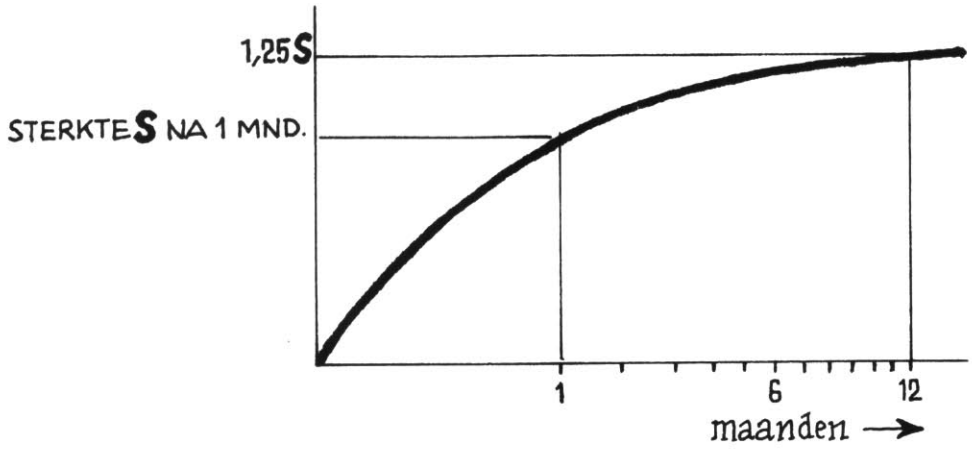
Het voorspannen gebeurt als volgt.



Op trek belaste voorgespannen plaat

In het beton worden stalen kabels (of staven) gegoten in de richting waarin trek kan optreden. Als het beton hard is, worden de staalkabels gespannen zodat het beton korter wordt. Als het nu op trek belast wordt zal er wel lengte vermeerdering optreden maar de betonnen plaat blijft nu altijd binnen zijn oorspronkelijke maat!

Tenslotte nog dit.
De sterkte van beton neemt toe, naarmate het ouder wordt. Na ongeveer een jaar is de maximale sterkte bereikt. Kijk maar onderstaand diagram.

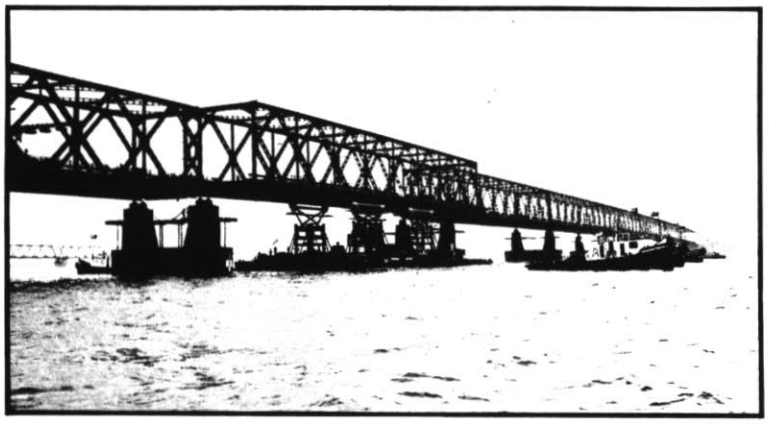


de moerdijkbrug

Weinig bruggen in ons land spreken zo tot de verbeelding als de Moerdijkbrug. Dit werd bij de opening van deze brug in 1936 al ingezien. Een herinneringsboek noemt dit treffend: 'Een nationale gebeurtenis van internationaal belang.' En inderdaad, de nieuwe brug maakte niet alleen een einde aan de soms gevaarlijke overtochten per boot, maar vormde tevens een regelrechte verbinding met het hart van Holland. Bovendien behoorde de Moerdijkbrug in de jaren dertig tot de grootste bruggen in Europa. De oeververbinding was opgebouwd uit tien stalen overspanningen, elk honderd meter lang.
De tien oude overspanningen zijn inmiddels elders geplaatst. In regelmatig tempo werden zij door Rijkswaterstaat verwisseld voor nieuwe, bredere brugdelen die op de oude pijlers rusten. Zes van de oude brugdelen werden gebruikt om de oeververbinding over de Bergse Maas bij Keizersveer te verbeteren. De overige vier vervingen de Spijkenisserbrug bij Rotterdam. Een mooi voorbeeld van *recycling.*
De verbreding van de Moerdijkbrug was nodig, omdat de oeververbinding het drukke verkeer nauwelijks meer kon verwerken. In 1950 passeerden nog gemiddeld 5200 motorvoertuigen per etmaal. In 1973 was dit aantal gestegen tot bijna 38 000 voertuigen. En voor 1980 verwacht men de passage van gemiddeld 47 000 motorvoertuigen per etmaal. De oude brug bood geen mogelijkheden voor aanpassing aan de verkeersdrukte. De oorzaak hiervan was de 'tunnelvorm' van de brug, waarbij het brugdek links en rechts werd begrensd door de opstaande staalconstructie: in technische termen het stalen vakwerk. Na verschillende mogelijkheden te hebben bestudeerd, besloot Rijkswaterstaat op de pijlers van de oude brug een nieuwe, moderne verkeersbrug te bouwen, van een geheel andere vorm en constructie dan de oude Moerdijkbrug. Dit werk werd ingepast in de reconstructie van rijksweg A 16 (Rotterdam-Dordrecht-Breda). Een reconstructie die tevens voorzag in de bouw van een tunnel onder de Oude Maas bij Dordrecht.

Wel breder, niet zwaarder
De nieuwe Moerdijkbrug moest weliswaar breder zijn, maar mocht niet veel zwaarder worden dan zijn voorganger. Dit in verband met de belasting van de pijlers. Rijkswaterstaat ontwierp een bijna 43 meter brede brugconstructie met een stalen rijvloer.
De opstanden en de bovenbouw van de oude brug zouden niet terugkeren in het nieuwe ontwerp. De nieuwe brug krijgt 2 x 3 rijstroken met vluchtstrook, plus nog een wegstrook voor het langzame verkeer. De masten voor de verlichting komen in de middenberm te staan. Als dit in de toekomst nodig is, kan de indeling van het brugdek worden gewijzigd zodat 2 x 4 rijstroken ontstaan. De nieuwe Moerdijkbrug kan een verkeersintensiteit aan van 80 000 motorvoertuigen per etmaal. Het gehele project kostte — naar raming — honderd miljoen gulden.

Een brug ontwerpen is één ding, diezelfde brug plaatsen op de pijlers van zijn voorganger, is weer iets anders. De afstand tussen de onderkant van de oude Moerdijkbrug en het wegdek bedroeg 1,90 meter. Bij de nieuwe brug is deze afstand 3,50 meter. Telkens wanneer een oud brugdeel van de Moerdijkbrug werd weggehaald, zou daarvoor een nieuw brugdeel in de plaats komen. Als men zonder meer ging ver-



Het eerste oude brugdeel van de Moerdijkbrug wordt van zijn plaats getild en weggevaren. Op zijn plaats zal een nieuw, breder brugdek komen

wisselen, zouden er echter problemen rijzen. Elk nieuw ingevaren brugdeel kwam dan hoger te liggen dan de oude brug, waardoor het verkeer zou worden gestremd. En een van de eisen was juist tijdens de ombouw van de brug dit drukke verkeer zo weinig mogelijk te hinderen.
Om nu ongelijke 'aansluitingen' van nieuwe op oude brugdelen te voorkomen werd om te beginnen de oude Moerdijkbrug in fasen opgevijzeld. Naar het midden toe werden de brugdelen steeds iets meer omhooggebracht.

De Moerdijkbrug: voor de helft al voorzien van de nieuwe brugdelen

KEIZERSVEER

Zoals gezegd zijn zes brugdelen van de oude Moerdijkbrug gebruikt om de brug bij Keizersveer over de Bergse Maas (twintig kilometer ten oosten van de Moerdijk) te vervangen.
De brug Keizersveer vormde een knelpunt in de rijksweg 27 (Vianen-Gorinchem-Breda). De 830 motorvoertuigen die in 1950 per etmaal deze brug passeerden, zijn er inmiddels meer dan 20 000 geworden. De brug, uitgerust met een betondek, dateert uit 1931 en werd in het verleden al gesloten voor voertuigen met een asdruk van meer dan dertien ton.
De eerste drie delen van de Moerdijkbrug kwamen westelijk van de brug Keizersveer te liggen. Daarna werd deze oude Keizersveerbrug verwijderd en gesloopt. De bestaande pijlers werden aangepast, waarna men de drie overspanningen opschoof. Op hun plaats liet men tenslotte de tweede serie van drie Moerdijkbruggen rusten.
De overige vier delen van de oude Moerdijkbrug dienen om de Spijkenisserbrug te vervangen. Deze oude hefbrug over de Oude Maas bij Rotterdam verkeerde in slechte staat en hinderde zowel scheepvaart als wegverkeer. Twee van de vier brugdelen die voor de vervanging zorgden, werden beweegbaar gemaakt.

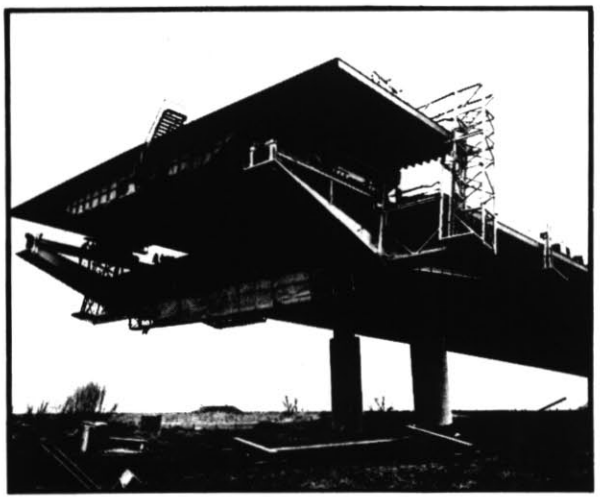
Transport van een brugdeel

De oude delen van de brug bij Keizersveer worden weggehaald om vervangen te worden door delen van de voormalige Moerdijkbrug, waarvan er op de achtergrond al één geplaatst is. Er komen twee bruggen naast elkaar

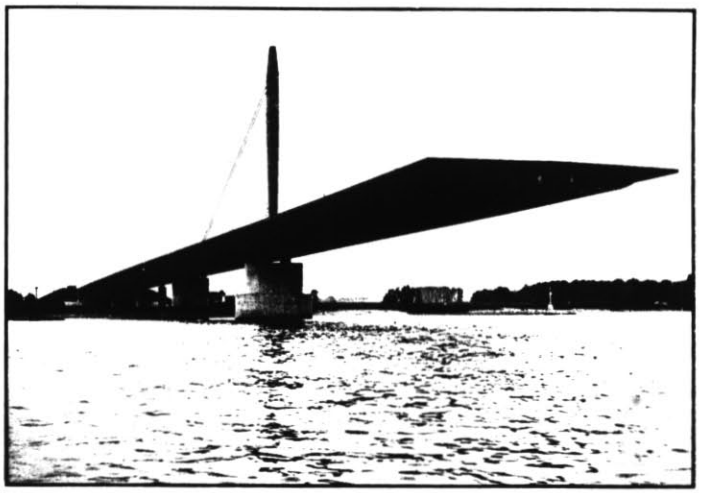
Leestekst 4 de stalen tuibrug over de waal bij ewijk

De vormgeving van de bruggen in ons land vertoont zo langzamerhand opmerkelijke verschillen. De boogbrug is niet langer toonaangevend. Omdat men de laatste jaren probeerde de grote bruggen zo veel mogelijk aan te passen aan het landschap, ging men bruggen ontwerpen met een zo gestrekt en laag mogelijk aanzien. Een van de mooiste voorbeelden hiervan is de brug over de Waal bij Ewijk. Het brugdek, opgebouwd uit stalen kokerliggers, hangt aan zware kabels, die door vijftig meter hoge pylonen worden ondersteund.
De brug vormt een onderdeel van rijksweg 75 (route A 50) een autosnelweg tussen rijksweg 12 bij Arnhem en het zuiden van Nederland. De weg voert over de drie grote rivieren van ons land: de Rijn, de Waal en de Maas.
Een brug van hetzelfde type werd door Rijkswaterstaat al eerder bij het verkeersplein Oudenrijn over het Amsterdam-Rijnkanaal gebouwd. De brug over de Waal is echter groter en heeft een totale lengte van ruim duizend meter. De hoofdoverspanning van de brug heeft een lengte van 270 meter. Aan deze sierlijke brug met twee pylonen, begon men in 1972 te bouwen. Op 30 juni 1976 werd de brug door het verkeer in gebruik genomen. De totale kosten bedroegen ca. zeventig miljoen gulden.
De oeververbinding heeft een groot aantal overspanningen, gerekend van zuid naar noord: één van 73 meter lang, drie van 90 meter lang, een van 105 meter lang, een hoofdoverspanning met een lengte van 270 meter, twee overspanningen van 85 meter en tenslotte een overspanning met een lengte van 60 meter.
De hoofdpijlers werden gebouwd op de randen van het zomerbed, zodat er een 260 meter brede doorvaartopening ontstond. Bij de hoogst bekende waterstand blijft er voor de Rijnvaart nog een doorvaarthoogte van 9,10 meter over.

Fietspaden
Het stalen brugdek is ruim 36 meter breed. Daarop werden 2 x 3 rijstroken aangelegd met vluchtstroken. Ter weerszijden van de weg bleef ruimte over voor fietspaden van 3,50 meter breed. Omdat de pylonen en tuikabels centraal op het wegdek zijn geplaatst, kan men in de toekomst het aantal rijstroken eventueel uitbreiden tot 2 x 4 rijstroken. De fietspaden zullen daarvoor moeten wijken.
De brug werd opgebouwd uit secties, die werden vervaardigd in een speciale loods op een van de opritten. In totaal moesten er 71 secties worden geproduceerd. Elke sectie was vijftien meter lang en varieerde in gewicht tussen de 160 en 240 ton. Om deze gevaarten op hun plaats te krijgen (bij de bouw van de brug paste men de methode van de vrije voorbouw toe) werd een zogenoemde platformwagen gebruikt. Deze wagen bezat een eigen gewicht van tachtig ton en was op afstand hydraulisch bestuurbaar. Hij bewoog zich voort op maar liefst 112 wielen. Deze platformwagen werd gebruikt om de brugsecties van de loods over het reeds gebouwde deel van de brug te vervoeren naar de plaats, waar zij op hun beurt aan het brugdek werden gelast.



Bij de bouw van de brug over de Waal bij Ewijk werden de stalen brugsecties op vernuftige wijze op hun plaats getild, waarna men ze aan elkaar bevestigde



De brug bij Ewijk tijdens de montage.
Je ziet dat het brugdek hangt aan het pyloon

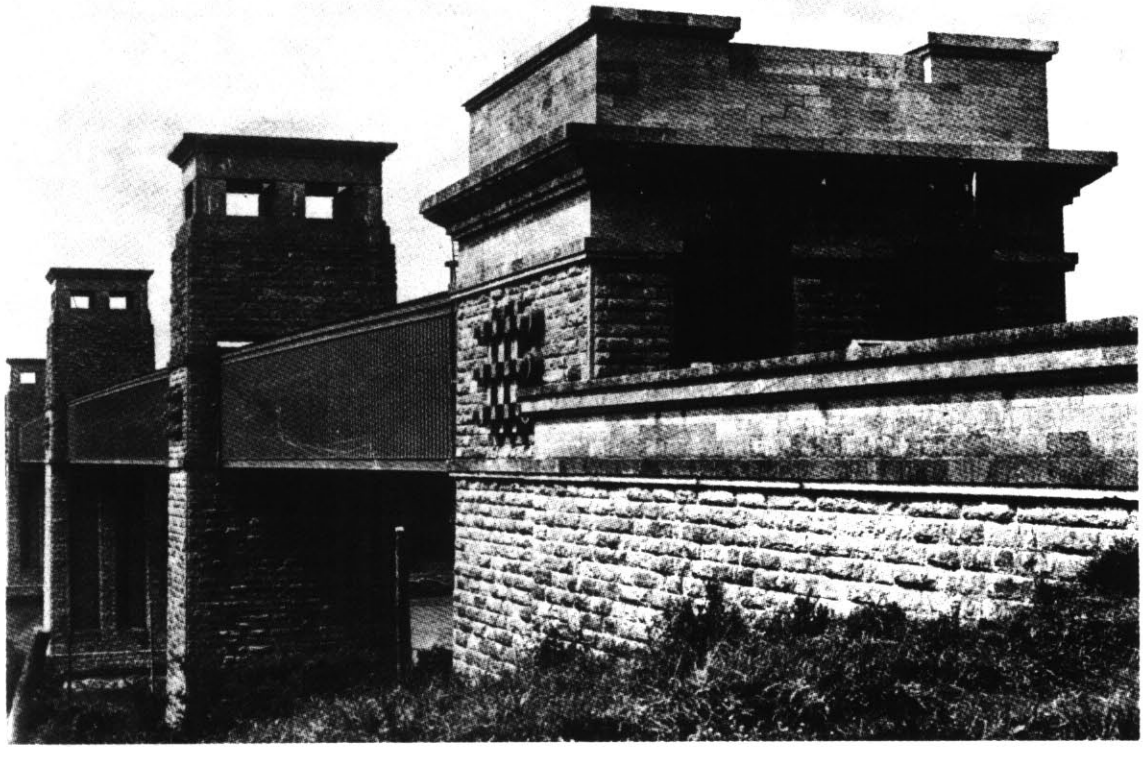
de britanniabrug

De Britanniabrug in Engeland was een van de eerste bruggen die uit welijzer werd vervaardigd. Deze spoorwegbrug is ontworpen door R. Stephenson.
De brug bestond uit twee kokers van elk 1511 voet lang. De overspanningen waren 460 en 230 voet. Het gewicht bedroeg 10 000 ton, dat was in die tijd 1/6 van de wereldjaarproduktie aan welijzer.

De twee zijoverspanningen, die geheel boven het land lopen, werden op een tientallen meters hoog steigerwerk in het werk gebouwd. De twee middenoverspanningen werden op een montageplaats op de oostelijke oever van de Menai Straits gebouwd. Na voltooiing werden de kokers op dekschuiten tussen de torens gevaren. Na het invaren moesten ze nog ruim 25 meter gehesen worden. De hydraulische persen, bijna bovenin de torens geplaatst, konden het gewicht nauwelijks heffen.
De torens zijn zo gebouwd, dat er hangkettingen aangebracht konden worden, die de kokers zouden helpen dragen.
Dit is echter niet nodig gebleken. Uit proeven bleek achteraf, dat de brug ook zonder hangkettingen sterk en stijf genoeg was.

De Britanniabrug

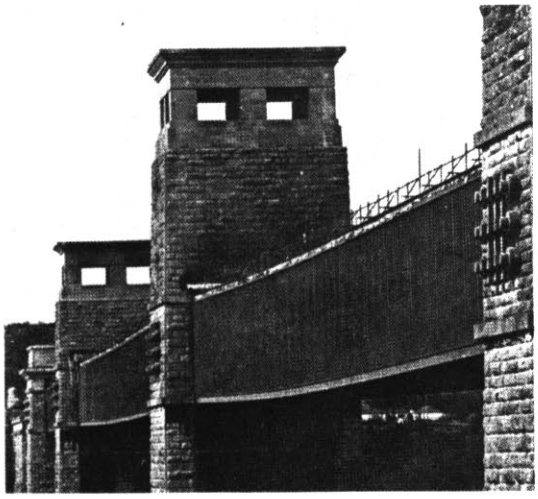
10 april 1846: de eerste steen gelegd
12 febr. 1849: de torens en landhoofden gereed
10 aug. 1847: de bouw van de kokers
19 juni 1849: de bouw van de zijoverspanningen
10 juni 1850: de eerste middenoverspanning wordt ingevaren
25 juli 1850: de tweede middenoverspanning wordt ingevaren



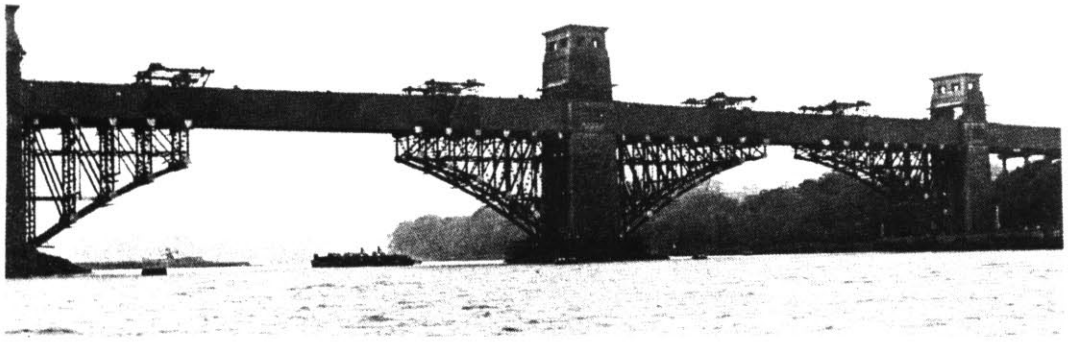
De Britanniabrug: kokers tussen de pijlers

In de zomer van 1970 werd de brug door brand verwoest. Op de brug was een houten overkapping gemaakt, om regenwater dat op de bovenflens bleef staan, tijdig af te kunnen voeren. De kokers zelf waren d.m.v. een dikke teerlaag aan de binnen- en de buitenzijde tegen roesten beschermd. In de koker was alleen hout in de vorm van langsliggers aanwezig.

In de houten overkapping zaten een groot aantal vogelnesten. Twee jongens hebben er een paar uitgehaald en verbrand op de pijler. De overkapping vatte vlam en vervolgens de teer op de koker en daarna het hout en de teer in de koker.



De verzakking na de brand



Het herstel van de Britanniabrug. Door ondersteuningsbogen konden de oorspronkelijke buizen gehandhaafd worden

De brug zakte door en vertoonde op de plaats van de middenoplegging (t.p.v. het grootste moment) een flinke scheur.

De beide jongens kregen beide een boete van *f* 30,—.
De brug werd vervangen door een dubbele boogbrug met een hooggelegen rijvloer. Deze bogen werden eerst gebruikt als ondersteuning van de kokers tijdens de demontage van de oude brug en vervolgens als nieuwe draagconstructie.
Er bestaat nog één type van deze bruggen van dezelfde maker, in Conway. Deze spoorwegbrug is nog steeds in gebruik.

bruggen en files

Bruggen en files

Bruggen dienen om verkeer over bijvoorbeeld rivieren en kanalen mogelijk te maken. Als er teveel verkeer van de brug gebruik wil maken, raken de bruggen of de aanvoerwegen ervan verstopt. Dat is o.a. het geval bij de bruggen en de toegangswegen tot de Randstad: de Van Brienenoordbrug nabij Rotterdam en de Lekbrug bij Vianen. Met de Coentunnel bij Amsterdam vormen ze de grootste verkeersknelpunten en ongeveer de helft van 'het fileprobleem'. Het verbreden van bruggen gaat minder gemakkelijk en is kostbaarder dan het verbreden van wegen. Toch is bij de Van Brienenoordbrug voor deze oplossing gekozen om de brug te ontlasten. De gemeente Rotterdam is echter bang dat de wegen in de stad de grotere aantallen auto's niet kunnen verwerken, zodat ergens anders verkeersopstoppingen ontstaan.
De Lekbrug bij Vianen wordt ontlast door een nieuwe autosnelweg (geplande openingsdatum 1982) en een nieuwe Lekbrug. In het oorspronkelijke plan van Rijkswaterstaat loopt de weg dwars door het rivierbosgebied Amelisweerd bij Utrecht. Een actiegroep probeert de plannen zo veranderd te krijgen, dat er zo min mogelijk bos verloren gaat en het overblijvende bos niet in tweeën wordt gehakt.
Belangenorganisaties van automobilisten, autohandel en wegenbouwers dringen aan op versnelde aanleg, ongeacht welke ligging van de weg uiteindelijk gekozen wordt.
Overigens is het ook hier weer de vraag of de files wel worden opgelost, of alleen maar verlegd in de richting van Utrecht.

File op de Van Brienenoordbrug in Rotterdam

Affiche van de vereniging 'Vrienden van Amelisweerd'

PLON

Begeleidingscommissie S.V.O.-project 0213 (vooronderzoek voor het PLON, 1972-1974)

F. van de Maesen (voorzitter tot 1973); hoogleraar natuurkunde Technische Hogeschool Eindhoven
N.J. Heijkoop (voorzitter 1973-1974); inspecteur voortgezet onderwijs
W.P.J. Lignac (secr.); secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
S. Auer, algemeen didacticus Universiteit van Amsterdam
F. Balkema, inspecteur voortgezet onderwijs
H.P. Hooymayers, lector natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
H.J.L. Jongbloed (1972-1973), mediadeskundige NIAM
J. Schweers, leraar natuurkunde havo/vwo
J. Smit, inspecteur voortgezet onderwijs
E. Warries, hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
M. van Wieringen (1973-1974), mediadeskundige NIAM

Stuurgroep PLON (1974-heden)

H.P. Hooymayers (voorzitter), hoogleraar natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
W.P.J. Lignac (secr. tot 1978), secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
A.A.M. Agterberg (secr. sedert 1978), secretaris Advies Commissie voor de Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde in oprichting
P. Broekman (sedert 1980), hoofd afdeling Bèta en Gamma-vakken CITO
F. Dekkers (sedert 1979), hoofddocent natuurkunde Moller Instituut
H. Lengkeek (tot 1977), leraar natuurkunde mavo
D.A. Lockhorst (tot 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
J. Schipper (sedert 1980), medewerker A.P.S.
A. Snater (tot 1980), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
F.J. Steenbrink (tot 1978), leraar natuurkunde vwo
J.M.F. Teunissen (tot 1975), onderwijskundige Rijks Universiteit Utrecht
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo te Putten
R. de Vries (sedert 1980), leraar natuurkunde havo, vwo, namens de NVON
E. Warries (tot 1975), hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
S.A. Wouthuysen (tot 1976), hoogleraar natuurkunde Universiteit van Amsterdam

Kerngroep mavo

G.H. Frederik, vakdidacticus Rijksuniversiteit Utrecht; tot 1979 voorzitter van de ACLO-n i.o.
H. Eeftink (sedert 1980), leraar natuurkunde mavo
D. Hobo (tot 1979), directeur van de Chr. Mavo de Lier
S.G.C. Markering, hoofddocent natuurkunde Gelderse Leergangen
Ch. van Raemdonck (sedert 1980), leraar natuurkunde mavo (PLON)
J. Vastbinder (sedert 1980), leraar natuurkunde M.T.S.
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo Putten

PLON-team mavo/havo/vwo-onderbouw

H.F. van Aalst
W. van Bochoven (1976-1978)
W. Bijker (1979-1981), Rijks Universiteit Utrecht
H. Boelhouwer (sedert 1979), S.V.O.
S.O. Ebbens (1976-1980)
C. Floor (1979-1980)
A.C.L. van Gameren (sedert 1977)
D. van Genderen, Rijks Universiteit Utrecht
F.L. Gravenberch (sedert 1978)
C.A.S. Groen (tot 1980)
W.H. Kamphuis (sedert 1975)
J. Kortland (sedert 1980)
B.M. de la Parra (sedert 1977)
B. Pelupessy
P. de Raad (1977-1978), onderzoeksassistent
A.E. van der Valk (sedert 1980)
R.F.A. Wierstra
Th. Wubbels (1978-1979)
J. Zwarts (1977-1978), onderzoeksassistent

PLON-administratie

E. van den Broek (1976-1979)
R. Lindeman (1977-1980)
M. Rolff van den Baumen (1974-1979)
B. Schillert (sedert 1980)
A.G. Schwering (sedert 1980)
H. Veurink (tot 1974)

Tekeningen

A. Lurvink (Onderwijsmedia instituut – Rijks Universiteit Utrecht)
H. de Waal (Onderwijsmedia instituut – Rijks Universiteit Utrecht)

Foto's

A.C.L. van Gameren (PLON)
W.H. Kamphuis (PLON)

PLON-CITO (namens CITO)

F. Boessenkool
P. Broekman
C. Hellingman
T. Heuvelmans
H. Jaspers
J. de Kanter

Proef- en volgscholen 1980-1981

Chr. Mavo Putten te Putten
Chr. Mavo de Lier te De Lier
Thorbecke S.G. te Arnhem (mavo-afdeling)
Edith Stein College te Den Haag
Chr. Mavo Mariahoeve te Den Haag
Maasveld Mavo te Blerick
Regina Pacis Streekschool te Oudewater
R.S.G. Schagen te Schagen
Hertog Jan College te Valkenswaard
Marnix College te Ede
Niels Stensen College te Utrecht
Ashram College te Alphen a/d Rijn
Mavo de Bark te Zaandam
S.G. Oost Betuwe te Bemmel
R.S.G. Broklede te Breukelen
Eemland College Noord te Amersfoort
Grotius College te Heerlen
S.G. Nijmegen Oost te Nijmegen
Chr. S.G. de Brug te Lelystad
Dr. Edith Stein Mavo te Eindhoven
Michaël Mavo te Beek-Ubbergen
Chr. S.G. Jan van Arkel te Hardenberg
Mavo 't Fregat te Zaandam
Chr. S.G. Revius te Deventer

Varrod Bru bij Kristiansand

Overzicht van PLON-thema's voor mavo en onderbouw havo-vwo

VOOR DE 2e KLAS

- Een eerste verkenning in de natuurkunde
- Mensen en metalen — themaboek
  — keuzeonderzoeken
- Werken met water — themaboek
- Leven in lucht
- IJs, water en stoom (I en II)

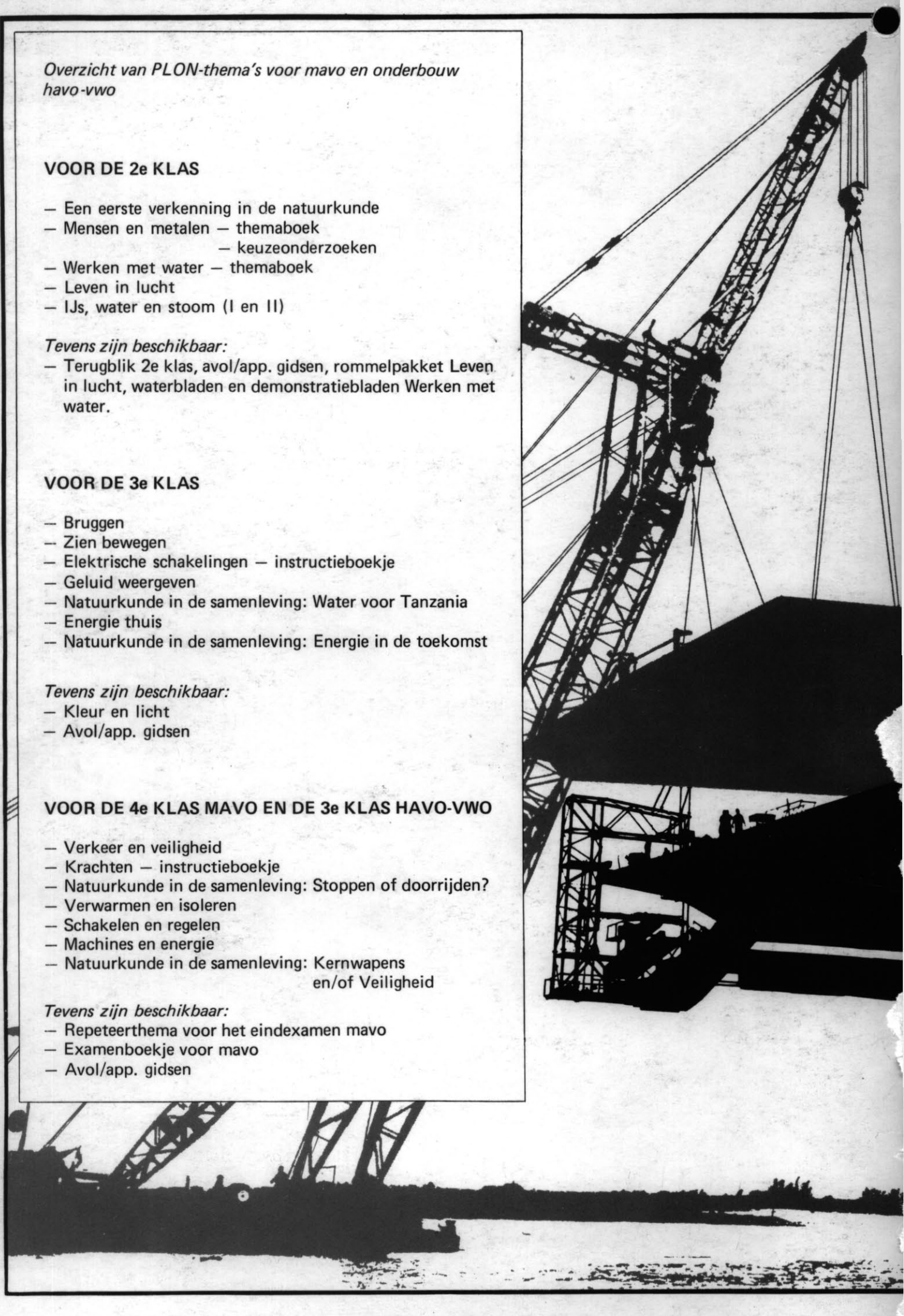
Tevens zijn beschikbaar:
- Terugblik 2e klas, avol/app. gidsen, rommelpakket Leven in lucht, waterbladen en demonstratiebladen Werken met water.

VOOR DE 3e KLAS

- Bruggen
- Zien bewegen
- Elektrische schakelingen — instructieboekje
- Geluid weergeven
- Natuurkunde in de samenleving: Water voor Tanzania
- Energie thuis
- Natuurkunde in de samenleving: Energie in de toekomst

Tevens zijn beschikbaar:
- Kleur en licht
- Avol/app. gidsen

VOOR DE 4e KLAS MAVO EN DE 3e KLAS HAVO-VWO

- Verkeer en veiligheid
- Krachten — instructieboekje
- Natuurkunde in de samenleving: Stoppen of doorrijden?
- Verwarmen en isoleren
- Schakelen en regelen
- Machines en energie
- Natuurkunde in de samenleving: Kernwapens en/of Veiligheid

Tevens zijn beschikbaar:
- Repeteerthema voor het eindexamen mavo
- Examenboekje voor mavo
- Avol/app. gidsen