

TER INZAGE

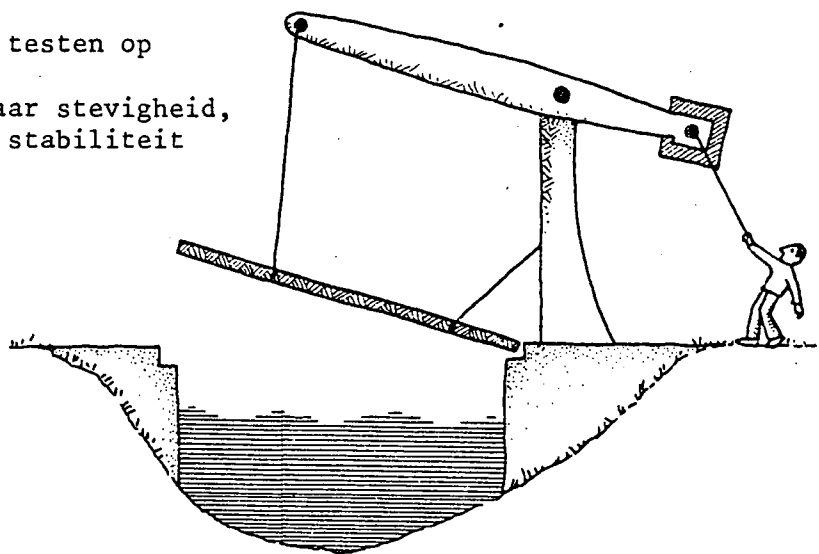
NIET MEENEMEN

Aantekeningen voor de leraar en Apparatuurgids

Bruggen

Een lessenserie waarin leerlingen

- leren over materiaalspanningen in bruggen en constructies
- leren over stevigheid en vorm
- de momentenwet leren kennen aan de hand van draaibruggen
- regels voor stabiliteit leren kennen
- een brug bouwen en testen op stevigheid
- onderzoeken doen naar stevigheid, vorm, evenwicht en stabiliteit



Experimentele uitgave voor de derde klas mavo, havo en vwo.
Samengesteld door de projectgroep PLON, met medewerking van projectleraren.



© 1983 Rijksuniversiteit Utrecht

Deze aantekeningen voor de leraar ~~maken deel uit van~~ experimenteel les-
materiaal. Overname of referentie uitsluitend na toestemming van de mede-
werkers van het PLON, Lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA Utrecht.

INHOUD

Voorwoord	3
Verantwoording	4
1. Achtergrond en uitgangspunten	4
2. De leerinhoud van "Bruggen"	5
3. Een kleine historie van het PLON-thema	6
4. De plaats van "Bruggen" in het PLON-curriculum	6
Het lesmateriaal	8
1. Het themaboek	8
2. Apparatuur en werkmateriaal	8
Didactische opzet	9
Lessenplan	11
1. Een voorbeeldlessenplan	11
2. Uitbreiding van het lessenplan	12
Didactische aanwijzingen	13
1. Eryaringen	13
2. Tips	13
Doelen voor leerlingen	18
Doelen voor de leraar	19
Boeken en AV-media	20
1. De schoolbibliotheek	20
2. Dienstverlening vanuit de openbare bibliotheek	20
3. Verdere literatuur	22
4. Films	22
Excursies	24
Leraren vragenlijst	25
Bijlagen	
D1 Leren van elkaar: een onderzoeksproject op het Ashram College	33
D2 Leerlingenuitspraken over moeilijke begrippen uit "Bruggen"	41
D3 Kracht, een artikel uit Faraday van Paul Vegting	43
D4 Leerlinguitspraken over "Krachten"	45
D5 In Schagen bouwde men een echte brug	47
D6 Een toets over "Bruggen" van het Ashram College	48
D7 Enkele proefwerkvragen over "Bruggen"	55
D8 Een demonstratie-proefwerk	60
D9 Mechanica in PLON-thema's	63
I1 Maken en breken (over materiaalspanning)	70
I2 Informatie over bruggen	75
I3 Modelonderzoek bij bruggenbouw	77
I4 Willemsbrug	80
Boeken en Audiovisueel materiaal	
AV1 Keuzelijst van het NBLC	86
AV2 Verdere literatuur	88
Apparatuurgids	89

Deze "Aantekeningen voor de leerkr" kan worden besteld bij:

BV Uitgeverij NIB

postbus 144

3700 AC Zeist

Tel. 03404-21624

De prijs is f 10,-

U bent betrokken bij het PLON-experiment; fijn dat u mee doet! We hopen dat u deze aantekeningen voor leraren interessant zult vinden en dat zij u helpen bij het voorbereiden en geven van uw lessen "Bruggen".

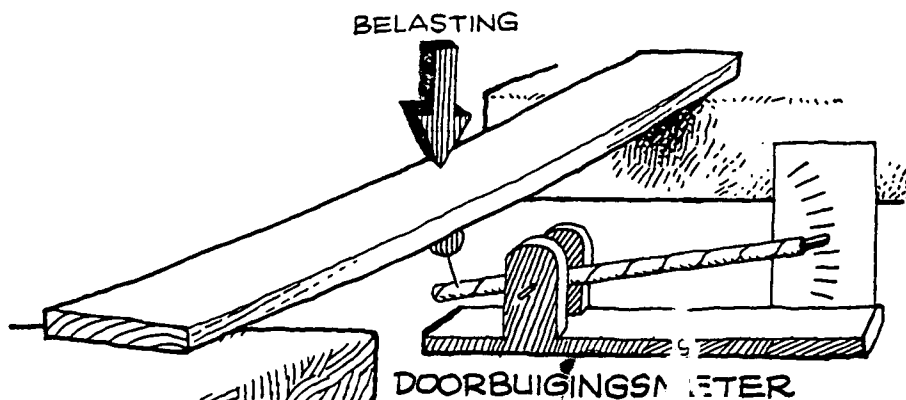
Deze AVOL is zowel bestemd voor hen die "Bruggen" voor de eerste keer geven als voor hen die er al ervaring mee hebben.

De AVOL geeft informatie over de didactische opzet van het instructieboekje "Bruggen" en bespreekt de verschillende fasen van het lessenplan. In de bijlagen zijn voorbeelden van toetsen en dergelijke opgenomen. Een lijst met films maakt het gemakkelijker het werken met het boekje audio-visueel aan te kleden. Het laatste deel is een gids voor de apparatuur en bevat ook de details over de proeven.

Op blz. 25 is een vragenlijst opgenomen. U kunt uw enthousiasme en kritiek daarin kwijt. We stellen het zeer op prijs als u die lijst wilt invullen en opsturen.

Het PLON-team
Lab. Vaste Stof
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht

juli 1983



VERANTWOORDING

1.. ACHTERGROND EN UITGANGSPUNTEN.

"Bruggen" is een thema, rond de vraag: hoe moet ik een brug (of andere constructie) zó maken, dat die stevig, stabiel en zo licht mogelijk is. Het thema wil een duidelijke, herkenbare en zinvolle relatie leggen tussen *doen* en *denken* (voor, tijdens of na dat "doen"). Daarom ligt in "Bruggen" de meeste nadruk op "construeren". De leerlingen zijn, vooral in de onderzoeken, op allerlei manieren bezig om constructies te maken die sterk zijn, in evenwicht zijn of stabiel zijn. Zo worden de leerlingen georiënteerd op het belangrijke, maar in het Nederlandse natuurkunde-onderwijs verwaarloosde gebied van de techniek. Veel leerlingen (o.a. de toekomstige M.T.S.-ers) zullen daarmee in hun beroep intensief bezig zijn.

Als werkvorm blijkt het "construeren" zeer aan te slaan. De leerlingen gaan enthousiast aan het werk en zien resultaten die hun het gevoel geven iets nieuws gemaakt en ervaren te hebben. Uit onderzoek ¹⁾ is gebleken dat "Bruggen" voor veel leerlingen een "eye-opener" is: allerlei vormen, waarvan ze eerst de zin niet zagen of waarvan ze dachten dat ze er alleen voor de sier waren, blijken een (andere) functie te hebben. Achter constructies vinden ze doordachte ideeën, experimenten en (soms eeuwenlange) ervaringen.

Het treffende van bruggen en hijskranen is dat er zoveel te beleven, te bouwen en te snappen valt aan dingen die je dagelijks tegen komt. Toch wordt er ook wel een praktisch nut ervaren. Leerlingen geven aan dat ze na "Bruggen" meer nadenken over bijvoorbeeld de dikte van planken of de soort materiaal of de vorm die ze moeten kiezen als ze iets gaan maken.

Het is een thema dat met veel plezier door de leerlingen gedaan wordt. Het spreekt jongens meer aan dan meisjes, vooral omdat jongens er meer praktisch nut in zien. Grofweg kan je zeggen dat voor de jongens de vraag: "hoe maak je een brug" interessant is, terwijl voor meisjes de (moeilijkere) vraag "waarom is dit of dat zo; bijv. waarom valt de evenwichtsacrobaat niet van het touw" (blz. 78, themaboek) interessant is.

1) Zie Bas de la Parra/Stef Steens: "Bruggen: een laatste evaluatie", PLONoz 79-1219 en Hetty Boelhouwer/Bas de la Parra: "Plaatjes bij Bruggen", PLONoz 80-0820.

2. DE LEERINHOUD VAN "BRUGGEN"

Het inbouwen van "techniek" in het natuurkunde-onderwijs vraagt een andere aanpak en een andere leerinhoud dan we in de traditionele natuurkunde gewend zijn. Met dit thema wordt de lijn van "natuurkunde en techniek" in de PLON-cursus opgevat. Die lijn wordt in latere thema's als "Water voor Tanzania", "Energie Thuis", "Schakelen en Regelen" verder uitgewerkt. Daarom ligt bij "Bruggen" de nadruk op het ervaren van het effect van technische ingrepen: door een bepaald papieren onderdeel van een brug-model door touw te vervangen kan een brug sterker worden; of: een hijskraan kan een grotere last dragen als je hem van onderen verzwakt.

"Bruggen" sluit nauw aan bij het intuïtieve begrip dat leerlingen hebben van krachten in constructies. Je "voelt" aan een touw of dat touw onder spanning staat. Je merkt dat de pluggen uit de muur getrokken worden als een boekenplank te zwaar belast wordt. In het algemeen merk je dat er op een andere plaats iets gebeurt als je op de ene plaats iets doet (een "natuurkundige" kracht uitoefent). Daarbij spelen de constructie-onderdelen waardoor de "kracht wordt doorgegeven" een rol. Deze onderdelen komen "onder spanning" te staan.

Door dieper in te gaan op het intuïtieve begrip spanning, deze te gaan onderscheiden in trek-, duw- en buigspanning en die te gaan herkennen aan de vervorming die ze veroorzaken, wordt een basis gelegd waaruit - later - het begrip kracht kan uitgroeien. Ook de veel voorkomende misconceptie dat iemand die op een vloer staat, daarop geen kracht uitoefent, kan worden ondergraven door die vloer als brug te beschouwen die vervormt onder invloed van die belasting. De relatie tussen het intuïtieve begrip spanning en het fysische begrip kracht wordt gelegd in het instructieboekje "Krachten".

Bij "Bruggen" heb je ook de momentenwet nodig, met name voor de beweegbare bruggen. Die wet wordt ook toegepast op hijskranen. Voor leerlingen blijkt het geen probleem te zijn binnen het thema "Bruggen" hijskranen te behandelen. Die heb je toch nodig bij het bouwen van een brug, was een opmerking van een leerling. De behandeling van hijskranen wordt aangegrepen om aandacht te besteden aan het onderwerp stabiliteit uit de leerstoflijst. Waarom valt zo'n hijskraan niet om als je er aan de ene kant zo'n zwaar gewicht aan hangt? Intuïtief zal een leerling zeggen: "Omdat hij stevig staat". Bij verder doorvragen zal het hem wel duidelijk zijn dat dat een andere stevigheid is dan die van een brug, hoewel het in eerste instantie wat moeilijker zal zijn uit te leggen waaraan dat ligt.

In "Bruggen" wordt deze "stevigheid" - de stabiliteit - op een duidelijke wijze onderscheiden van de ervaren stevigheid van een brug.

VERANTWOORDING

3. EEN KLEINE HISTORIE VAN HET PLON-THEMA "BRUGGEN"

Het huidige PLON-thema "Bruggen" is het resultaat van een ongeveer 5 jaar denken over, experimenteren met en evalueren van onderwijs aan de hand van bruggen en constructies. Het begon met de lessen-serie "Jouw Omgeving", waar bruggen en constructies een onderdeel van was. De aangeboden leersituatie zat vol leuke leerling-activiteiten, maar de relatie met de te leren natuurkunde was onduidelijk. Om dat op te lossen is een nieuw thema "Bruggen" geschreven, waar het bouwen van een brug aanleiding was tot het bekijken van trek- en duwkrachten in constructies, (vectoriëel) optellen van verschillende krachten en waar ook de momentenwet, evenwicht en stabiliteit aan de orde kwamen. Al snel bleek dat het heel moeilijk was het begrip kracht in het begin van de derde klas op dat formele niveau te snappen en veel leerlingen verloren hun interesse in het thema zodra ze krachten moesten gaan optellen. Bovendien bleek dat de leerlingen kracht vaak als een eigenschap van een constructieonderdeel zagen, bijvoorbeeld *deze staaf is een trekkracht*. Kracht werd dus niet gezien als iets dat op een punt werkt, maar als iets van de staaf als geheel. Eveneens bleek dat in het thema waar het begrip kracht in zijn volle omvang nodig was, "Verkeer en Veiligheid", het begrip weer volledig opnieuw aangebracht moest worden. Dat was aanleiding tot het herschrijven van "Bruggen" met in plaats van kracht het meer intuïtieve begrip spanning, met daarnaast een apart instructieboekje "Krachten" dat het fysische begrip kracht en de vaardigheid van optellen en aftrekken aanbrengt, teruggrijpend op "Bruggen" en vooruitblikkend naar de dynamische situaties in "Verkeer en Veiligheid". Bij het herschrijven van "Bruggen" werden nog enkele andere veranderingen doorgevoerd. Het thema kreeg minder tijd toebedeeld om de 3e klas wat te ontlasten, het kreeg een themastructuur die meer leek op de structuur van de andere 3e klas thema's en enkele vaardigheidslijnen van de 2e klas werden doorgetrokken naar de 3e klas. Met name het stellen van werk vragen en opzetten van een onderzoek kreeg een plaats in het thema.

4. DE PLAATS VAN "BRUGGEN" IN HET PLON-CURRICULUM

Het thema "Bruggen" is bedoeld voor gebruik in de derde klas MAVO, HAVO en VWO. Er zijn ook scholen die het met veel plezier al in de 2e klas gebruiken.

- "Bruggen" is aan het begin van de derde klas gepland, omdat
- het thema enkele vaardigheidslijnen uit de tweede klas weer opneemt;
 - het thema een oriëntatie geeft op de manier van werken in de derde klas, waarin:
 - een verschuiving gaat plaatsvinden van kwalitatief naar kwantitatief (beide elementen zijn in het thema aanwezig: materiaalspanningen en de momentenwet);
 - de aandacht gaat verschuiven van de eigen beperkte leefwereld naar de bredere technische en maatschappelijke omgeving.

VERANTWOORDING

"Bruggen" vormt als zodanig een scharnierpunt tussen de tweede en de derde klas. De nadruk ligt, net als in de tweede klas wat meer op de vaardigheden dan op de leerinhoud, vaardigheden die ze in de rest van de 3e klas nog veel nodig zullen hebben.

JAARPROGRAMMA 3-MAVO ¹⁾		JAARPROGRAMMA 3-HAVO/VWO ¹⁾		
<u>Thema</u>	<u>Aantal lessen</u>	<u>Thema</u>	<u>Aantal lessen</u>	<u>Uitbreidingsmogelijkheden⁴⁾</u>
Bruggen	10	Bruggen	10	Instructieboek Krachten
Instructieboek Elektrische Schakelingen	6	Instructieboek Elektrische schakelingen	10	Schakelen en Regelen
Zien Bewegen ²⁾	10, 12, 14	Zien Bewegen ²⁾	10, 12, 14	Kleur en Licht
Geluid Weergeven ²⁾	16, 14, 12	Geluid Weergeven ²⁾	16, 14, 12	{ NAS ³⁾ Verwarmen en Isoleren
NAS/Water voor Tanzania	6	Energie Thuis	10	
Energie Thuis	16	NAS ³⁾	8	
NAS/Energie in de Toekomst				
	64		64	
	==		==	

1) Dit jaarprogramma is gebaseerd op twee lessen per week.

2) Het aantal lessen bij het name deze thema's hangt af van een aantal keuzen die de leraar maakt met betrekking tot het doen van bepaalde basisdelen, het laten uitvoeren van keuze-onderzoeken, enz.; zie daarvoor de AVOL's van de betreffende thema's.

3) Keuze uit de vier deelthema's "Natuurkunde en Samenleving".

4) Bij een urenaantal van drie lessen per week in 3-havo/vwo; zie "jaarplan 3-havo/vwo".

Het jaarprogramma in het derde leerjaar komt uit op een totaal van 64 lesuren. Dat is voor twee lesuren per week in het derde leerjaar een redelijk aantal. Om op dat aantal uit te komen, zijn echter een aantal keuzes nodig, met name bij de thema's "Zien Bewegen" en "Geluid Weergeven"; zie daarvoor de AVOL's van de betreffende thema's. Voor MAVO-scholen die met PLON-materiaal werken maar aan het reguliere MAVO-examen deelnemen, adviseren wij een gewijzigd jaarprogramma voor de derde klas MAVO.

JAARPROGRAMMA 3-MAVO-PLON/regulier	
<u>Thema</u>	<u>Aantal lessen</u>
Bruggen	10
Zien Bewegen	16
Instructieboek Elektrische Schakelingen	8
Schakelen en Regelen	14
NAS/Water voor Tanzania	6
Verwarmen en Isoleren	16

HET LESMATERIAAL

1. HET THEMABOEK

Het themaboek "Bruggen" kan worden besteld bij:
BV Uitgeverij NIB
Postbus 144
3700 AC Zeist
Tel. 03404-21624.

Het themaboek is bestemd voor alle leerlingen.

2. APPARATUUR EN WERKMATERIAAL

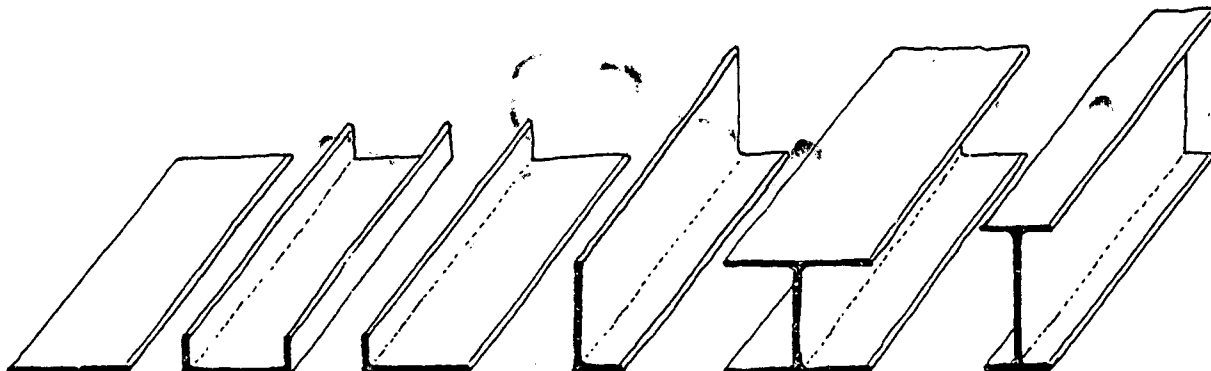
Practicum- en werkmateriaal moet door de school zelf worden verzorgd. In de apparatuurgids vindt u een overzicht van het practicummateriaal per thema. Voor een jaaroverzichtslijst kunt u zich richten tot het PLON.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen basis (B) materiaal (dat is datgene wat nodig is om minimum doelen te bereiken) en extra (E) materiaal (onder andere ten behoeve van keuze-opdrachten).

Een school die met PLON gaat werken, wordt aangeraden het eerste jaar alleen het basismateriaal aan te schaffen. Het extra materiaal kan in de jaren daarna aangeschaft worden. De keuze-mogelijkheden die in het eerste jaar beperkt zijn, kunnen zo in latere jaren uitgebreid worden. Het voordeel daarvan is ook dat de leraar dan meer ervaring heeft met de organisatie van het practicummateriaal in de klas.

Voor aanschaf van practicummateriaal kunt u zich richten tot diverse firma's. Met Breukhoven BV te Rotterdam heeft PLON een samenwerkings-overeenkomst, waarbij Breukhoven BV de levering van PLON-apparatuur op zich neemt.

Voor inlichtingen daarover:
Breukhoven BV
Mathenesserlaan 400
Postbus 6044
3002 AA Rotterdam
Tel. 010-767688.



DIDACTISCHE OPZET

1. DE OPZET VAN "BRUGGEN"

Het thema "Bruggen" is het eerste thema van de derde klas. Het wordt gevolgd door het instructieboek "Elektrische Schakelingen" en het thema "Zien Bewegen". HAVO-VWO-scholen kunnen ook ervoor kiezen het instructieboekje "Krachten" tussen deze twee thema's in te behandelen. "Bruggen" is geschreven voor 10 lesuren à 50 minuten. Daaraan voorafgaand kan één les besteed worden aan een inleiding op de derde klas.

De lessenserie over "Bruggen" bestaat uit vier lesfasen.

1. *de oriëntatiefase*

In deze fase oriënteren de leerlingen zich zowel op hetgeen er in de komende lessen gaat gebeuren als op de functie, de vorm en de materialen van bruggen en hijskranen.

2. *het theorie-deel*

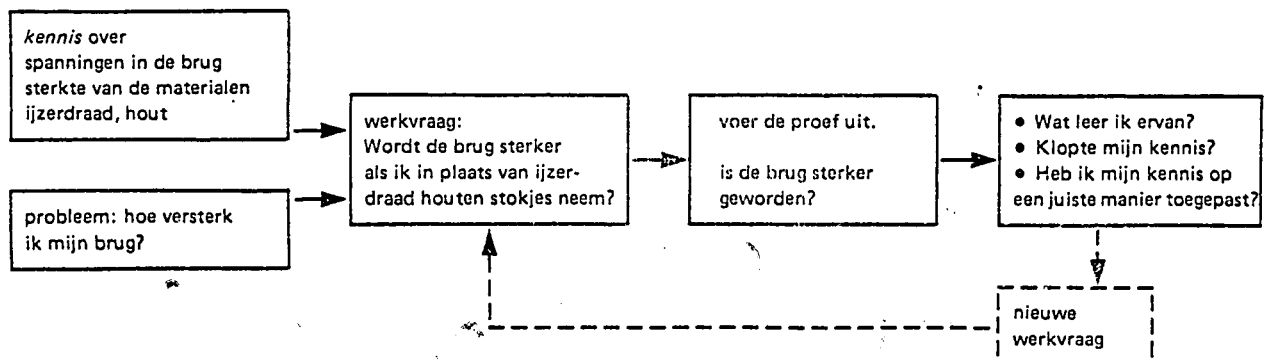
In dit deel leren de leerlingen duw- en trekspanningen in bruggen te zien; ook leren zij over vorm en stevigheid, over de momentenwet en stabiliteit.

In groepen kunnen de leerlingen de proeven en opdrachten uit de vier theorie-hoofdstukken zelfstandig bestuderen.

3. *het onderzoeksdeel*

In dit deel voeren de groepen leerlingen elk zelfstandig een onderzoek uit, waarbij ze elementen uit de theorie-hoofdstukken nodig hebben. Bij het onderzoeken ligt aanvankelijk de nadruk op het construeren (bijv. van een brug, een hijskraan, een stabiel voorwerp), maar in tweede instantie komt de nadruk te liggen op het verbeteren van het gebouwde: hoe maak ik een brug steviger, hoe maak ik het voorwerp stabiel?

Bij het voorbereiden van de onderzoeken kunnen de leerlingen teruggrijpen op de ervaringen met werkvragen stellen uit "Werken met Water" en met het opzetten van een onderzoekje uit "Leven in Lucht" (beide thema's uit de tweede klas). In de inleiding op het thema "Bruggen" in de leerlingentekst wordt dat in schema weergegeven:



DIDACTISCHE OPZET

Het doen van onderzoeken is tevens een oefening in het toepassen van de theorie. Alle onderzoeken grijpen terug op één of enkele theoriehoofdstukken.

Onderzoek 1	Een brug bouwen	theoriehoofdstuk 1 en 2 (en 3 voor draaibruggen)
Onderzoek 2	Een hijskraan bouwen	theoriehoofdstuk 1 en 2 (kan uitgebreid worden tot 3 en 4)
Onderzoek 3	De hijskraan en de momenten- wet	theoriehoofdstuk 3 (evt. 4)
Onderzoek 4	Allerlei onderzoeken rond stevigheid en vorm	theoriehoofdstuk 1 en 2
Onderzoek 5	Allerlei onderzoeken rond "laten draaien"	theoriehoofdstuk 3
Onderzoek 6	Allerlei opdrachten rond "stabiliteit"	theoriehoofdstuk 4

Voor geïnteresseerde leerlingen en voor gebruik als achtergrondinformatie bij de onderzoeken staan er 6 leesteksten achter in het boek die gaan over historische aspecten van bruggen, bruggen in Nederland en een maatschappelijk aspect van bruggen.

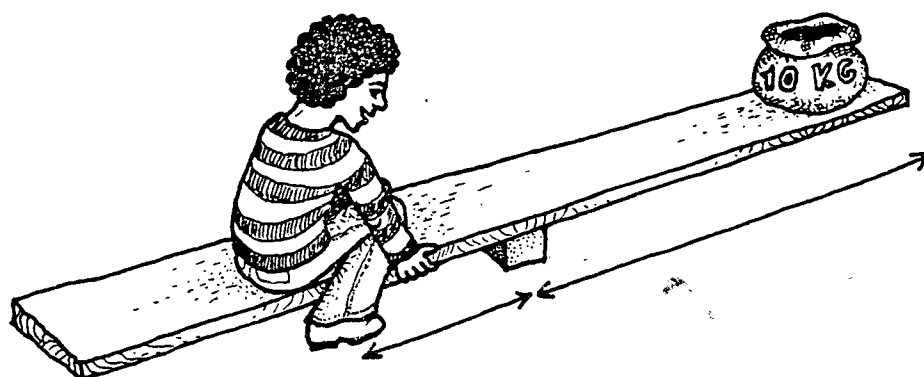
4. rapportage

Omdat er slechts 10 lessen voor dit thema zijn uitgetrokken, kan er geen sprake zijn van een uitgebreide rapportage aan de klas.

Wij suggereren een korte demonstratie van de bouwsels, zonder een uitgebreid verhaal over de problemen bij het bouwen.

Wel zouden de werkvragen die gesteld zijn bij het bouwen en/of het verbeteren van de constructies aan de orde moeten komen met daarbij de resultaten ervan.

Een proefwerk sluit het thema af. Dat kan bestaan uit een gemeenschappelijk gedeelte over de theorie-hoofdstukken en een gedifferentieerd gedeelte over onderzoeken, terwijl het ook een praktisch gedeelte kan bevatten (voor een suggestie zie bijlage D8).



LESSENPLAN

Hieronder staat een mogelijk lessenplan. Het is gebaseerd op 10 lessen voor "Bruggen" en één voor de inleiding op de derde klas. Dat is een vrij klein aantal lessen, waarin "Bruggen" met enige moeite redelijk tot zijn recht kan komen. Daardoor blijft er voldoende ruimte voor de behandeling van de andere thema's van de derde klas in het geval dat er maar twee lessen per week beschikbaar zijn. Laat u "Bruggen" uitlopen, dan komt u met de andere thema's in de knel.

	het gaat over....	er is nodig....	werkvorm
orientatie op de derde klas	- (hernieuwde kennis- making met leraar en leerlingen		klasgesprek
les 0	- wat deden we in de 2e klas	jaarplan 3e klas (voor de leraar)	
	- wat gaat er in de 3e klas gebeuren		
	- eventuele aandachtspunten, bijv. opzetten onderzoek, groepswork	inleidend deel uit "Bruggen"	"Bruggen" uitdelen en doorbladeren
	- een brug of hijskraan uit de buurt schetsen		huiswerk
orientatie op Bruggen	- de functie van bruggen	- de tekeningen van bruggen en hijskranen	- in groepjes de brug- soort bepalen
les 1	- de vorm	- orientatiedeel van het leerlingenboek	- klasgesprek
	- de bouwmaterialen	- eventueel diaserie of film	
	- uitzetting		
	- opdracht 3 maken		- huiswerk
theorie	- materiaalspanning	- theorie hfdst. 1	- leergesprek
les 2 en 3	- stevigheid en vorm	- theorie hfdst. 2	- proeven doen
	- opdrachten maken	- theorie hfdst. 3	(bijv. cirkelpraktikum)
			huiswerk
les 4 en 5	- samenvatting hoofdstuk 1 en 2		leergesprek
	- gewicht en tegen- wicht	- theorie hfdst. 3-en 4	- groepsgewijs proeven doen (evt. cirkel- praktikum)
	- stabiliteit		- leergesprek of rapportage
	- samenvatting		- huiswerk
	- opdrachten maken		
onderzoek-	- onderzoeken kiezen	- onderzoeksdeel	- groepswork
ken	- onderzoeksplan maken	- diverse materialen	
les 6 t/m 8	- bouwen en verbeteren	- leesteksten	
		- aanwijzingen over de voorbereiding van de rapportage	
rapportage	- rapporteren en luisteren naar rapportages	- kijk- en luisteraan- wijzingen geven	- groepsrapportage
les 9	- samenvatting: wat moet ieder van de rapportage weten?	- bord en krijt	- leergesprek
afron- ding	- proefwerk	- gezamenlijk deel over: theorie	
les 10		rapportages	
		- gedifferentieerd deel over onderzoeken	

LESSENPLAN

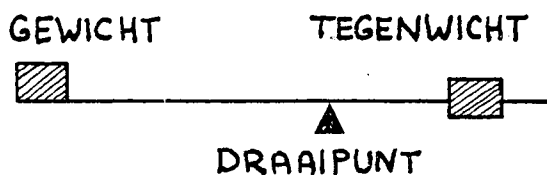
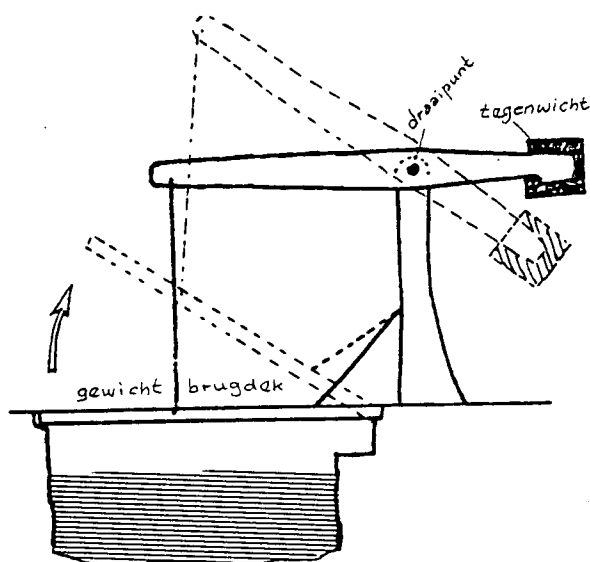
Uitbreiding van het lessenplan.

Er zijn veel uitbreidingen van het lessenplan mogelijk. De verschillende lesfasen kunnen wat meer tijd krijgen. Daarnaast kunnen ook andere activiteiten plaatsvinden of andere volgorden gekozen worden. Vaak zal dat ook meer lestijd kosten.

Als er meer dan twee lessen per week beschikbaar zijn, hoeft dat geen bezwaar te zijn.

1. Een uitgebreidere oriëntatie waarbij alle leerlingen een brug bouwen. Bij de onderzoeken kunnen enkele groepen er voor kiezen de bruggen verder te gaan verstevigen.
2. Alle leerlingen doen onderzoek 1, maar voor verschillende bruggen. Enkele proefjes uit de andere onderzoeken kunnen bij de behandeling van de theorie meegenomen worden.
3. Theorie en onderzoek wordt geïntegreerd: elk groepje krijgt de opdracht bij zijn onderzoek een passend theoriehoofdstuk (zie blz. 10) te bestuderen en daarover te rapporteren. Het is wél aan te raden het theoriehoofdstuk 1 door alle groepen te laten doen.

In dit lessenplan moet veel zorg worden besteed aan het voorbereiden van en luisteren naar de rapportages omdat de klas daar begrippen moet opdoen die ze zelf niet bestudeerd hebben.



1. ERVARINGEN

De ervaringen in de klas wijzen uit dat een strakke lessenplanning, heldere opdrachten voor de leerlingen en veel organisatorisch werk vereisten zijn om dit thema in 10 lessen klaar te krijgen.

Vaak komen de leerlingen er niet toe om een brug of hijskraan te verbeteren omdat het bouwen zelf al veel tijd vergt. Samenwerking met handvaardigheid kan hier mogelijkheden bieden, terwijl de leerlingen ook gestimuleerd kunnen worden thuis dingen te maken.

Het is in ieder geval aan te raden de leerlingen opdracht te geven werk-vragen te stellen over de brug, ook al hebben ze niet de tijd om die verder uit te werken.

Ook het maken van een goede onderzoeksplanning stelt (te) hoge eisen aan de leerling en de leraar. De leerlingen staan vaak te popelen om aan het werk te gaan. Als ze moeten wachten tot hun onderzoeksplan is goedgekeurd kan er veel tijd verloren gaan. Het verdient de aanbeveling om het maken van het onderzoeksplan te structureren, bijvoorbeeld zoals in "Werken met Water" (zie de AVOL van dat thema).

Leraren die het lessenschema van 10 lessen aangehouden hebben, hebben vaak de keus gemaakt niet veel aandacht te schenken aan de onderzoeksplanning en hebben de ervaring dat een aantal onderwerpen en problemen niet uitgediept kunnen worden. Aan de andere kant ervaren ze het als heel prettig dat de vaart er aan het begin van de 3e klas meteen in zit, dat door de afwisseling in thema's de aandacht van de leerlingen geboeid blijft en dat ze het programma van de 3e klas af kunnen krijgen.

2. TIPS

1. Het lijkt zinvol het jaar te beginnen met een oriëntatie op de 3e klas. Daarbij kan aan de orde komen:

- kennismaking met (nieuwe) leraar en nieuwe klasgenoten
- het doortrekken van lijnen uit de tweede klas zoals onderzoeken doen, groepswerk, beoordeling, huiswerk, opruimen, zelfstandigheid en dergelijke
- het programma voor de 3e klas:
Bruggen, Zien Bewegen, Geluid Weergeven, Water voor Tanzania, Energie Thuis, Energie in de Toekomst, eventueel aangevuld met de thema's die u gekozen heeft.

2. De inleiding uit het leerlingenboek "Bruggen" over het thema "Bruggen" is op veel momenten in de lessenserie te gebruiken. Zowel bij de oriëntatie op het thema, bij het kiezen van onderzoeken, bij het maken van een onderzoeksplan en onderzoeksvraag (les 6 van het lessenplan) als bij het proefwerk (wat kun je leren?)

DIDACTISCHE AANWIJZINGEN

3. Het is goed zo veel mogelijk aan te sluiten bij de plaatselijke situatie wat betreft bruggen en hijskranen. Dat kan door de leerlingen in groepjes als huiswerk een brug of hijskraan uit de omgeving te laten schetsen (zoek van te voren uit welke!) of door zelf een foto- of diaserie van bruggen en constructies uit de omgeving te maken. Alternatieven daar voor zijn: een film of diaserie lenen (zie blz. 86) of werken aan de hand van foto's uit het boek.
4. Het lijkt niet nodig dat de leerlingen de brugsoorten uit het orientatiedeel moeten kennen en op een proefwerk kunnen herkennen. Het gaat hier nog niet om (formeel) leren maar meer om interesse te wekken.
5. Het theorie-hoofdstuk 1 moet goed gedaan worden, want de leerstof daaruit is verderop telkens nodig. De brugvormen van theorie-hoofdstuk 2 kunnen veel globaler gedaan worden, want die kunnen bij de onderzoeken uitgebreider bekeken worden. Wellicht kan als huiswerk een samenvatting van theorie-hoofdstuk 2 gemaakt worden.
6. De theorie-hoofdstukken 3 en 4 kunnen groepsgewijs roulerend langs enkele proefopstellingen gedaan worden. Dat voorkomt een al te lang klassikaal stuk. Een mogelijke opdeling in stukken, die onafhankelijk van elkaar bestudeerd kunnen worden, zou kunnen zijn:
 - 3.1 met de proef 3.1 over de momentenwet
 - 3.2 en 3.3 met de momentenwet
 - 4.1 met proef 4.1 t/m 4.4
 - 4.2 met proef 4.5 t/m 4.7Elke groep zou een halve les over één zo'n stuk kunnen doen. Een alternatief is dat elke groep één les aan zo'n stuk besteedt en dat de volgende les een uitwisseling van de resultaten wordt georganiseerd.
7. Klassikaal kunnen de belangrijkste punten van de hoofdstukken 3 en 4 samengevat worden.
8. Het doen van een onderzoekje en het gebruik maken van de theorie daarbij is het belangrijkste onderdeel van dit thema. Er moet zo veel mogelijk voorkomen worden dat bij tijdsgebrek op dit punt beknipt wordt. Van dit deel gaat een belangrijke motivatie uit. Door de onderzoeken vooral te richten op verbeteren, hebben we geprobeerd te voorkomen dat bruggen bouwen ontaardt in veel doen, maar weinig denkend doen. Daarbij kan het opstellen van een onderzoeksplan van belang zijn. Er moeten eisen gesteld worden aan het uitvoeren van een onderzoek en de rapportage. De groepen moeten die eisen voor hun onderzoek specifiek invullen. Zo kan misschien voorkomen worden dat de leerlingen halverwege hun onderzoek niet meer weten waar ze naar toe aan het werken zijn. Door de eisen van het onderzoek te richten op het houden van de rapportage, kan het onderzoek een duidelijke richting krijgen en kan worden voorkomen dat de rapportage toch te weinig voorbereid is (en dat kost tijd!). Zie ook het verslag van het projectje "Leren van elkaar" dat als bijlage D1 op blz. 33 is opgenomen).

Voorbeeld.

Een groep doet onderzoek 2: het bouwen en belasten van een hijskraan.

De eisen zouden kunnen zijn:

- een hijskraan van papier en karton gebouwd hebben
- de hijskraan belast hebben: waar? hoeveel?
- aan kunnen geven wat het zwakste punt was en waarom dat punt het zwakst was
- aangeven hoe je dat punt hebt versterkt en waarom je dat op die manier deed
- hoe je bent verder gegaan met het onderzoek
- een tekening maken waar trek- en duwspanningen in je hijskraan werken

bij je rapportage moet je

- bovenstaande punten kort kunnen vertellen en demonstreren
- dat toelichten aan de hand van je zelfgebouwde hijskraan, die daarvoor klaar moet staan
- aan je klasgenoten vragen wat het zwakste punt van je (al versterkte) hijskraan is en hoe je dat punt verder zou moeten versterken
- zelf een juist antwoord op die vraag kunnen geven.

(Voor verdere uitvoeringseisen: zie bijlage D1.)

Het is echter mogelijk dat er van het onderzoeksplan aan het begin van het thema niet veel terecht komt omdat de leerlingen zo snel mogelijk willen bouwen. Als de brug of de hijskraan af is, kan je nogmaals de vraag naar een onderzoeksplan stellen: wat weet je nu, wat moet je nog meer doen voor je rapportage? Daarbij kan gebruik gemaakt worden van werkvragen, zoals in de inleiding op het leerlingenboek beschreven staat.

9. Het bouwen van bruggen kan gebeuren in de vorm van een wedstrijd. Dan moet er van te voren afgesproken worden aan welke eisen de brug moet voldoen. Bijvoorbeeld 7.5 cm rijbreedte, 50 cm lengte; materialen: touw, houtjes van bepaalde afmetingen, spijkers, triplex (of karton en papier).

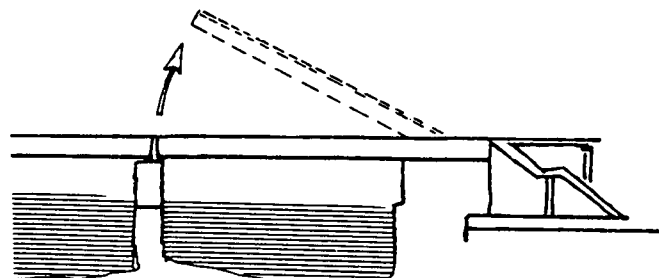
Het heeft echter geen zin om een opbaalbrug met die maten te maken.

Vergelijkbaar zouden zijn:

- tuibrug
- hangbrug
- vakwerkbrug
- boogbrug (onder/boven)

Vergelijkbare beweegbare bruggen kunnen zijn:

- hefbrug
- draaibrug
- ophaalbrug
- basculebrug



DIDACTISCHE AANWIJZINGEN

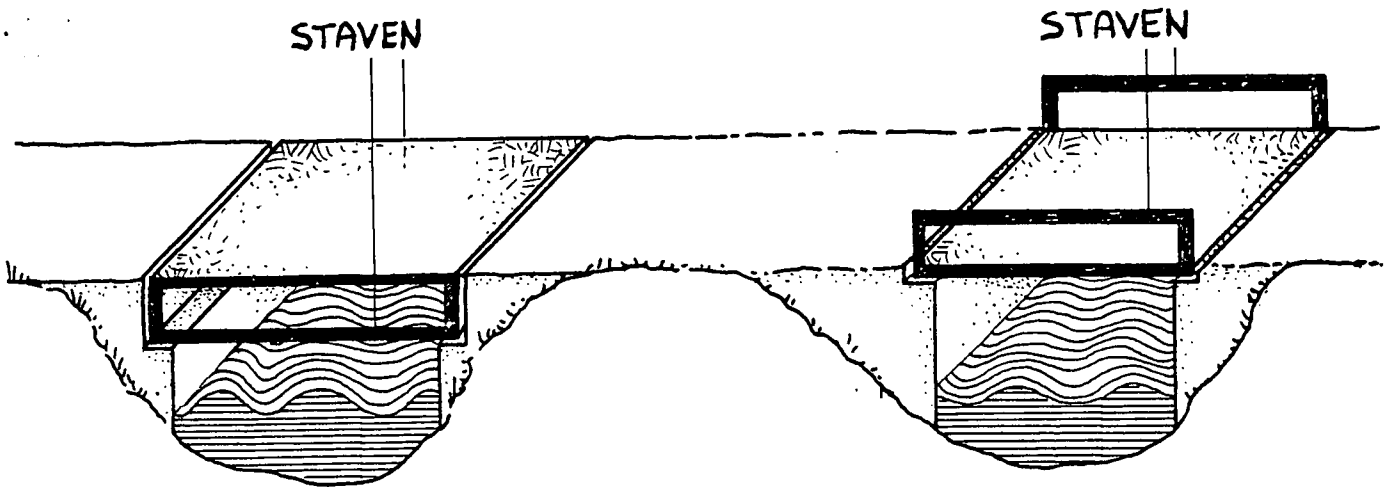
10. De rapportages kunnen vanwege de vrij korte tijd niet erg uitgebreid zijn. U kunt er voor kiezen slechts enkele groepen te laten rapporteren, of alle groepen kort laten rapporteren, bijvoorbeeld alleen over de aangebrachte verbetering en de werkvraag waar die uit voortgekomen is.
11. Uit het projectje "Leren van Elkaar" (zie bijlage D1 op blz. 33) zijn een aantal aanwijzingen voor het houden van een demonstratie of rapportage te halen.
 - Voor een goede rapportage is het nodig dat de leerlingen goed weten wat ze moeten onderzoeken en het onderzoek vanaf het begin al gericht is op de rapportage (zie het eerder gegeven voorbeeld).
 - De rapportages, en dus ook de onderzoeken, moeten gebonden zijn aan duidelijke eisen.
 - De leerlingen moeten, tijdens het onderzoek als voorbereiding op de rapportage, er toe gezet worden zich af te vragen of ze aan de gestelde eisen voldoen.
 - Als de tijd voor rapporteren beperkt is, kan slechts over een deel van het onderzoek gerapporteerd worden.
 - Voorkom te lange voorbereidingstijd van de rapportagegroep waarop een hele klas moet wachten.
 - Zorg voor een activiteit waardoor de leerlingen na de demonstratie kunnen laten zien wat ze ervan opgestoken hebben.
 - Houd rekening met allerlei groepsprocessen tijdens de demonstratie (de populaire figuur, verlegenheid, giebelen, zie ook het verslag in bijlage D1).
 - Geef de rapportage een kader mee: leren van elkaar; de rapportage wordt dan serieus genomen.
 - Er zijn ook andere rapportagemogelijkheden dan demonstreren, bijvoorbeeld muurkranten, tentoonstelling.
 - Voorkom dat er veel rumoer komt na de demonstratie, door het opruimen van het demonstratiemateriaal aan het eind van de les te laten plaatsvinden.
 - Het beoordelen van een rapportage door de klas verhoogt de betrokkenheid van de klas bij het luisteren.
 - Vat aan het einde van een rapportage of enkele rapportages samen (de groep kan dat ook zelf doen) wat alle leerlingen moeten weten (bijv. voor proefwerk).
12. Het proefwerk kan bestaan uit een gemeenschappelijk deel (theorie en belangrijkste punten van de rapportages) en een gedifferentieerd deel (vragen over het onderzoek dat een leerling gedaan heeft). Het is aan te raden vragen te stellen over de onderzoeksaanpak. De leerlingen zien dat niet alleen de fysisch-inhoudelijke, maar ook de methodische kanten (bijv. een werkvraag stellen) belangrijk zijn. Dat kan ook voorkomen dat er bij de onderzoeken veel gedaan maar weinig gedacht wordt.

Als u in het proefwerk nog meer een indruk wilt krijgen van de affectieve leerwinst van de leerling en/of van de rol waarin hij/zij zich al dan niet lekker heeft gevoeld bij het onderzoek, dan zijn open vragen het meest geschikt (waarbij de leerling zijn/haar verhaal kwijt kan).

DIDACTISCHE AANWIJZINGEN

Bijvoorbeeld: hoe zou jij het onderzoek aanpakken als je in plaats van een brug een hijskraan moet bouwen? Of: vertel wat je nu nog meer zou willen weten over de tuibrug die je gebouwd hebt. Zeg er ook bij hoe je daarachter zou kunnen komen.
Dit soort vragen (door het hele jaar heen) kan misschien informatie leveren die gebruikt kan worden bij de advisering aan het eind van de derde klas.

Staven zijn beter bestand tegen trek dan tegen druk.
Welk brugdek is steviger?



DOELEN VOOR LEERLINGEN

Het is de bedoeling dat leerlingen *tijdens* "Bruggen"

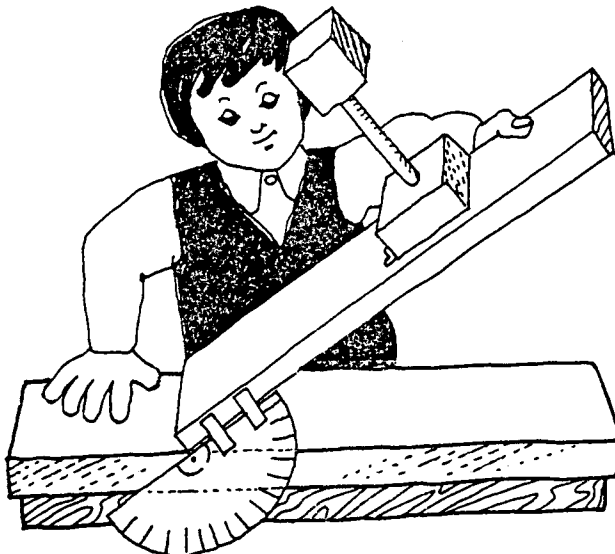
- leren een aantal fysische vragen te stellen naar de vorm en functie van voorwerpen uit hun directe omgeving zoals bruggen en andere constructies
- vervorming van constructieonderdelen in verband kunnen brengen met de belasting van de constructie
- onderscheid kunnen maken in trek- en duwspanning.
- de vorm van een constructie en het gebruikte constructiemateriaal in verband kunnen brengen met trek- en duwspanningen.
- de momentenwet in eenvoudige situaties kunnen toepassen op bruggen en andere constructies
- de begrippen evenwicht en stabiliteit en het verschil daartussen leren kennen
- aan de hand van werkvragen en een planning een onderzoek doen naar aspecten van bruggen en constructies.

en verder:

- plezierig met elkaar en met de leraar werken
- aangezet worden om met hand, hart en hoofd aan iets te werken.

Het is de bedoeling dat leerlingen *na* "Bruggen"

- vaardigheden als pakken en opbergen, werken in groepen, onderzoek doen, rapporteren en naar rapportages luisteren uit de tweede klas weer opgepikt hebben en kunnen gebruiken in de derde klas
- zich het werken met de begrippen trek- en duwspanning, momentenwet en stabiliteit eigen gemaakt hebben
- zin hebben om met natuurkunde door te gaan in de derde klas.



proefopstelling onderzoek stabiliteit

DOELEN VOOR DE LERAAR

Het is de bedoeling dat de leraar *voor* en *tijdens* "Bruggen":

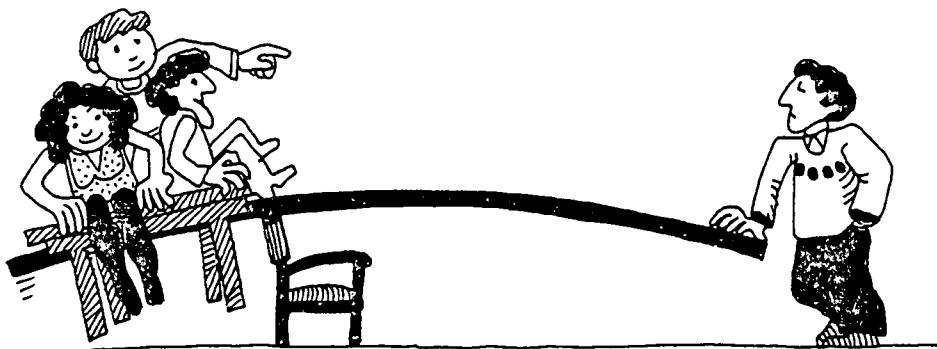
- een lessenplan maakt voor zijn lessen en leerstof- en vaardigheidsdoelen kiest die met dat lessenplan gerealiseerd kunnen worden
- op een afwisselende manier de gekozen leerstof en leerling-activiteiten aan bod laat komen
- bijhoudt of laat bijhouden wat elke leerling/elke groep doet in de lestijd en of daarbij vooruitgang geboekt wordt
- zijn wisselende rollen als begeleider, organisator van het leerproces, bron van kennis, het geven van feed-back en het beoordelen duidelijk maakt en vormgeeft in verschillende leraarsactiviteiten
- de leerlingen stimuleert om zich veelzijdig te ontwikkelen en te oriënteren op de omgeving buiten de klas.

En verder

- met plezier met de leerlingen werkt.

Het is de bedoeling dat de leraar *na* "Bruggen":

- zin heeft om met de natuurkundelessen verder te gaan
- van de leerlingen en van de klas als geheel een indruk heeft van de wijze van werken die hen het meeste aanspreekt en van de vaardigheden die ze wel en niet beheersen
- een paar voorbeelden kan beschrijven van momenten/klasesituaties waarin hij naar eigen indruk goed funktioneerde en van situaties waarin hij achteraf gezien anders had willen functioneren.



BOEKEN EN AV-MEDIA

1. DE SCHOOLBIBLIOTHEEK

In het lessenplan voor PLON-thema's is nogal eens tijd uitgetrokken voor zelfgekozen en zelfstandig onderzoek door leerlingen. Het ontwikkelde lesmateriaal is op zich zelf natuurlijk niet voldoende om het thema tot zijn recht te laten komen. Daarom is het gewenst dat de leerlingen een beroep kunnen doen op aanvullende informatie: boeken, tijdschriften en brochures, videocassettes en TV-programma's e.d. Ook in de krant is vaak van allerlei te vinden. Ideaal is het natuurlijk als de sectie op de school geleidelijk een schoolbibliotheek opbouwt.

Wilt u zich daarover informeren dan kunt u ideeën vinden in het rapport "Schoolbibliotheekwerk voor avo-vwo", te bestellen door overmaking van f10,80 op gironummer 1025933 onder vermelding van nota avo-vwo bij:

Provinciale Bibliotheekcentrale
Statenlaan 4
5000 LA Tilburg
tel. 013-685951

Bent u zover nog niet - en veel scholen zijn nog niet zover - dan is het soms mogelijk om een beroep te doen op dienstverlening vanuit de openbare bibliotheken.

2. DIENSTVERLENING VANUIT DE OPENBARE BIBLIOTHEEK

Voor aanvullende informatie op de PLON-pakketten kunnen scholen een beroep doen op de dienstverlening van de Nederlandse Openbare Bibliotheken. In principe kan die dienstverlening (als het om "PLON-zaken" gaat) inhouden:

- a. literatuurlijsten en thematische knipselkranten. Daarin worden boeken, films, tijdschriftartikelen etc. gesignaleerd die bruikbaar zijn als aanvulling op de natuurkunde-thema's. De thematische knipselkranten bevatten bovendien enkele artikelen of folders. In eerste instantie zal de school voor deze lijsten moeten aankloppen bij de eigen bibliotheek-instantie (voor adressen zie onder b).
Als een school tevergeefs bij een bepaalde schoolbibliotheekinstantie aanklopt, kan zij een beroep doen op:
Het Nederlands Bibliotheek- en Lectuur Centrum
t.a.v. M. Bartling
Taco Scheltemastr. 5
Postbus 93054
2509 AB Den Haag
tel. 070-264351

Een voorbeeld van een literatuurlijst over bruggen is opgenomen als bijlage AV2, pag. 88.

b. Uitlening.

Het al dan niet gratis uitleenen van de boeken, tijdschriften-artikelen e.d. van bovengenoemde lijsten in de vorm van zogenaamde projectcollecties.

Het is volledig van de plaatselijke omstandigheden (mankracht etc.) afhankelijk, hoever een bepaalde bibliotheekinstantie gaat met zijn dienstverlening. De school zal daar zelf naar moeten informeren en wel:

- bij de schoolbibliotheekdienst (SBD) van de plaatselijke openbare bibliotheek als de school gevestigd is in een plaats met meer dan 30.000 inwoners;
- bij de schoolbibliotheekdienst van de Provinciale Bibliotheek Centrale (PBC) als de school zich bevindt in een plaats met minder dan 30.000 inwoners. Voor deze plaatsen werkt de PBC namelijk als koepelorganisatie. In Nederland kennen we de volgende PBC-en:
 - Provinciale Bibliotheek Centrale voor Drenthe, Brunelstraat 77, 9404 KB Assen, Postbus 78, 9400 AB Assen, tel. 05920-12662
 - Stichting Centrale Bibliotheekdienst voor Friesland, Curacaustra 2-1, 8931 CV Leeuwarden, Postbus 530, 8901 BH Leeuwarden, tel. 05100-32215
 - Stichting Provinciale Bibliotheek Centrale Gelderland, Reigerstraat 30, 6883 ES Velp, Postbus 136, 6880 BH Velp, tel. 085-629229
 - Stichting Provinciale Bibliotheek Centrale Groningen, Atoomweg 2, 9743 AK Groningen, Postbus 2503, 9704 CM Groningen, tel. 050-183334
 - Stichting Provinciale Bibliotheek Centrale Limburg, Godsweeder-singel 32-34-36, 6401 GL Roermond, Postbus 157, 6040 AD Roermond, tel. 04750-16741
 - Stichting Gemeenschappelijke Provinciale Bibliotheek voor Noord-Brabant, Statenlaan 4, 5042 RX Tilburg, Postbus 90114, 5000 LA Tilburg, tel. 013-685951
 - Stichting Gemeenschappelijke Provinciale Bibliotheek Centrale Noord Holland, Hofplein 1, 1811 LE Alkmaar, Postbus 116, 1800 AC Alkmaar, tel. 074-663115
 - Provinciale Bibliotheek Centrale voor West-Overijssel, Boerendanserijk 40, 8024 AJ Zwolle, Postbus 10068, 8000 GB Zwolle, tel. 05200-32031
 - Stichting Federatieve Provinciale Bibliotheek Centrale Zeeland, Rozenburglaan 89, 4337 JB Middelburg, tel. 01180-37160
 - Stichting Verenigde Provinciale Bibliotheekcentrales voor Zuid-Holland, Westfrankelandsewijk 1, 3115 HG Schiedam, tel. 010-730033
 - Christelijke Provinciale Bibliotheek Centrale Zuid-Holland, Constantijn Huygenslaan 43, 3351 XA Papendrecht, Postbus 85, 3350 AB Papendrecht.

BOEKEN EN AV-MEDIA

3. VERDERE LITERATUUR

Er bestaat interessant buitenlands onderwijsmateriaal over bruggen. Een aantal titels daarvan vindt u in bijlage AV2. Die boekjes zijn bij het PLON in te zien.

Er zijn ook veel folders e.d. over bruggen bij het PLON in te zien. Zie daarvoor bijlage AV2.

4. SAMENWERKING MET HET NBLC EN HET NIAM

In samenwerking met het PLON heeft het NBLC lijsten gemaakt met boeken, dia's, films, tijdschriften artikelen en dergelijke, die bruikbaar zijn als aanvulling op de thema's.

Inlichtingen bij:

Het Nederlands Bibliotheek- en Lectoriumcentrum
t.a.v. M. Bartling
Taco Scheltemastraat 5
Postbus 93054
2509 AB Den Haag
Tel. 070-264351.

In samenwerking met het NIAM heeft PLON-proefschoolleraar Theo Boks een aantal films uitgezocht bij verschillende thema's. Op de volgende bladzijden vindt u zijn lijst voor het thema "Bruggen", waarin hij korte omschrijvingen en gebruikssuggesties geeft van enkele toepasselijke films.

INLEIDING.

Bij elk PLON-thema is een lijst gemaakt van mogelijk te gebruiken films en/of video-banden, die te verkrijgen zijn bij:

NIAM

Sweelinckplein 33
2502 JK Den Haag
Tel. 070-600924.

TFC

Arnhemsestraatweg 17
6881 NB Velp (Gld)
Tel. 085-629188.

De nummers *voor* de films/video-banden zijn die van het NIAM; staat er achter de titel de opmerking - video -, dan betekent dit dat de film ook op video beschikbaar is. De nummers van het TFC zijn *achter* de titels vermeld.

De volgorde waarin de films/video-banden staan vermeld, geven een voorkeur voor het gebruik aan: hierbij dient opgemerkt te worden dat de keuze, bij het nastreven van bepaalde doeleinden, niet automatisch op de eerste films/banden hoeft te vallen.

Voor de 3e klas: BRUGGEN

Bruggen in Holland	TFC 8065
Elementen trotseren elementen	TFC 118555
De Brug door Joris Ivens	

<u>Bruggen in Holland.</u>	TFC 8065
16 mm film-kleur-geluid-21 min.-19.. -geen commentaar	

Inhoud:

Waterrijk Nederland is een bruggenbouwend land bij uitstek. Via ophaal-bruggen, draaibruggen, pittoreske bruggetjes en gigantische overspanningen heeft Nederland door de eeuwen heen met succes gezocht naar de meest economische verbinding met de "overkant".

De film geeft een karakteristiek beeld van Nederland door de seizoenen; het rustieke platte land en de grote havens.

Toepassing:

De sfeer in de film geeft een goed beeld van de vele soorten Nederlandse bruggen. De film is een prima inleiding voor het thema.

<u>Elementen trotseren elementen</u>	TFC 118555
16 mm film-kleur-geluid-30 min. -19..	

Inhoud:

Een verslag van het ontwerp en de bouw van de 5 km lange Zeeland-brug over de Oosterschelde. Na de ontwerpfase zien we hoe de betonnen elementen worden gegoten, getransporteerd en geplaatst.

Het project is in ca. 2 jaar voltooid, met als resultaat een sierlijke betonnen brug die het water overspant.

Toepassing:

De film kan gebruikt worden als inleiding op het thema of als een aanzet naar een project om na te gaan waarom een brug ergens gebouwd is en welke eisen er aan deze brug gesteld zijn: vorm, materiaal, aantal rijbanen, overspanning, doorvaart-hoogte, beweegbaarheid enz.

<u>De brug, door Joris Ivens.</u>	
De film is een uitgave van het Nederlands Filmmuseum te Amsterdam. Adres: Vondelpark 3. Tel. 020-831646.	
16 mm film-zw/wit-stom-11 min.-1928	

Inhoud:

De film behandelt de spoorbrug in Rotterdam over de Koningshaven als verbinding tussen de twee stadsdelen. Er worden beelden getoond van de karakteristieke hef-torens.

Toepassing:

De film geeft een impressie van de functie van een brug, bruikbaar als inleiding op het thema.

EXCURSIES

Het is mogelijk een excursie te maken naar bruggen in aanbouw of reeds voltooide bruggen of waterwerken.

Aanvragen bij: ing. P.C. Romijn/afd. voorlichting
Rijkswaterstaat - directe bruggen
Kon. Julianalaan 372
Voorburg
tel. 070-694131

Een excursie moet 3 à 4 weken van te voren aangevraagd worden bij bovenstaand adres.

Het aantal deelnemers is beperkt tot 20 à 30 (hoogstens, de directieketen zijn nogal klein!).

Het programma zal globaal zijn:

- ontvangst, koffie
- verhaal over de werken
- gelegenheid tot vragen stellen (tesamen $+1\frac{1}{2}$ uur)
- rondleiding langs de werken (1 à $1\frac{1}{2}$ uur)

De volgende werken kwamen in het jaar 1981/1982 in aanmerking voor een excursie:

- Stichtse brug over het Gooimeer tussen Huizen en Almere (in aanbouw; vrije voorbouwmethode - voorgespannen beton)
- tweede brug over de IJssel bij Kampen (in aanbouw; stalen tuibrug)
- brug over de Maas bij Heumen (dicht bij Nijmegen) (in aanbouw; vrije voorbouw-methode, voorgespannen beton)
- Neerbosche brug over het Maas-Waalkanaal bij Nijmegen (in aanbouw; vrije voorbouw-methode, voorgespannen beton)
- bezoek aan de baskule-kelders en het bedieningshuis van de Van Brienenoordbrug in Rotterdam
- bezoek aan de stormvloedkering in Capelle aan de IJssel. Dit is goed te combineren met een bezoek van de Van Brienenoordbrug.
- bezoek aan de sluizen in het Haringvliet.

TENTOONSTELLING "BRUGGEN"

Bij de vakgroep Staalconstructies (afd. Civiele techniek, T.H. Delft) is een tentoonstelling over (vooral Franse) bruggen te leen (alleen transport is voor eigen kosten). De tentoonstelling bestaat uit 55 panelen van 80 cm x 100 cm.

Informatie bij: Vakgroep Staalconstructies
afd. Civiele techniek T.H. Delft
t.a.v. de heer H. de Jong
of de heer R. Lutke Schipholt
Stevinweg 1
Delft
tel. 015-783705/
781741

LERARENVRAGENLIJST

*We zijn benieuwd naar uw ervaringen met het thema "Bruggen".
Uw opmerkingen, commentaar en ervaringen kunnen we verwerken
in toekomstige publikaties en leraarsadvisering.
We zouden het daarom erg op prijs stellen als u onderstaande
vragenlijst ingevuld toe zou willen sturen aan het
PLON*

*Lab. Vaste Stof
t.a.v. T. v.d. Valk
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht.*

*Lees de vragenlijst eerst in grote lijnen door, dan krijgt u
een indruk hoe u de lijst economisch kunt invullen, terwijl
u toch uw enthousiasme en uw kritiek kwijt kan.*

OVER DE LERAAR EN DE SCHOOL

Naam leraar

Naam school Plaats

Leservaring natuurkunde: . . . jaar, waarvan . . . jaar met PLON.

In welke klassen (leerjaar/schooltype) heeft u les gegeven met
"Bruggen"?

Hoeveel leerlingen waren dat in totaal?

"Bruggen" leerlingen

LERARENVRAGENLIJST

VRAGEN OVER "BRUGGEN"

I Het thema "Bruggen in grote lijnen"

We zijn geïnteresseerd in de grote lijnen volgens welke uw lessen verlopen zijn en hoe dit ging. Het gaat om de grote lijnen die u zelf onderscheidt. Begin eerst in de linkerkolom de activiteiten op te schrijven die u als afzonderlijke gehelen in uw lessen ziet. U kunt, als u dat wilt, de fasen oriëntatie tot en met evaluatie aanhouden

aktiviteit/werkvorm/materiaal		bedoelingen/ervaringen
Oriëntatie-fase onderdelen:	aantal lessen	
Theorie-fase onderdelen:		
Onderzoeksfase onderzoek:		

LERARENVRAGENLIJST

aktiviteit/werkvorm/materiaal		bedoelingen/ervaringen
Rapportage-fase onderdelen:	aantal lessen	
Evaluatie-fase (afronding) onderdelen:		

Waar hebt u andere accenten/invullingen (dan in de AVOL genoemd) aan het thema "Bruggen" gegeven? Hoe waren hiervan de resultaten?

.....

.....

.....

.....

.....

Heeft u nog een van de in de AVOL aangestipte alternatieve lessen-plannen uitgetoetst? Hoe waren uw ervaringen hiermee?

.....

.....

.....

.....

LERARENVRAGENLIJST

II Enkele vragen over een aantal activiteiten uit de lesfasen

We zijn erg benieuwd naar uw ervaringen met betrekking tot een aantal (leerling)activiteiten die anders of nieuw zijn vergeleken met de vorige versie van "Bruggen". Misschien zijn ondergenoemde activiteiten echter niet aan de orde geweest in uw lessen. Probeer in dat geval waar mogelijk aan te geven welke overwegingen u hebt gehad om de activiteit niet plaats te laten vinden.

Oriëntatiefase

Kunt u iets vertellen over uw bevindingen met het tekenen van bruggen door de leerlingen (kwaliteit van de tekeningen, tijd die er voor nodig was). *We zouden het erg op prijs stellen als u één of twee tekeningen van de leerlingen met deze vragenlijst opstuurt.*

Vindt u dat het tekenen van bruggen een goede oriëntatie geeft op de rest van het thema?

Onderzoeksfase

Onderzoeksplan

Welke aspecten werden in het onderzoeksplan door u benadrukt?

Hoe hielden de leerlingen zich in het algemeen aan het onderzoeksplan?

Vindt u dat een onderzoeksplan de kwaliteit van de onderzoekjes (en eventueel de rapportage) verhoogt? Zo ja, in welk opzicht?

LERARENVRAGENLIJST

Werkvragen

Bleken leerlingen goed in staat om werkvragen bij de onderzoekjes te stellen? Licht uw antwoord eens toe (geef een paar goede voorbeelden van door leerlingen gestelde werkvragen)

Denkt u dat het aan de onderzoekjes voorafgaan van de theorie nog van invloed was de soort werkvragen en/of het gemak waarmee leerlingen werkvragen stelden? Indien ja, in welke zin dan?

Rapportagefase

Welke eisen stelde u met betrekking tot de rapportages.

1. aan de rapporteurs -----

2. aan de klas (toehoorders) -----

Hoe verliepen voorbereiding en uitvoering van de rapportages?

Welke functie hadden de rapportages bij het beoordelen van de leerlingen?

LERARENVRAGENLIJST

Evaluatie-fase

Op basis van welke activiteiten werden de leerlingen beoordeeld?
(rapportage, proefwerk e.d.)

Over welke onderwerpen ging het proefwerk? *We zouden het zeer op prijs stellen als u twee ingevulde proefwerken - een goede en een slechte - met de vragenlijst mee stuurt.*

Welke consequenties hadden de verschillende onderzoekjes die leerlingen deden en/of de rapportages op vorm en inhoud van het proefwerk?

Is er een verband waar te nemen tussen keuze van onderzoek en het bereikte nivo (gebaseerd op het proefwerkcijfer en uw eigen indruk)?

III Over leerervaringen

Algemeen

Wat zijn, naar uw idee, de belangrijkste leerervaringen geweest die de leerlingen tijdens het werken aan dit thema hebben opgedaan?

LERARENVRAGENLIJST

Vindt u deze leerervaringen voldoende, of zou u een volgende keer andere leerervaringen meer centraal willen stellen? Zo ja, welke?

Meer specifiek

Zijn de begrippen trek- en duwspanningen verhelderend voor de leerlingen? Waaruit blijkt dat?

Komen leerlingen tot een juist besef inzake het verschil tussen de begrippen stevigheid en stabiliteit?

Wordt het begrip kracht door leerlingen in het thema "Bruggen" gemist? Zo ja, waar komt dat tot uiting?

IV Tenslotte

Welke andere opmerkingen met betrekking tot het thema "Bruggen" kunt u nog maken?

Hebt u nog suggesties voor bijstellingen aan en/of invulling van de AVOL?

LEREN VAN ELKAAR: een onderzoeksproject op het Ashram College

INLEIDING

Leren van elkaar is een projectje dat door Rob Merkus (leraar natuurkunde op het Ashram College in Alphen a/d Rijn in 1979 werd gestart en waaraan Bruce Pelupessy en Bas de la Parra (beide PLON) door mee te denken participeerden.

De uitgangsgedachte bij Rob was: "wat de leerling geleerd heeft moet hij ook kunnen overdragen aan andere leerlingen zodanig dat zij op hetzelfde nivo komen als hij". Hij koos daarbij voor spreekbeurten met demonstraties (DEMO's) als de wijze waarop een groepje leerlingen het door hen geleerde aan de klas zou moeten overdragen. De start van het project vond plaats in september 1979 bij het eerste derde klas thema "Bruggen" (oude versie). De activiteiten die door de PLONners in het kader van het project sindsdien zijn uitgevoerd, bestonden uit het maken van video-opnamen van onder andere twee demo's en het bekijken en het bespreken van deze video-opnamen met als oogmerk het identificeren van een aantal processen die van belang zijn voor het slagen van de demo's.

In de volgende paragrafen geeft Rob Merkus een beschrijving van de organisatie van het thema "Bruggen" en geeft vervolgens in kort bestek de belangrijkste punten weer die in de bespreking van de video-opnames aan de orde kwamen.

ORGANISATIE VAN HET THEMA "BRUGGEN"

Inleiding

Het thema "Bruggen" is voor deze lessen-serie gesplitst in 8 deelaspecten. Elk deelaspect werd door een groepje uit de klas onderzocht en bestudeerd op een zodanige wijze dat ze hun belangrijkste conclusies aan de klas kunnen uitleggen. Dit gebeurde in de vorm van spreekbeurten met demonstraties. De deelaspecten hadden een bepaalde volgorde, gebaseerd op een logische natuurkundige opbouw. Tijdens de lessen bleek dat dit problemen opleverde met betrekking tot de voorkennis die ontbrak bij leerlingen die de laatste onderzoeken deden.

Deze onderzoeksperiode duurde vier lessen.

Ook bleek dat de leerlingen niet goed wisten wat ze moesten onderzoeken en hoe ze het in de presentatie moesten verwerken. Daarom heb ik bij elk deelaspect een leerlingenhandleiding geschreven waarin staat aangegeven welke vragen onderzocht moeten worden en hoe deze gepresenteerd kunnen worden.

BIJLAGE D1

Spreekbeurten

Voor de spreekbeurten zijn zes lessen gereserveerd. De les voorafgaand aan de eerste spreekbeurt heb ik met de klas een aantal criteria ontwikkeld waaraan een spreekbeurt moet voldoen.

Deze criteria waren:

1. de natuurkundige inhoud moet juist zijn
2. de spreekbeurt moet technisch goed zijn uitgevoerd
 - goed zichtbaar
 - goed hoorbaar
 - goede werkverdeling over de groepsleden
 - de spreekbeurt moet logisch zijn opgebouwd
3. de spreekbeurt moet boeiend zijn:
 - afwisselend
 - spannend
 - er moet een showelement in zitten.

Afgesproken werd dat ik de juistheid van de natuurkundige inhoud zou beoordelen en eventueel corrigeren. Tussen de twee andere aspecten mocht de groep zelf kiezen waarop ze beoordeeld wilden worden. Deze beoordeling werd door een andere groep gedaan. Andere aspecten mochten niet beoordeeld worden. Wel zijn individuele groepsleden nog door andere individuele leerlingen beoordeeld op hele open criteria. Het aanwijzen van de beoordelaars ging op basis van vrijwilligheid.

De lessen

Het lessenplan was als volgt ingedeeld:

- les 1 Introductie van het onderwerp aan de hand van enkele eenvoudige modellen. Benoemen van duw- en trekkrachten en termen uit de bruggenbouw. Korte uitleg over het doel van de onderzoeken: iets onderzoeken en lezen zodat je duidelijk aan de klas kunt uitleggen. Tijdens de spreekbeurten voor de klas moet de klas een duidelijk beeld krijgen van wat ze moeten weten. De onderzoeken verdelen over de groepjes
- les 2, 3, Het doen van onderzoeken:
- 4, 5 Groep 1: bouwen van een vakwerkbrug. De bedoeling is dat tijdens deze spreekbeurt een intuïtief beeld van het begrip "kracht" wordt aangebracht (denk aan kracht en tegenkracht, kracht en uitrekken/indrukken/vervormen)
- Groep 2: Bouwen van een hangbrug. Hier is de bedoeling dat de kracht nader wordt omschreven door middel van symbool, eenheid en vektor voorstelling.
- Groep 3: Bouwen van een tuibrug. In de demo moet terugkomen hoe krachten kunnen worden samengesteld en ontbonden.
- Groep 4: Verstevenigen van een brug. Duidelijk moet worden hoe je al redenerend met krachten constructieregels kunt vinden die een brug sterk maken.

BIJLAGE D1

- Groep 5: Stevigheid van deelconstructies. Net als groep 4 maar dan toegepast op deelconstructies.
- Groep 6: Gewicht en tegengewicht. Het begrip kracht wordt uitgebreid en evenwicht van momenten wordt uitgelegd aan de hand van een hijskraan.
- Groep 7: Stabiliteit. Uitgelegd moet worden wat zwaartepunt is en waarom een voorwerp al of niet stabiel staat.
- In les 5 moet de spreekbeurt voorbereid worden en doorgesproken met de leraar.
- les 7, 8, 9, 10, 11 Alle spreekbeurten worden gehouden. Eventueel wordt na een spreekbeurt een klassediscussie over het onderwerp gehouden.
- les 12, 13 Leerlingen gaan in groepjes hun omgeving verkennen en brengen verslag uit van constructies die ze hebben gezien en herkend.
- les 14 Leerlingen maken een oefentoets. Geen cijfer
- les 15 Toets

Verloop van de lessen

- les 1 Het was moeilijk de leerlingen duidelijk te maken wat de belangrijke rol van spreekbeurten was, dit bleek ook later uit de vragen hierover.
- les 2, 3, 3, 5 Sommige onderzoeken kwamen moeilijk van de grond. Na 2 lessen heb ik aanwijzingen bij elk onderzoek uitgedeeld. Toen ging het duidelijk beter. Maar bij les 5 (voorbereiding spreekbeurt) bleken ook deze aanwijzingen tekort te schieten. Met name groep 2, 3 en 6 hadden moeite met de natuurkundige inhoud. Er is mij niet gebleken dat het moeten houden van een spreekbeurt een motiverende werking heeft gehad. Ook bleek het onderzoek niet te worden uitgevoerd met het doel de inhoud aan de klas te kunnen meedelen, deze werkwijze was de leerling vreemd. Slechts na herhaald aandringen was men bereid de voorbereiding serieus te nemen.
- les 6 t/m 11 Zie hiervoor ook "spreekbeurten"
- De spreekbeurten waren wisselend van kwaliteit. Ik had de indruk dat het meer met het improvisatie-talent van de leerlingen te maken had dan met opgedane kennis. Ook het rendement was matig, de leraar moest na afloop nog vele vragen beantwoorden. De spreekbeurten duurden lang vanwege langdurige praktische voorbereiding, leerlingen hadden zich daarop slecht voorbereid tot mijn ergernis. De beoordeling ging redelijk, de leerlingen waren wel "lief" voor elkaar, weinig persoonlijke kritiek. Wel was er de neiging voor groepen die net hun spreekbeurt beoordeeld hadden gezien, om "wraak" te nemen door zich vrijwillig op te geven als beoordelaar.

BIJLAGE D1

Blijkbaar is dit een zeer emotioneel aspect van een spreekbeurt. Mij bleek ook dat de leerlingen slecht uit de voeten konden met ontwikkelde beoordelingscriteria (meestal werd punt 2 hiervan gekozen).

Ze zeiden al gauw dat het goed was, misschien ook omdat ze de criteria niet goed begrepen.

- les 12, 13 Deze zijn niet uitgevoerd vanwege tijdsgebrek. De vorige lessen waren uitgelopen.
- les 14 De oefentoets in de vorm van een opdracht/vragen circus. Dit ging erg goed en leuk, er hing een ongedwongen atmosfeer waarin alles nog eens verwerkt werd.
- les 15 Toets, redelijke resultaten. Enkele toetsvragen kwamen niet goed uit de verf.

ONDERWERPEN DIE IN DE DISCUSSIES NAAR AANLEIDING VAN DE VIDEO-OPNAMEN AAN DE ORDE KWAMEN

1. Het voorbereiden van de demo's

Bij het houden van de demo's bleken de leerlingen nogal veel voorbereidingstijd nodig te hebben (materiaal bij elkaar pakken, maken van de proefopstelling), met als gevolg dat de rest van de klas zit te "rotzooien": leerlingen beginnen elkaar verhalen te vertellen - die niet direct afgebroken kunnen worden op het moment dat de demo kan beginnen - , of maken opmerkingen of ginnegappen ten aanzien van de demonstratiegroep of beginnen hun boeken op te bergen. Ook de beoordelingscriteria (zie onder) die door de leraar tijdens de voorbereiding van de demo op het bord worden geschreven en die de klas moet doorlezen tijdens de voorbereiding van de groep, krijgen in deze periode geen aandacht zodat op het moment dat de groep haar demo wil beginnen, de klas "plots" de criteria nog moet doorlezen. Kennelijk voelt de klas zich niet verantwoordelijk voor de demo's, is ze niet uit op het verkrijgen van informatie, niet gericht op leren van elkaar. De leraar voelt zich in deze periode onprettig/opgejaagd; hij heeft het gevoel niet te voldoen aan eigen verwachtingen (een les zou 100% goed moeten verlopen; tijd moet zo efficiënt mogelijk besteed worden).

De conclusie werd getrokken dat voor het welslagen van een demo de demogroep haar demonstratie beter moest voorbereiden (de voorbereidingstijd moet korter) en dat gezocht moest worden naar middelen om de leerlingen meer uit te doen zijn op het verkrijgen van informatie uit de demo (een mogelijkheid zou kunnen zijn: het afnemen van een proefwerk over en direct na de demo, waarbij leerlingen uit de klas tussen demo en proefwerk in, nog om opheldering ten aanzien van een aantal niet-begrepen zaken konden vragen).

BIJLAGE D1

2. Het ingrijpen in demo's door de leraar

In en uit principe grijpt de leraar nooit in demo's in, zelfs niet als de demogroep een fundamentele fout (b.v. $V=I^2 \cdot R$) maakt. Pas als de klas reageert op de fout, haakt de leraar er op in. Argumenten om niet in te grijpen: je evalueert datgene wat de leerling verteld heeft; je devalueert tevens de waardering van de demo (als onderdeel van het leerproces) bij de leerling ermee. Bovendien werkt zo'n ingreep frustrerend voor de demo-groep, vergroot je de afhankelijkheid van de leerling, verklein je de zelfstandigheid!

Dit is ook een van de redenen waarom de leraar kleine fouten in de demonstratie überhaupt niet corrigeert. (De leraar vindt "daar zit ik niet over in; leerlingen in 3, 4, 5e jaar natuurkunde leren zoveel dat die fout er wel wordt uitgehaald"). Op fundamentele fouten gaat de leraar - na de demo, bij bespreking ervan - wel in. Dit kan dan nog op verschillende manieren. Je kan de klas de opdracht geven uit te zoeken wat er fout was, of je kan de demogroep de opdracht geven hun fout te herstellen, dat wil zeggen (gedeelte van) de demo overdoen.

3. Klasseparticipatie bij de demo

De participatie van de klas hangt volgens de leraar af onder andere is afhankelijk van de wijze waarop de demo de zaak presenteert; ze is ook afhankelijk van hoe goed de groep in de klas ligt. Leerlingen die eruit liggen krijgen anderssoortige opmerkingen dan populaire leerlingen. Het omgekeerde is ook waar: populaire leerlingen geven veel, prijzen veel! Kennelijk is het sociale aspect erg relevant; er wordt niet alleen natuurkunde gecommuniceerd! De suggestie werd gedaan dit veel prijzen van populaire leerlingen terug te koppelen naar de klas (krijg je nu je lofprijzingen voor wat je bent of voor wat je doet?). Een soort bewustwording van de klas!

4. Beoordeling door de klas ten aanzien van de demo-groep

De beoordelingen mochten alleen geschieden op basis van wat je gezien had; gerekend aan de beoordelingscriteria. Sommige leerlingen slaagden hier erg goed in. Voor andere was het erg moeilijk om af te zien van een (vrijwel altijd) positieve waardering. Je zou echter zover moeten zien te komen dat leerlingen beoordelingen konden geven zonder daar een waardering aan toe te kennen.

5. Machtsprocessen en verlegenheid

Binnen groepen vind je zowel dominante als minder dominante leerlingen. Volgens de leraar neemt de inbreng minder dominante leerlingen toe als ze vaker in groepen hebben gewerkt en dit is zeker het geval als de minder dominante taak-specifieke kennis heeft.

BIJLAGE D1

Verlegenheid is volgens de leraar iets wat veel duidelijker aan het licht komt. Enerzijds is dit een gevolg van de slechte afspraken gemaakt binnen de groep (wie vertelt wat) en van onzekerheid ten aanzien van natuurkunde kennis (b.v. het uitleggen van krachten; deze onzekerheid komt vooral bij meisjes voor), anderzijds van de anticipatie van mogelijke reacties vanuit de klas, van het voor een grote groep staan, je ziet dan ook dat leerlingen dan in de klas steun bij elkaar zoeken. Ook de leraar voelt zich nerveus over de kwaliteit van de demo's die gaan komen: als een demo slecht is, ga je zelf ook af! Dit laatste heeft te maken met het feit dat leerlingen denken: slechte demo's, slechte begeleiding, slechte leraren.

6. Functie demo's

Het nut van demo's, de logica van waarom demo's te doen is niet duidelijk voor de leerling. Daarom moet je demo's onderbrengen in een kader en wel het kader "leren van elkaar" (je kunt van elkaar leren; als je met en voor elkaar leert, kun je ook aan elkaar vertellen). Leerlingen moeten het idee kwijt raken dat een demo een grapje is; een grapje waarbij je naar het bord kijkt en een aantal mensen kan zien afgaan.

Demo's moeten een functie hebben/krijgen in het leren, in leerprocessen. Ze zouden een belangrijk onderdeel moeten zijn in het lesprogramma. De leerstof moet zo ingedeeld worden dat de demo's er een functie in hebben; zomaar losse demo's geven ongewenste effecten. Leerlingen vinden het niet nuttig om ernaar te luisteren, er wordt immers niet over ondervraagd!

7. Andere rapportagevormen

Demo's kosten veel tijd. Andere rapportagevormen zijn ook mogelijk. Voorbeelden: schriftelijke rapportages, maken van tentoonstellingen.

Bij een demo heb je echter andere klasse-interacties dan als een groep een stencil uitdeelt of iets op een tafel heeft staan en zegt "kom maar eens kijken".

Andere mogelijke vormen van kennisoverdracht die mogelijk zijn:

- het circusoverleg: groep 1 legt iets uit aan groep 2; groep 2 vervolgens aan groep 3, etc. Daarna worden de ontstane lacunes opgevuld. Deze vorm is echter ook tijdrovend.
- muurkranten
- iedereen maakt een tentoonstelling met een serie vragen daarbij.

8. Stilten tijdens de demo

Tijdens het uitvoeren van een demo zijn er vaak momenten van stilte, met name tijdens het doen van proeven. De klas is dan vol aandacht. Als de proef voltooid is ontstaat weer het rumoer. Dit wordt bij demo's soms nog versterkt doordat de demogroep gaat opruimen en de opstelling voor een volgende proef gaat maken.

BIJLAGE D1

Dit proces zou je moeten zien te voorkomen. Een suggestie zou zijn: breek geen opstelling af tijdens een demo, maar begin direct de volgende proef. Verder zou er over nagedacht moeten worden in hoeverre je deze momenten van aandacht (de stiltes) zou kunnen gebruiken om de klas analytischer te laten kijken (door juist op zo'n moment de klas te vragen om bijvoorbeeld de resultaten te noteren).

DE EISEN WAAROP EEN GROEP WERD BEOORDEELD WAREN:

voor groep 1 (de vakwerkbrug):

technische eisen:

- goede lengte van de demo (niet te lang/niet te kort)
- afwisselend vertellen en laten zien
- goede logische opbouw (het makkelijke het eerst, daarna de moeilijkere delen)

natuurkundige regels: vertellen/laten zien

- hoe je de brug op sterkte kunt testen
- hoe je bruggen wat betreft sterkte kunt vergelijken (sterktegetal)
- aanwijzen welke de sterke en zwakke punten van de brug zijn
- welke regels je moet weten om een brug te bouwen

voor groep 5 (onderzoek naar de sterkte van pijler/balken):

technische eisen:

- goed zichtbaar
- goed verstaanbaar
- goed tempo
- goede onderlinge werkverdeling

natuurkundige regels: vertellen/laten zien

- waarom ronde pijlers sterker zijn dan andere vormen
- hoe je balkprofielen eerlijk kunt vergelijken
- welke balkprofiel erg sterk is
- hoe je parallelconstructies stevig kunt maken
- hoe je een stevig wegdek kunt maken

VERLOOP VAN DE GEOORDELING

- a. De leerlingen konden tussen de demo en de beoordeling aan de demogroep vragen de natuurkunde-regels op het bord te schrijven ter verduidelijking;

BIJLAGE D1

- b. De leerlingen beoordeelden de hele demogroep op bovenstaande eisen en de individuele leden van de groep op - deels andere - criteria
- c. De opgeschreven natuurkunde-regels konden aan de hele klas gevraagd worden bij de toets.

LEERLINGENUITSPRAKEN OVER MOEILIJKE BEGRIPPEN IN "BRUGGEN"

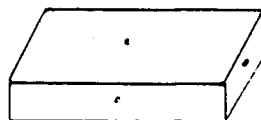
We noemen hier een aantal uitspraken van leerlingen die zij vorige jaren tijdens dit thema gebruikten. Daar zitten fysisch gezien een aantal uitspraken bij die niet geheel juist zijn. Wel is het goed te bedenken dat dergelijke "fouten", die nu ook wel weer zullen voorkomen, veel kunnen zeggen over de manier waarop leerlingen tegen deze voor hen zo nieuwe begrippen aankijken. Dan zijn zulke uitspraken niet fout maar zeggen iets over de leerling en zijn kijk op een dergelijk begrip en zijn er om hersteld of verbeterd of aangevuld te worden. Veel interessante informatie en een uitgewerkte theorie hierover, kun je vinden in de map van de zomercursus van de NVON "natuurkunde-onderwijs en de ontwikkeling van het denken".

OVER ZWAARTEPUNT

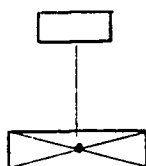
Dit is een uiterst moeilijk begrip dat vorige jaren maar door weinig leerlingen begrepen werd.

Een greep uit de ideeën die daar bij hen over leven

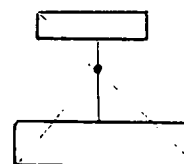
- daar waar een voorwerp het zwaarste is (b.v. de rug van een boek)
- een lichaam heeft 6 zwaartepunten, namelijk daar waar het kan balanceren



- het zwaartepunt van een auto ligt vast met/zonder bagage, nl. in het midden van de auto
- het zwaartepunt ligt op het snijpunt van de diagonalen, b.v.

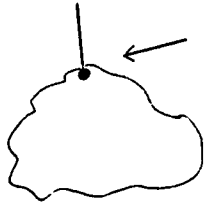


of



BIJLAGE D2

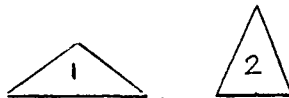
- zwaartepunt ligt daar waar je het touwtje vastmaakt en het hangt er dus af van hoe je het ophangt.



het zwaartepunt in de ruimte is helemaal erg lastig

OVER STEVIGHEID EN DRIEHOEKEN

De relatie tussen vorm en stevigheid wordt nog wel eens fout gezien, b.v.



driehoek 1 is steviger, dus hoe breder de basis hoe steviger een driehoek

Ook wordt ergens gezegd: een $\triangle$ is steviger dan een $\triangle$ want er kunnen in een brugdek meer naast elkaar.

OVER DE MOMENTENWET

Het patroon van gewicht $\times$ arm (links) = gewicht $\times$ arm (rechts) blijken leerlingen goed op te pakken als het draaipunt tussen de kracht en last in ligt.

Ook als zij dit beheersen blijkt de overgang naar een situatie waarin beide krachten aan één kant van het draaipunt liggen voor bijna iedereen onoverkomelijke moeilijkheden op te leveren, bijvoorbeeld bij een flesseopener, een notekraker.

Omdat dit laatste niet direct van belang is bij constructies, de eerste situatie komt bij evenwichten veel vaker voor, hebben wij er verder geen aandacht meer aan besteed.

(uit: Faraday 46,2)

lijk aan kracht uit het dagelijks leven. In vele leerboeken gaat men na een inleiding, die aansluit bij de dagelijkse ervaring, o.a. spierkracht, direkt over op kracht als oorzaak van snelheidsverandering, alsof dat voor leerlingen vanzelfsprekend is. Ook Piaget meent dat op een bepaalde leeftijd leerlingen vanzelf gaan zien dat kracht gekoppeld is aan versnelling. Aan de hand van uitspraken van leerlingen is in te zien dat er echter vele problemen aan kleven.

(Jean Piaget, *Die Entwicklung des Erkennens II Das Physikalische Denken*, S. 68; Klett Verlag, 1973.)

2. Gewicht is een kracht

In een bepaalde leergang kwam vrij in het begin een zin voor: -gewicht is een kracht-. Een leerling riep uit: Maar dat is niet te begrijpen! We lieten leerlingen toen zelf uitmaken of ze gewicht als een kracht zouden zien, maar de relatie werd i.h.a. niet spontaan gevonden. We vroegen ook: Is gewicht zoiets als een kracht, kan gewicht hetzelfde doen als kracht, kan gewicht een kracht uitoefenen. Maar slechts weinige leerlingen waren in het begin van klas 2 aanspreekbaar voor de analogie. Een van de redenen om het af te wijzen was: kracht, dan moet je je afzetten, je moet iets doen, een gewicht doet niets. Kennelijk is kracht gebonden aan eigen ervaring, eigen gevoel, iets waarbij je actief bent, of iets wat je zelf ervaart.

3. Aktief en passief

Als een voetballer een bal op de voet krijgt en die bal wegtrapt, dan is dat wat anders dan wanneer deze een bal op de voet krijgt en hij trapt niet zelf. In het eerste geval oefent de voetballer een kracht uit op de bal, in het tweede geval oefent de bal een kracht uit op de man. Maar ook in het tweede geval krijgt de bal een versnelling. Als we de leerlingen, die er zo over denken, leren: kracht is oorzaak van snelheidsverandering, dan kan hij deze situatie niet doorzien noch deze definitie begrijpen.

4. Wrijving wrijft

Een voorwerp staat op een draaiplaat, op het plaat is schuurpapier bevestigd. Zelfs bij snel draaien gaat het voorwerp niet van het draaiplaat af. Op de vraag is hier sprake van wrijving, antwoorden

Kracht

PAUL VEGTING, *Twickelcollege, Hengelo (O)*

1. Inleiding

Vele leerboeken gaan ervan uit dat leerlingen een notie hebben van kracht. Vroeger werd kracht eenvoudig gepostuleerd als oorzaak van versnelling, tegenwoordig gaat men vaker uit van de eigen ervaring van de leerlingen, o.a. van spierkracht.

Maar daardoor zijn ernstige moeilijkheden ontstaan. Het fysische begrip kracht is niet zomaar ge-

BIJLAGE D³

een aantal (niet alle) leerlingen: *nee, want er wrijft niets*. Wrijving is dus nog gebonden aan de handeling wrijven.

Wrijving is hier zeker geen kracht. Wel kan de idee wrijving worden geïntroduceerd: door wrijving kun je iets laten stoppen. Wrijving is dus tegenwerking (zodra wrijving gezien wordt in fysische zin uiteraard). Tegenwerking gebeurt door kracht, dus kun je ook wrijving gaan zien als kracht. Langs deze weg, is ons gebleken, is het, moeizaam, mogelijk, wrijving als kracht te gaan zien.

5. Centrifugaal of centripetaal

Leerlingen ervaren, dat er bij een bocht nemen een kracht naar buiten is. De moeilijkheden met centrifugaal zijn langzamerhand bekend. Toch is het mogelijk om te komen tot de idee centripetale kracht. Een leerling merkte over een river die door een bocht gaat op: het water schuurt de buitenbocht uit omdat het water rechtdoor wil gaan. Daaruit volgt dat het begrip traagheid, de neiging om in dezelfde richting door te gaan bij de leerlingen vast verankerd moet liggen voor je op centripetale kracht kunt overgaan. Toch zal het ook dan veel moeite kosten om het eigen krachtgevoel als criterium te doorbreken.

6. Overwinnen van tegenwerking

Nadat we krachten als vectoren hadden afgebeeld gaven we een proefwerk. Daarin kwam voor: een parachutespringer, die na 10 sek. de parachute opende, waardoor de parachute tenslotte in een eenparige beweging daalde. We vroegen zowel bij de versnelde, de vertraagde en de eenparige beweging naar de krachten die op de springer werkten. Bij de eerste twee problemen (versneld en vertraagd) gaf dat geen moeilijkheden. In het laatste geval, de beweging met konstante snelheid zei het merendeel van de leerlingen: de kracht naar beneden is *groter*, want deze kracht moet de tegenwerking overwinnen. Ook bij het fietsen, als wrijving een kracht is geworden, vinden vele leerlingen dat de trapkracht groter is dan de wrijving.

Leerlingen komen niet gemakkelijk tot het inzicht van Newton. In het beginonderwijs hangen ze sterk

aan de krachtervaring (gevoel) en dat is dan hun criterium, en daar zijn ze ook niet gevoelig voor logische redenering. Het bestaan van centripetale naast centrifugale krachten als oorzaak is niet logisch, maar leerlingen zijn voor zo'n argument niet aanspreekbaar. Eenzelfde soort tegenspraak zie je bij een kracht die zowel iets kan versnellen als aan iets een konstante snelheid kan geven. Dergelijke argumenten, een criterium geven op grond van een redenering, komen pas als leerlingen vertrouwd zijn geraakt met het krachtbegrip, als kracht voor hun een object is geworden, als er een zekere vanzelfsprekendheid is ontstaan om verschijnselen met krachten te beschrijven.

7. Grote kracht, kleine kracht

Als je aan leerlingen van de 2e klas vraagt (zonder uitvoerige inleiding op het onderwerp): is er een kracht nodig om een vel papier op te tillen, dan antwoorden er velen: *nee, je hebt geen kracht nodig*. Ze bedoelen dan: als je iets zwaars optilt, dan heb je kracht nodig, maar om iets lichts op te tillen heb je geen kracht nodig.

In de leefwereld spreek je over: daar heb je *kracht* voor nodig, maar niet: daar heb je *een kracht* voor nodig. In de leefwereld is kracht nog geen object, een te bestuderen iets, waar je dan in de taal tegen zegt: *een*, of, *de* kracht. Er staat geen lidwoord voor het woord kracht. Kracht staat in het dagelijks leven tegenover slap, geen kracht. Kracht in de fysika heeft eigenschappen, maar in het dagelijks leven heeft kracht geen eigenschappen, het is zelf een soort eigenschap, een kwaliteit: hij deed dat met kracht, dus niet slap, maar krachtig.

Als je uitgaat van de leefwereld van de leerlingen, en daarbij van de krachtervaring, dus van het krachtgevoel, dan betekent dat kiezen voor een begrip kracht dat iets anders uitdrukt dan het fysische krachtbegrip. Er moet iets in het onderwijs gebeuren als je met de leerlingen wil komen van:

- daar heb je kracht voor nodig -, tot:
- daar is een kracht voor nodig -

Iets dergelijks zie je bij het woord snelheid: voor leerlingen heeft een langzaam voortgaande slak géén snelheid.

LEERLINGUITSPRAKEN OVER KRACHTEN

Deze leerlinguitspraken werden gedaan in PLONlessen in 1978. Toen waren de begrippen trekkracht en duwkracht in het thema Bruggen opgenomen, samen met het vektorbegrip en het ontbinden van krachten. Nu staan die begrippen in het instructie-boekje "Krachten".

Een definitie die langzamerhand ontstaat bij trek- en duwkrachten, is:

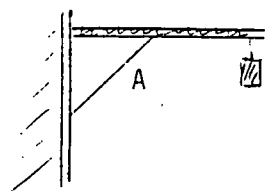
- een trekkracht is te vervangen door een touw
- duwkracht is als iets wordt samengeduwd

Hier sluit erg op aan dat leerlingen vaak op heel verschillende verklaringsniveau's met krachten omspringen:

- "dit is een trekkracht", terwijl ze een staaf aanwijzen
- "deze staaf heeft trekkracht"
- "deze staaf oefent een trekkracht uit"

Langzamerhand wordt een kracht gezien als iets dat los staat van een staaf, dus als een eigenschap van de staaf: "hij kan een kracht uitoefenen". Van de leerling sist dit een iets formeler niveau.

De begrippen trek- en duwkracht worden door veel leerlingen lang intuïtief gebruikt b.v.



A is een trekstaaf
(n.a.v. het uit-
hangbord)

Analoog: omdat bij een boogbrug de staven aan de boog trekken, wordt de boog op trek belast. Hier wordt niet ingezien dat de boog reageert op de trekstaven.

BIJLAGE D⁴

Algemener gezegd: leerlingen blijken veel moeite te hebben met het trekduwen als reactie op een duwkracht.

De discussie in de les van Bert Elbertsen (3b) spreekt boekdelen.

Leerling: je zei dat trekkrachten die boog naar beneden trokken

2e lln. : ja die trekkrachten hangen (!)

leerling: jawel maar dat is toch niet zo. Die trekkrachten houden het brugdek tegen, anders zou die in elkaar storten

2e lln. : trekkrachten hangen aan de boog

jawel maar ze houden het wegdek omhoog

ze trekken de boog naar beneden

jawel, daar zijn ze wel mee bezig (!) maar als die boog zou inzakken, blijft het wegdek ook niet omhoog enz.

Niet duidelijk is voor de leerlingen dan de staven én het een én het ander doen. Nu is dat ook best lastig, omdat dat te maken heeft met actie = (-) reactie en dat is lastig.

Bij het uithangbord wordt vaak gewicht en kracht door elkaar gehaald. Gewicht wordt door leerlingen op 2 manieren gezien, namelijk

- dat wat je voelt als je eraan trekt
- het aantal grammen van een voorwerp

In deze situatie zegt een leerling:
als je er een gewicht van 50 gram
aan hangt en je trekt schuin, is het
gewicht 150 gram.

BIJLAGE D5

IN SCHAGEN BOUWDE MEN EEN ECHTE BRUG

Pedro van Zutphen schrijft:

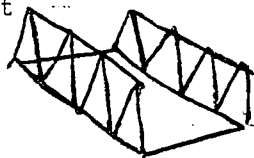
In heb 6 tot 7 lessen aan dat thema besteed, met als enig doel het bouwen van een brug. Dus in de les alleen bezig geweest met trek- en duwkrachten, diagonalen en dat soort zaken. Dat wil zeggen uit het boek blz. 35 tot en met 70 (oude versie) en verder de foto's uit de leesteksten bekijken.

Het idee van mij was om nu eens niet alleen met karton een brug te maken of met dunne latjes (11 x 8 mm) maar een brug over een echte sloot, waar je zelf overheen moest kunnen en die je met een grote groep maakt.

In de buurt was een sloot die een overspanning van 7.50 meter nodig maakte.

De brug moest verder 65 cm breedte als looppad hebben, natuurlijk niet stuk gaan, een los wegdek van 15 mm dik spaanplaat hebben en gebouwd worden van zogenaamde panlatten. Dat zijn ongeschaafde vuren latten van 2 bij 3 cm. Een brug waarbij het wegdek van onderen werd gesteund was eigenlijk niet mogelijk omdat de wal-lekant te schuin afliep en je het houtwerk om de 80 cm moest ondersteunen. Het vakwerk voldeed meestal wel, maar het probleem was het torderen of wringen van het vakwerk als je er overheen liep.

Dus in plaats van dit



gebeurde er dit.



vooral met de bovenleuning die dan ook brak op een kwast. Op de foto (zie blz. 6 van het themaboek) zie je hoe met zijsteunen geprobeerd is dat wringen van de bovenleuning te verhelpen. In het wegdek was een kruis van touw aangebracht (als een soort windverband). Het probleem daarmee is dat je het touw vooral al onder spanning moet zetten. Dus voor je de brug gaat belasten. Nu komt er pas spanning op en trekkracht als de brug al aardig uit model gaat.

BIJLAGE D6

EEN TOETS OVER "BRUGGEN" VAN HET ASHRAM COLLEGE

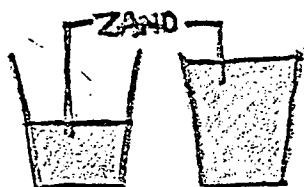
Deze toets is gemaakt in 1979 door Rob Merkus voor de oude versie van "Bruggen". De toets bestaat uit 14 meerkeuzevraagstukken en 10 open vragen aan de hand van dia's. Er is een antwoordblad voor de leerlingen bij. Daarop staan ook enkele evaluatieve vragen over het thema en de begeleiding daarbij.

Toets natuurkunde: thema 3.1 bruggen

Meerkeuzevragen

MAVU: Vraag 1 t/m 10 MAVU: Vraag 3 t/m 12 vwu: 5 t/m 14

1

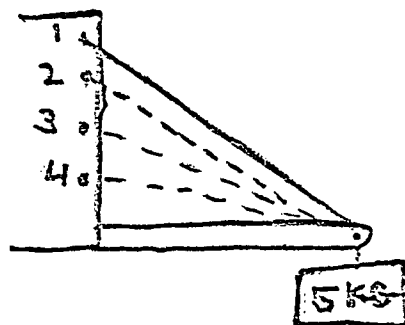


welk bekertje zal het snelst omvallen?

- a De halfvolle
- b de volle
- c ze zullen even gauw omvallen
- d ze zijn allebei even stabiel

2 Het touw van dit uithangbord is verstelbaar. De spanning in het touw wordt in deze volgorde steeds groter.

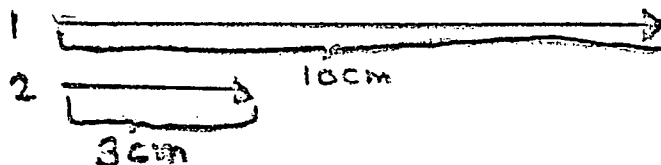
- a 4,3,2,1
- b 4,3,1,2
- c 1,2,3,4
- d 3,2,1,4



3

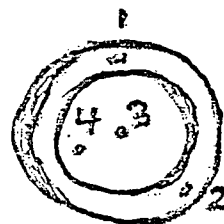
Als pijl 1 een kracht van 10 newton voorstelt, hoe groot is dan de kracht die pijl 2 voorstelt?

- a 8 newton
- b 6 newton
- c 13 Newton
- d 3 Newton



4 Het zwaartepunt van deze ring ligt in punt

- a 1
- b 2
- c 3
- d 4



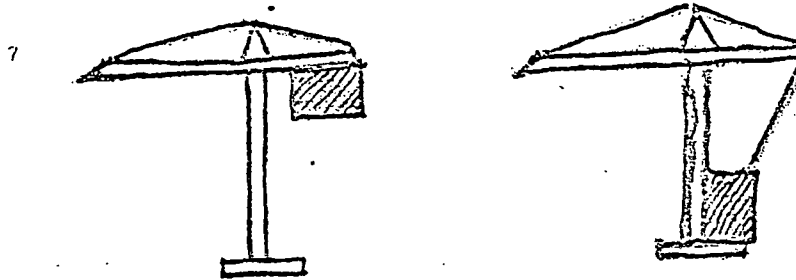
BIJLAGE D6

5 Het zwaartepunt is:

- a het punt waarbij aan alle kanten van dat punt evenveel massa is.
- b het punt waarbij het voorwerp het zwaarst is.
- c het punt in het midden van een voorwerp.
- d het punt waarop het voorwerp kan balanceren

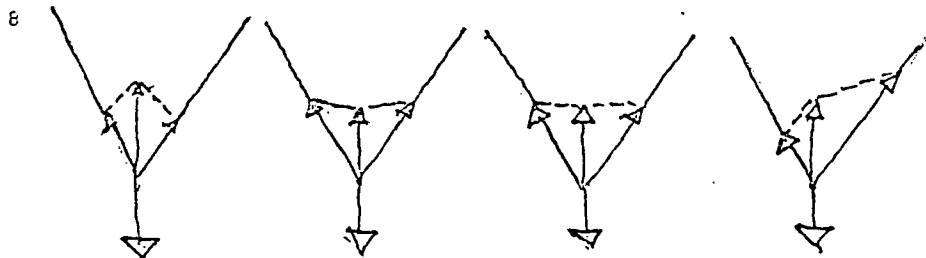
6 Iets is stabiel wanneer:

- a Als er veel gewicht onderin het voorwerp zit.
- b Als het voorwerp heel hoog is
- c Als het voorwerp van onderen smal is.
- d Als er veel massa bovenin het voorwerp zit.



Welke van deze 2 kranen zou het snelst omvallen?

- a kraan 2 omdat zijn contragewicht onderaan zit.
- b kraan 2 omdat het contragewicht niet gebruikt wordt en als de kraan geen last tilt.
- c kraan 1 omdat hij te licht is.
- d kraan 1 omdat hij topzwaar is.



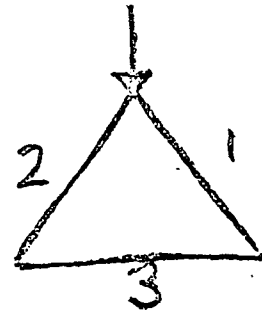
Welke van deze parrallelogramconstructies zijn goed:

- a 1
- b 2
- c 3
- d 4

BIJLAGE D6

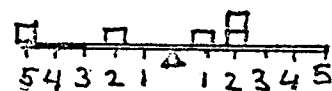
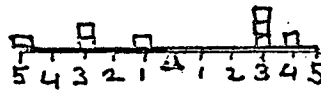
9 Als ik op de top van deze driehoek duw zijn de trek en duwkrachten als volgt verdeeld:

	trekkracht	duwkracht
a	2,3	1
b	geen	1,2,3
c	1	2,3
d	3	2,1

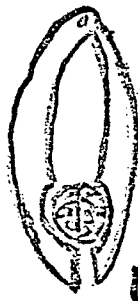


10 welke is in evenwicht?

- a geen van tweeën
- b 1
- c 2
- d 1 en 2



11



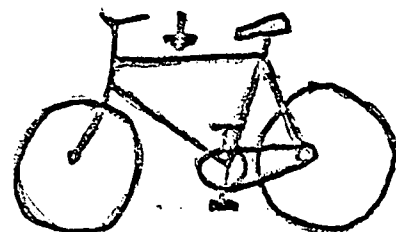
welke notenkraaker kraakt het best?

- a ze kraken alletwee even goed.
- b kraaker 1 kraakt het best omdat de hand dichterbij de noot zit.
- c nummer 2 omdat de noot dichtbij het draaipunt zit.
- d nummer 2 omdat hij verder dicht kan.

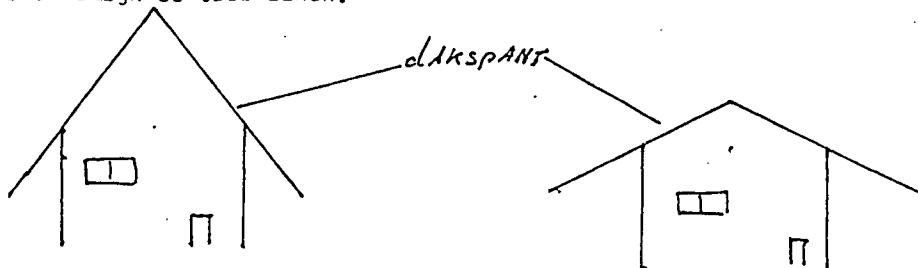
12 Als men beton en voorbespannen beton gaat onderzoeken op wat voor soort krachten ze goed kunnen hebben krijgt men de volgende resultaten,

	gewoon beton	voorbespannen beton
a	trek en duw	trek en duw
b	duw	trek en duw
c	trek	duw
d	trek en duw	trek

- 13 een herenfiets heeft een extra stang waarom is dat?
- a Deze stang zorgt voor een stevige driehoekkonstruktie.
 - b Zo is de fiets zwaarder en dus stabiel.
 - c Dit heeft men gedaan omdat mannen meestal geen rok dragen.
 - d anders kun je een dames fiets niet van een herenfiets onderscheiden.



14. Bekijk de twee daken.



Door het gewicht van het dak wordt er in de dakspanten een Σ kracht uitgeoefend.

Welke van de volgende beweringen is waar?

- a In de dakspanten wordt een duwkracht uitgeoefend. Deze duwkracht is in A groter dan in B.
- b In de dakspanten wordt een duwkracht uitgeoefend. Deze duwkracht is in B groter dan in A.
- c In de dakspanten wordt een trekkracht uitgeoefend. Deze trekkracht is in A groter dan in B.
- d In de dakspanten wordt een trekkracht uitgeoefend. Deze trekkracht is in B groter dan in A.

BIJLAGE D6

Toets Natuurkunde: thema 3.1 Bruggen

Open vragen.

MAVO: vraag 1 - 6

MAVO: vraag 3 - 8

VWO : vraag 5 - 10

1. Bekijk model 1. Is dit een stevige brug? Zo niet, wat ontbreekt er dan aan?
2. Model duikplank. In de duikplank treden trek- en duwkrachten op.
Geef met een rode lijn aan waar duwkrachten in de duikplank werken en met een blauwe lijn waar trekkrachten heersen.
3. Dia wip. Op de wip staan 2 flesjes. Het kleine flesje, op het uiteinde van de wip (op 60 cm van het draaipunt), weegt 60 g.
Het grote flesje staat op 40 cm van het draaipunt.
Als de wip in evenwicht is, wat weegt dan het grote flesje?
4. Dia Dom. Op deze zie je een foto van de Dom in Utrecht. Dit is de hoogste kerktoren van Nederland.
Waarom is de toren van de onderkant breder dan aan de bovenkant?
Maak hierbij gebruik van de woorden: stabiliteit en topzwaar.
5. Dia flessen opener. Geef op het antwoord papier met een pijl aan waar zich de draailijn van de opener bevindt.
Als je in punt B een kracht uitoefend, is de kracht in punt A erg groot. Waarom is dat het geval?
6. Dia zeeman. Op de dia zie je een 'zeeman'. Hij heeft zijn voeten ver uit elkaar staan. Waarom heeft een zeeman zijn benen altijd ver uit elkaar staan?
Maak gebruik van de woorden: stabiliteit, draaipunt en zwaartepunt.
7. Dia watertoren. Waarom heeft de watertoren een ronde bouw?
8. Model en dia van een uithangbord. Bekijk het model van het uithangbord.
Je ziet dat we het touwtje op vier verschillende punten kunnen vastmaken.
Maak een tekening van dit model.
Geef aan bij welke stand van het touw de spanning in het touw het laagst is. Leg uit waarom en maak gebruik van vectoren?
9. Dia boograam. Boven het raam is een boogconstructie gemetseld. Waarom is dat gedaan?
Geef in een tekening weer hoe de krachten op de boog werken.
10. Dia kraan. De bordjes op de kraan geven aan hoeveel gewicht de kraanmachinist op de verschillende afstanden omhoog mag tillen. Het contra-gewicht op 12 m van het draaipunt weegt 6000 kg.
Bereken het gewicht dat de kraan op 40 m afstand van het draaipunt kan tillen.
Op het bordje staat echter dat er op 40m maar 1250 kg getild mag worden. Waarom is dat volgens jou zo gedaan.

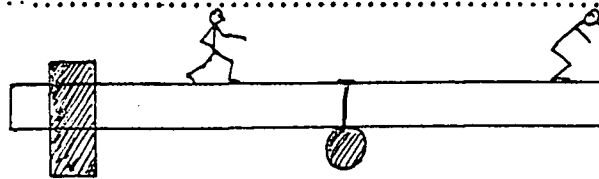
BIJLAGE D6

Naam: Robert Klein
Klas: 3C³ 74

Antwoordblad: open vragen en meerkeuze vragen.

1. Dit is wel een/ geen stevige brug omdat.....

2.

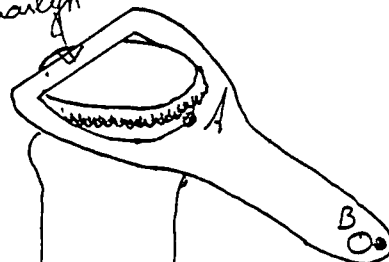


3. Het grote flesje weegt... 0,09 kg.

4. De toren is van onderen breder dan boven omdat ..als hij van onderen ..breder is dan in hij..stabiel omdat het een groot...

5. De kracht in punt A is erg groot omdat ..

Draailijn



het punt a..de dop..van..de... fles..moet..hebben.....

6. De zeeman heeft zijn benen ver uit elkaar staan ..hij..haal..dan..weel..stabiel..omdat..de..kracht..dan..meer..2..verdel..in..over..een..breed..wat..de..punt..is..beheers..hoo..als..hij..zijn..benen..naar..elkaar..zo..zullen..zullen..hij..onder..om..het..draaipunt..een..je..beter..vervang..

7. De watertoren heeft een ronde bouw ..

de..krachten..cirkelen..dan..word..en..daar..is..niet..ca..hij..te..een..vriendante..bouw..het..is..de..steigste..methode.....

8. Op de achterkant van dit papier.

9. Op de achterkant van dit papier.

10. Op 40m afstand van het draaipunt kan de kraan..... kg tillen.
In werkelijkheid wordt er op 40m maar 1250 kg getild omdat

Meerkeuzevragen: I.	3. d	5. d	7. d	9. b	II. c	13.
2.	4. c	6. a	8. c	10. a	12. b	14.

BIJLAGE D6

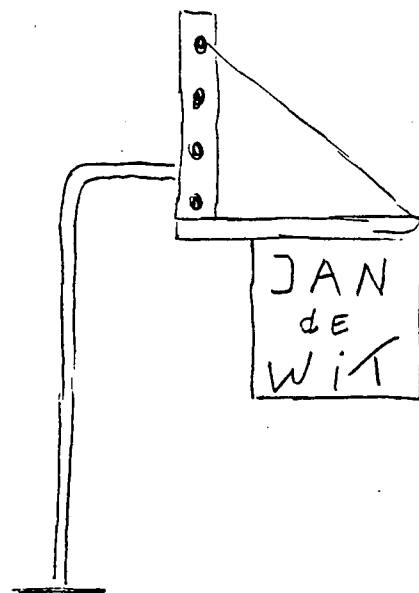
15. Nog enkele vragen over het thema bruggen.

Kruis je mening aan over de volgende uitspraken.

	erg		weet		helemaal
	mee	mee	ik	mee	mee
	eens	eens	niet	oneens	oneens
a Door dit thema ben ik bruggen met andere ogen gaan zien.	X	...	...	...	...
b Ik begrijp constructies nu veel beter.	X	...	...	...	...
c Voor dit blok wist ik evenveel van constructies dan nu.	...	...	...	X	...
d Ik vond dit thema helemaal niet leuk.	...	...	...	X	...
e Ik wist niet zo goed wat ik moest leren.	...	...	...	...	X
f De samenwerking in ons groepje was erg goed.	...	X	...	...	...
g Van de demo's heb ik veel geleerd.	...	X	...	...	...

Wat vond je van de begeleiding? *De begeleiding vond ik wel goed. want als je iets niet snijdt af. mocht kon je het altijd vragen*

Klas:



hoe groter de haak hoe kleiner de kracht

PROEFWERKVRAGEN "BRUGGEN"

Onderstaande proefwerkvragen zijn gedeeltelijk genomen uit diverse proefwerken van PLON-leraren. Vaak bestonden de proefwerken uit een gemeenschappelijk deel en een keuze-deel.

Boven een proefwerk stond bijvoorbeeld:

Vraag 1 t/m 10 moeten door iedereen gemaakt worden. Je moet totaal 15 vragen maken. Je mag dus 5 vragen kiezen uit de nummers 11 t/m 20. Elke vraag is 2 punten waard.

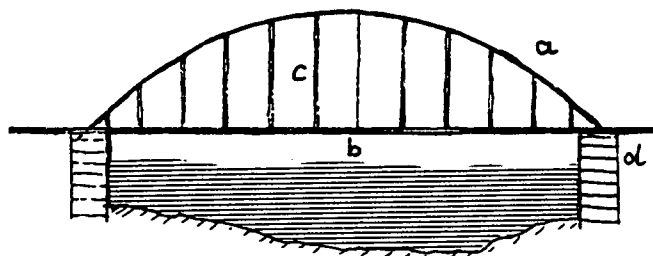
$$\text{cijfer} = \frac{\text{aantal punten}}{3}$$

(dit slaat dus niet op de onderstaande vragen!)

- 1a. Schets wat voor een brug je gebouwd hebt
- b. Met wie heb je samengewerkt?
- c. Hoe waren de taken verdeeld? Welke taak had jij?
- d. Welke "kunstgrepen" heb je toegepast om van het slappe papier een stevige brug te maken?
- e. Welke onderdelen van de brug stonden onder trekspanning en welke onder duwspanning?
- f. Hoe heb je je brug sterker gemaakt?

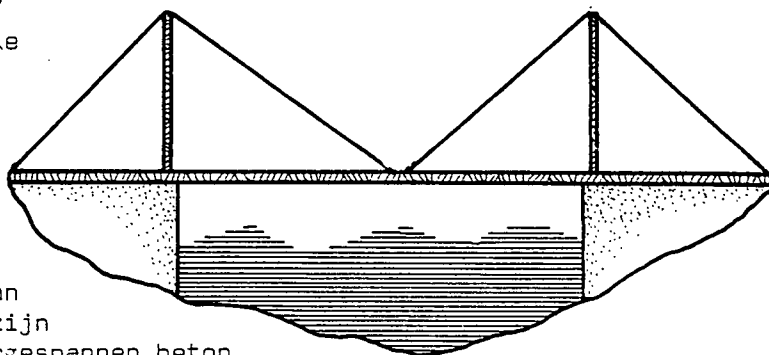
2. Noem drie manieren waarop je een hijskraan stabiel kan maken.

3. Welke onderdelen van de brug die hiernaast getekend staat, zouden wel en welke delen zouden niet van beton gemaakt kunnen worden?



a. de boog; b. het wegdek; c. de verbindingen boog-wegdek;
d. de pijlers

- 4a. Geef aan welke onderdelen van de tui-
brug op duw
en welke op
trek belast
zijn.

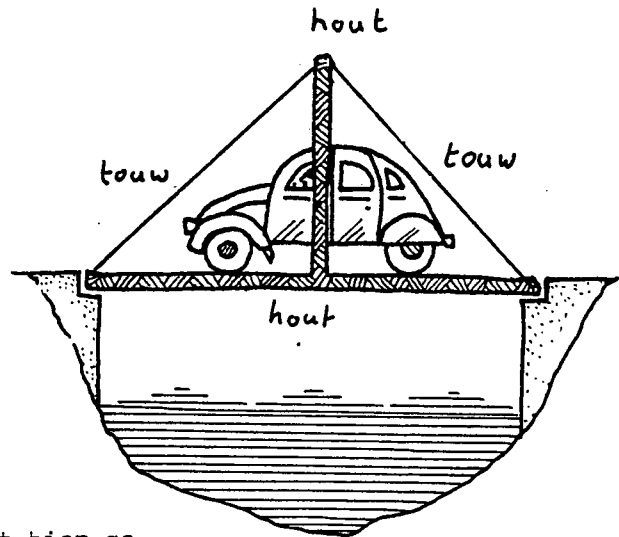


De pylonen van een tui-
brug zijn
vaak van voorgespannen beton.

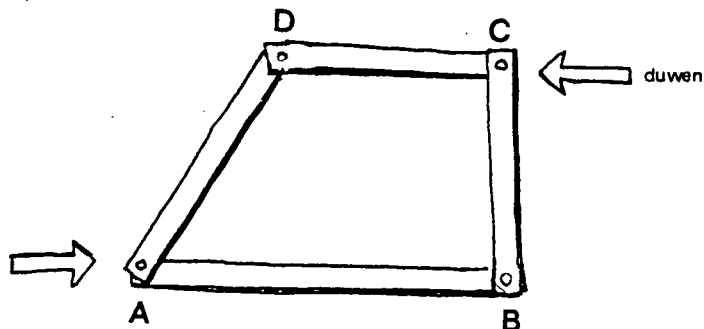
BIJLAGE D7

- b. Wat is voorgespannen beton?
- c. Om welke reden past men voorgespannen beton in veel bruggen toe?
- d. Waarom gebruikt men voorgespannen beton voor de pylonen?
Stel je voor het beantwoorden van deze vraag voor dat er een hele zware vrachtauto midden op de tuibrug staat, waardoor de tuibrug flink doorbuigt, en ga na wat er met de pylonen gebeurt.

- 5. Iemand maakt een model van een brug van hout en touw. Je ziet dat model hiernaast getekend.
- a. Wat is er fout aan het model?
- b. Wat zou jij anders doen? (alleen hout en touw gebruiken!)



- 6. Tegen het raamwerk, dat hier getekend is, wordt geduwd waar de pijlen staan.
- a. Teken hoe het raamwerk zal vervormen.
Je kunt het raamwerk versterken met een touw.
- b. Tussen welke punten zou jij het touw spannen?

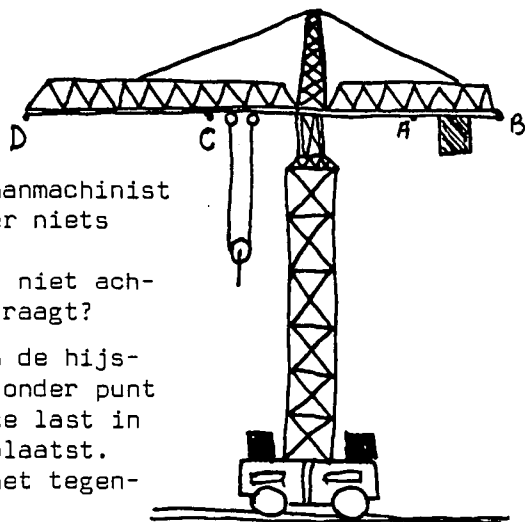


BIJLAGE D7

7. Er bestaan hijskranen waarvan het tegenwicht langs een deel van de arm kan bewegen. Het tegenwicht van de getekende hijskraan kan bewegen tussen de punten A en B.

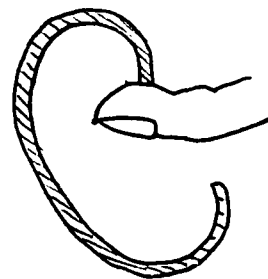
- a. In welk punt zal de hijskraanmachinist het tegenwicht zetten als er niets aan de hijskraan hangt?
- b. Waarom kantelt de hijskraan niet achterover als die geen last draagt?

Er wordt een zware last aan de hijskraan gehangen als de haak onder punt C hangt. Vervolgens wordt de last in de richting van punt D verplaatst. Tegelijkertijd verplaatst het tegenwicht zich naar punt B toe.

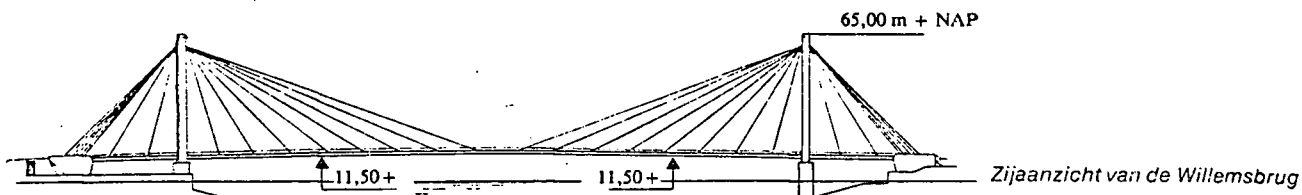


- c. Leg uit waarvoor dat nodig is.
- d. Leg uit dat hijskranen met een beweegbaar tegenwicht met zwaardere lasten kunnen werken dan even grote hijskranen waarvan het tegenwicht vast zit in punt A.

8. Hier zie je een "draadfiguurtje" getekend dat op mijn vinger balancerd. Als mijn vinger even trilt valt het eraf. Ik wil het stabiel maken met een stukje plasticine. Waar moet ik het plasticine om het ijzerdraad doen? Wat gebeurt er dan met het zwaartepunt van het draadfiguurtje?



9. Hier zie je een schematische tekening van de nieuwe Willemsbrug in Rotterdam, een voorbeeld van een tuibrug.

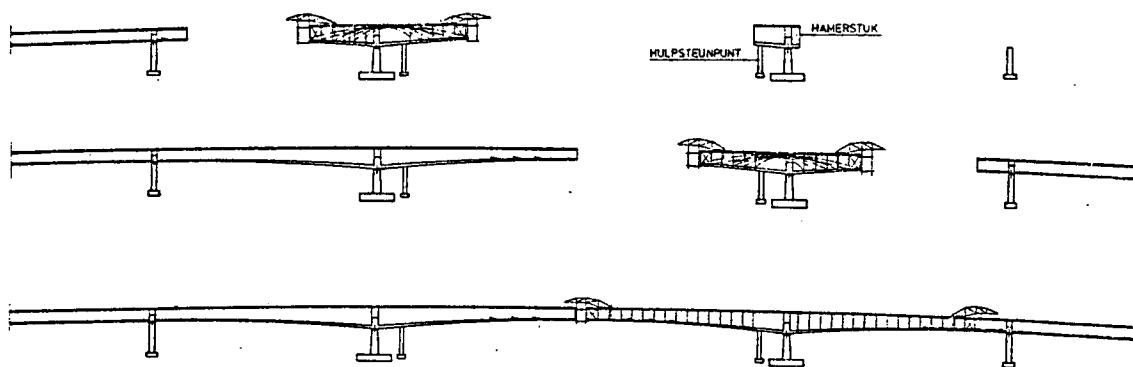


BIJLAGE D7

Om de pylonen in evenwicht te houden, heeft men aan de verankering van de tuien aan de noordzijde een gewicht van 70.000 kN moeten aanbrengen.

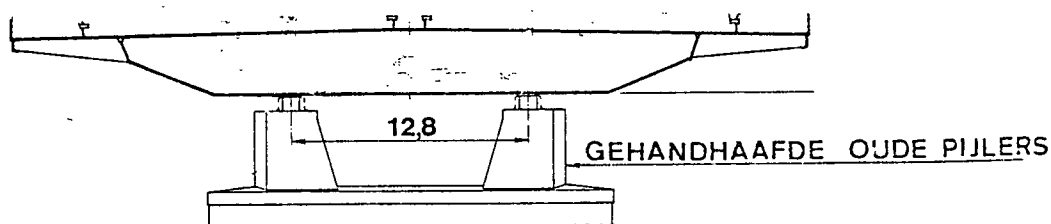
Leg uit waarom er een tegenwicht nodig is bij de Willemsbrug. Gebruik daarbij de momentenwet.

10. Bij de methode van vrije voorbouw met voorgespannen beton gaat men de brugdelen uitbouwen vanaf een steunpunt:



- Waarom moet men er aan beide kanten tegelijk een moot bijbouwen?
 - De voorspanstaven liggen vooral boven in het brugdeel, vlak onder het wegdek. Leg uit waarom.
11. Een ingenieur van Rijkswaterstaat zegt over de stalen tui-
brug over de Waal bij Ewijk: Deze brug is vooral zo bijzon-
der omdat het de eerste toepassing in Nederland is van de in
Engeland ontwikkelde "boxgirder" (doosligger). De tweede doos-
ligger werd over het Hollands Diep gebruikt voor de nieuwe
brugdelen van de Moerdijkbrug

DWARSDOORSNEDE NIEUWE MOERDIJKBRUGGEN



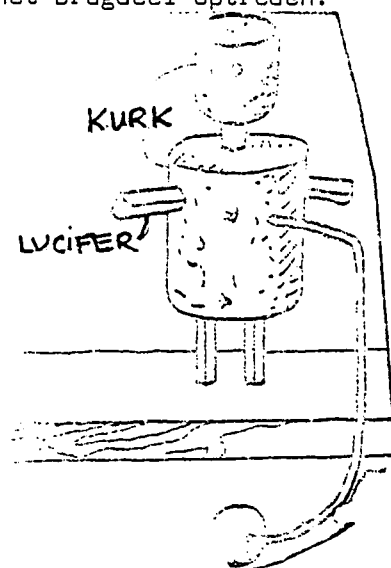
BIJLAGE D7

In feite zijn het grote koektrommels waarbij de belasting over het deksel rijdt.

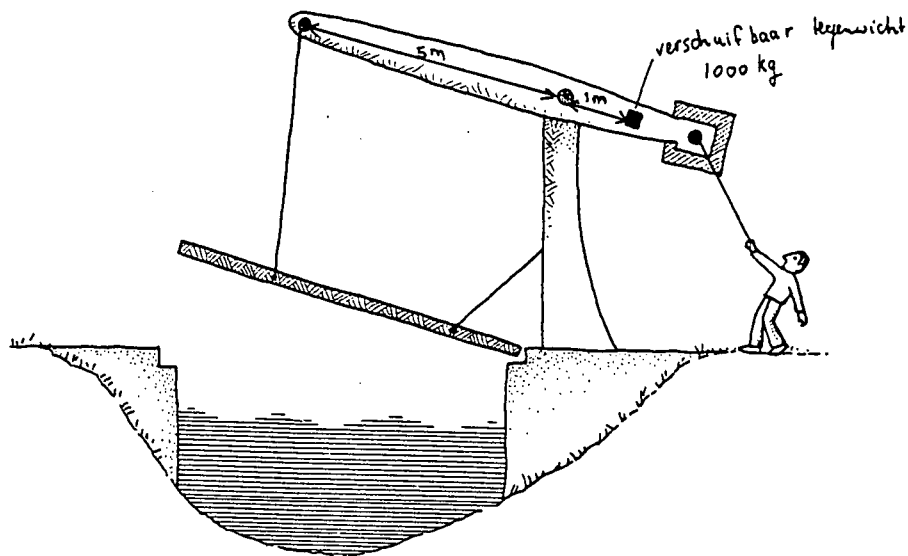
Eigenlijk is er niet zo gek veel gebeurd sedert het ontwerp van de Brittaniabrug. Daar reed de last alleen over de bodem in plaats van over het deksel.

Leg de functie van de doosligger uit. Denk daarbij ook aan de trek- en duwspanningen die in het brugdeel optreden.

12. Iemand doet een onderzoekje van de stabiliteit van het poppetje dat hiernaast getekend staat. Stel één werkvraag die je met dat poppetje zou kunnen onderzoeken en geef aan op welke van de regels voor stabiliteit die werkvraag betrekking heeft.



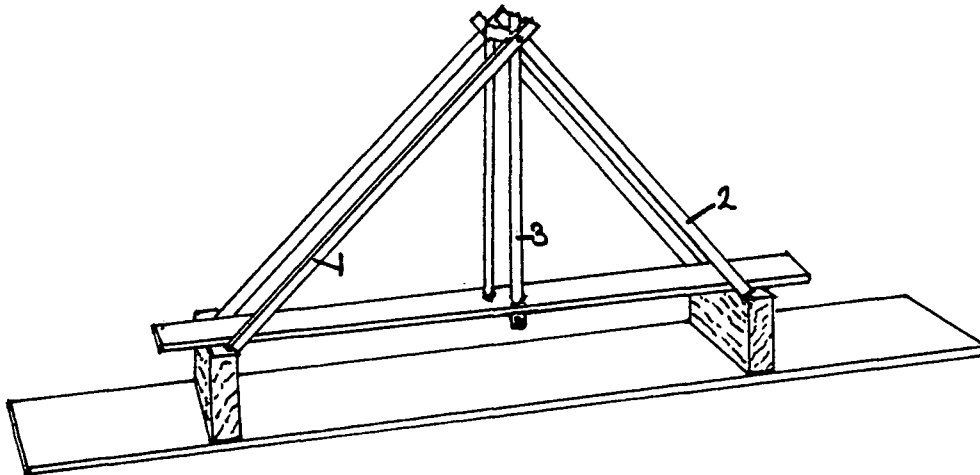
13. Ophaalbruggen hebben vaak een extra verschuifbaar tegenwicht. Als het brugdek vernieuwd wordt kan de plaats van het verschuifbare tegenwicht zo veranderd worden dat er opnieuw evenwicht is.
- a. Leg uit hoe het verschuifbare tegenwicht verplaatst moet worden als het brugdek door vernieuwing zwaarder is geworden.
 - b. Bereken hoe groot die verschuiving is als het brugdek 100 kg zwaarder is geworden.



BIJLAGE D⁸

EEN DEMONSTRATIEPROEFWERK: DE DRIEHOEKSBRUG

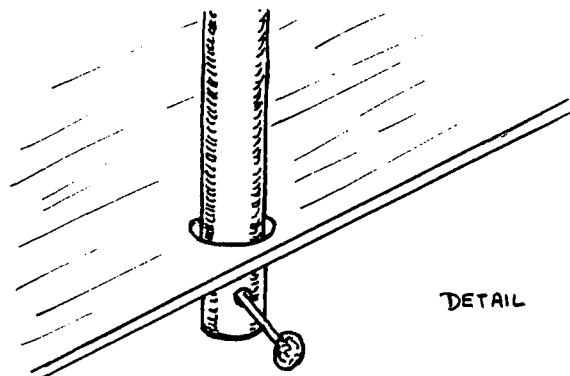
Voor de klas kan de brug die hieronder getekend staat gedemonstreerd worden en er kunnen vragen gesteld worden over enkele experimenten die ermee uitgevoerd werden.



Nummer de stokjes 1, 2 en 3

Hieronder staat wat de leraar moet demonstreren bij de verschillende onderdelen van het leerlingenblad bij deze proef dat op de volgende bladzijde staat.

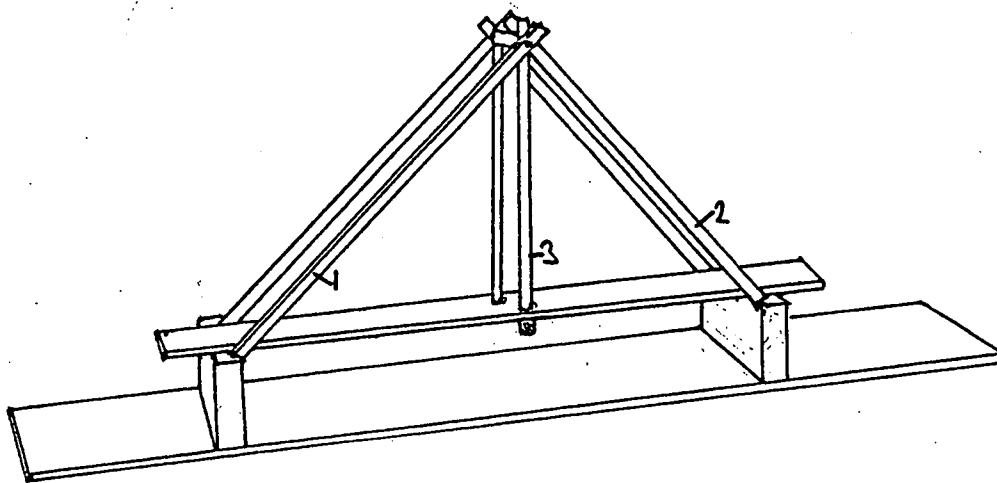
- A. Zet de brug op een duidelijk zichtbare plaats voor de klas neer. Belast de brug door met de hand op het midden van de brug te duwen. De vervormingen in bovenbouw moeten duidelijk zichtbaar zijn. Van te voren controleren! Door met variërende kracht op de brug te duwen zijn de vervormingen het beste zichtbaar. Nadat vraag 3 is beantwoord eerst de antwoorden ophalen en daarna de stukken 3 door touwtjes vervangen of (nog beter) een tweede brug met touwtjes in plaats van stokken 3 neer te zetten.
- B. Om ze met vraag 4 te helpen zouden op de twee bruggen (als u die heeft) tegelijk elk met één hand geduwd kunnen worden of zou de brug in plaats van met de hand met een bepaald gewicht belast kunnen worden. Verder geen demonstratie nodig.
- C. Nu weer met de hand op de brug duwen om de nadruk te leggen op de vervormingen.



Leerlingenvragen bij demonstratieproefwerk de driehoeksbrug.

Deel I

Voor de klas wordt de driehoeksbrug gedemonstreerd, die hieronder getekend staat.



A. De brug wordt belast.

1. Geef in de tekening aan hoe de verschillende onderdelen van de brug en de pijlers vervormd worden als de brug belast wordt.
2. Zet bij de stokken 1, 2 en 3 van bovenstaande tekening of ze op trek of duw belast worden.
Sommige stokken kun je door touwtjes vervangen.
3. Welke van de stokken 1, 2 en 3 kan door een touwtje of door touwtjes vervangen worden?
Geef een uitleg. Gebruik daarbij een van de woorden trekspanning, duwspanning, buigspanning.

BIJLAGE D8

Leerlingvragen bij demonstratieproefwerk de driehoeksbrug.

Deel II

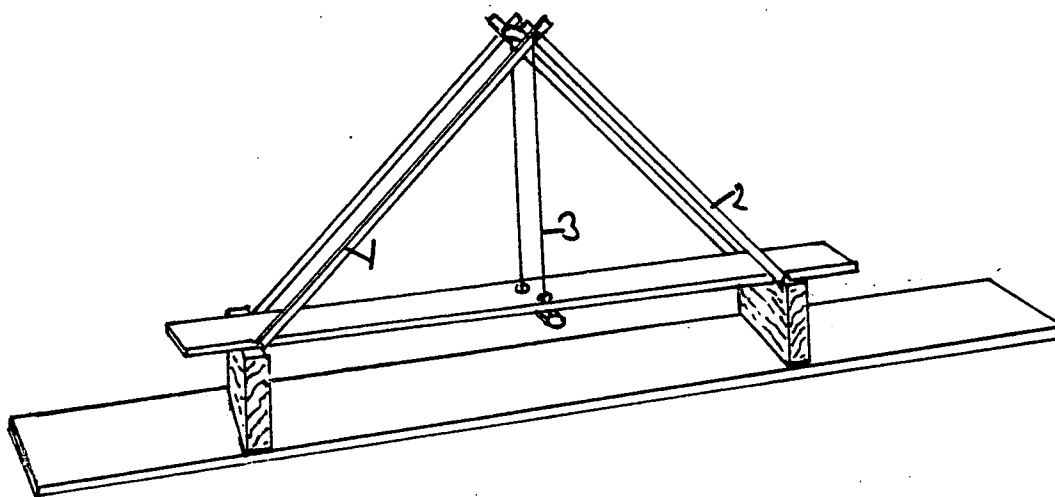
B. Is de brug beter geworden?

Stok 3 is nu door een touwtje vervangen.

4. Welke metingen zou je moeten doen om uit te maken welke brug brug de beste is? Denk daarbij aan de brugverhouding.
5. Welke apparaten gebruik je daarbij.

C. De brug nog steviger maken.

6. Verzin zelf één verandering aan de constructie (niet het wegdek zelf) waardoor de brug sterker en beter wordt.
Je mag daarvoor enkele touwtjes of stokken extra gebruiken.
Teken de verandering die je aanbrengt in de tekening hieronder.



Geef een uitleg waarom volgens jou de brug sterker en beter is geworden.

Mechanika in PLON thema's

Drs A.E. van der Valk

In deze lezing wil ik U wat vertellen over mechanica in twee PLON thema's voor de onderbouw havo-vwo, die ook op de mavo gebruikt worden.

Het eerste voorbeeld komt uit het thema 'Bruggen', het eerste thema van de derde klas waarin een aantal onderwerpen uit de statica aan de orde komen. Het tweede voorbeeld is uit het thema 'Verkeer en Veiligheid' waarin een aantal aspecten van de dynamica te herkennen zijn. Dit is een thema voor 3 havo/vwo en 4 mavo.

Eerst iets over de algemene opzet van 'Bruggen'. Er is een themaboek en er hoort ook een AVOL bij: een lerarenhandleiding vol informatie over didaktische opzet, lessenplan, aanwijzingen, voorbeeld proefwerkvragen, problemen van leerlingen met sommige begrippen, achtergrondinformatie, enz. En, niet te vergeten, er zit een uitgebreide apparatuurgids in de AVOL.

Dit thema 'Bruggen' is het resultaat van circa 5 jaar uitproberen op proefscholen, bijschaven, onderzoeken en ervaringen uitwisselen. Het thema begon als deel van een lessenserie 'jouw omgeving' over konstrukties waarin de leerlingen allerlei dingen maakten en bouwden. De ervaringen in de klas gaven aan dat bouwen alleen niet voldoende was om dieper door te dringen in de natuurkunde die bij konstrukties komt kijken. Verder bleek in de loop van de experimenten dat het begrip kracht aan het begin van de derde klas erg moeilijk is en bij veel leerlingen niet in zijn geformaliseerde vektorvorm aanslaat. Dit heeft ertoe geleid dat er een apart boekje 'Krachten' is gemaakt. Daarover zal ik verderop meer vertellen.

PLON heeft gekozen voor een thematische aanpak van leerstof. Voor 'Bruggen' betekent dat dat de leerstof in dit thema in verband moet staan met bruggen maar ook hijskranen en andere konstrukties. Dat betekent dat in het thema wordt ingegaan op materiaalspanningen, de vorm van konstrukties, momentenwet en stabiliteit.

BIJLAGE D⁹

Vraagstukken bij het thema moeten iets met bruggen of konstrukties te maken hebben en niet plotseling gaan over situaties onder water of in een ruimteschip, tenzij de leraar speciaal ervoor heeft gekozen hetgeen in 'Bruggen' wordt geleerd te generaliseren. In een vwo-klas is dat wel denkbaar. Om het één en ander toe te lichten laat ik U hier de inhoud van het thema zien.

Inhoud van 'Bruggen'

- Oriëntatie : 1. Bruggen in je omgeving
2. De vorm van bruggen
3. Uitzetten en inkrimpen van bruggen
- Theorie : 1. Materiaalspanningen in bruggen
2. Stevigheid en vorm
3. Gewicht en tegenwicht
4. Stabiliteit
- Onderzoeken : 1. Een brug bouwen, belasten en versterken
2. Een hijskraan bouwen
3. Een hijskraan en de momentenwet
4. Stevigheid en vorm
5. 'Laten draaien'
6. Stabiliteit

Leesteksten

De indeling van het themaboek stemt overeen met veel andere themaboeken van het PLON: een inleiding over de manier van werken in het thema. Daarbij wordt teruggegrepen op een aantal dingen uit de tweede klas o.a. het werken in een groep en het werkvragen stellen, waar ik later op in ga.

Daarna komt een oriëntatiedeel met de vorm van bruggen. In de theoriehoofdstukken ziet U de leerstof terugkomen: materiaalspanningen, vorm en sterkte, momentenwet en stabiliteit.

De onderzoeken gaan vooral in op een speciaal deel uit de theoriehoofdstukken. Er is wat in te vinden voor de doegerichte leerling en ook voor de meer theoretisch ingestelde leerling.

De leesteksten geven achtergrondinformatie en worden vooral bij de onderzoeken gebruikt.

Het zal duidelijk zijn dat je als leraar niet zonder meer op bladzijde 1 van het boek begint en eindigt op bladzijde 95. De leraar moet keuzen doen. Hij plant zijn lessen via leeractiviteiten. Daarvoor maakt hij een lessenplan waarin hij het aantal lessen dat hij aan het thema besteedt, welke delen van het thema aan de orde komen en welke werkvorm hij daarbij kiest vastlegt.

Een voorbeeld van zo'n lessenplan voor 'Bruggen' is:

Voorbeeld lessenplan 'Bruggen'

les	het gaat over	werkvorm
1	inleiding oriëntatie op bruggen	groepswork/ klassegesprek
2 t/m 5	theoriehoofdstukken	leergesprek/ proeven doen
6 t/m 9	onderzoeken (+ leesteksten) samenvatting	groepswork/ leerlingen- demonstraties
10	proefwerk	

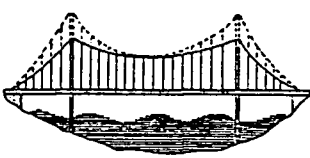
De leraar heeft een heel korte versie van 'Bruggen' gekozen. U ziet dat hij afwisselende werkvormen kiest. Via de leerlingdemonstraties komt de hele klas wat te weten over het onderzoek van één groep. Het proefwerk zal in het algemeen een gemeenschappelijk deel bevatten en een deel dat gedifferentieerd is naar de verschillende onderzoeksgroepen.

In de onderstaande figuur ziet U een onderzoek uit het thema. Het gaat over: een brug bouwen, belasten en versterken.

Onderzoek 1

een brug bouwen, belasten en versterken

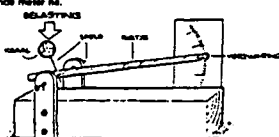
- 1.1 EEN BRUG BOUWEN: BOUWPLAN
- 1.2 BOUW JE BRUG
- 1.3 BELAST JE BRUG
- 1.4 VERBETER JE BRUG
- 1.5 BRUGGEN VERGELIJKEN



ZO MAAK JE EEN doorbuigingsmeter

Met deze doorbuigingsmeter kun je de doorbuiging van een brug bij belasting meten. De meter zoals die hier staat is gewoont d.w.z. bij een kleine doorbuiging van de brug staat hij al ver uit. Dat komt omdat de draaier van het rietaf naar links zit.

1. Bouw onderstaande meter na.



2. Zet de meter door links de draaier 1 cm naar beneden te duwen en rechts bij het uitslag van het rietaf 1 cm te schrijven. Doe dat voor een aantal waarden om de 0,5 cm. Maak tussen de getallen een min-verdeling.

3. Gebruik de meter bij een zelfgebouwde brug. Wenig doorbuiging bij een grote belasting betekent een sterke brug.

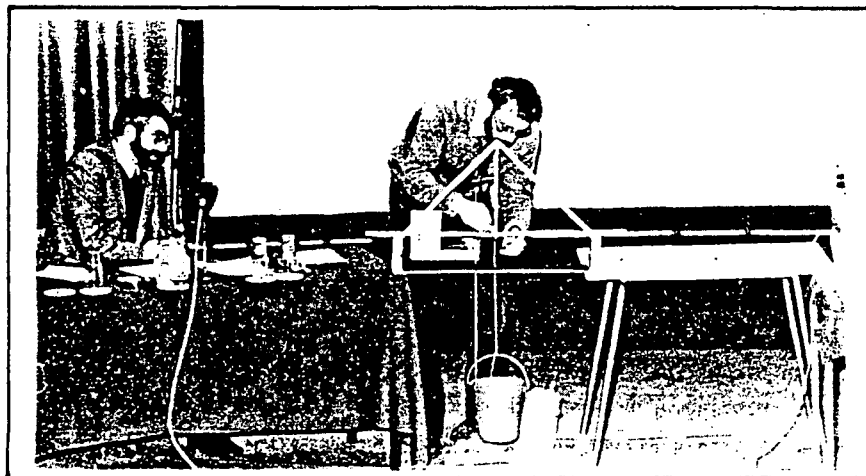
BIJLAGE D9

Het is één van de 6 onderzoeken waaruit de leerlingen kunnen kiezen. Ze werken in groepjes aan de onderzoeken. Elk groepje kan een ander onderzoek nemen. In sommige klassen wordt er wel een wedstrijd gehouden: wie bouwt er de sterkste brug? De materialen en afmetingen van de brug worden dan vastgelegd. Na het onderzoek demonstreert iedere groep zijn onderzoek voor de klas. De klas zal de belangrijkste resultaten van het onderzoek moeten kennen.

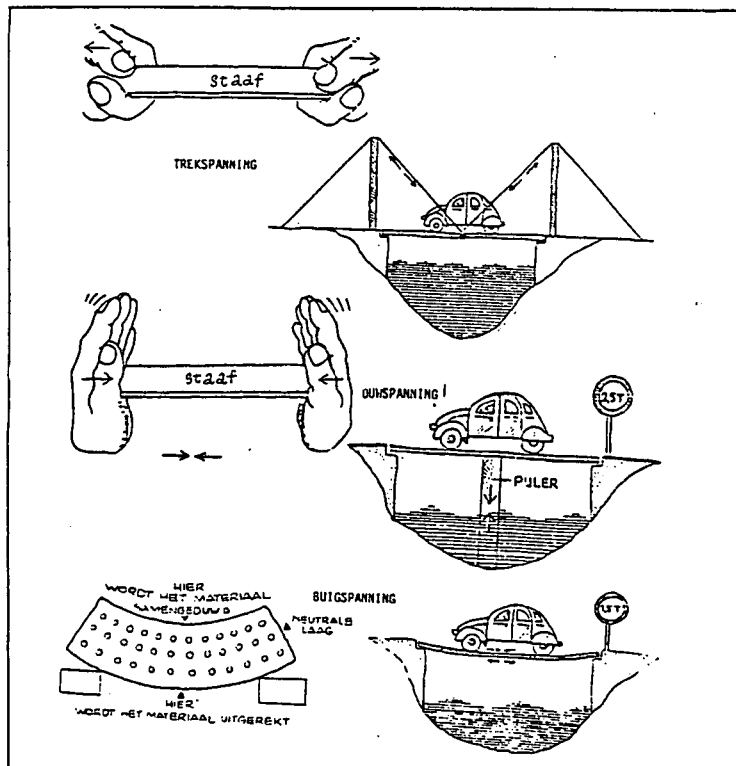
Ik zal nu een brug demonstreren en daarbij laten zien wat er natuurkundig, of technisch, aan te beleven is. Het model wat we hier hebben is niet door leerlingen, maar speciaal voor deze gelegenheid gemaakt.

We nemen eerst alleen een wegdek: een stuk triplex. U kunt zien dat het door zijn eigen gewicht al doorzakt. Als we het wegdek belasten, zal die meer doorzakken. Hoeveel de doorbuiging is kunnen we met een 'doorbuigingsmeter' (zie figuur op blz. 32) meten. Het eenvoudige meetapparaat kan door de leerlingen zelf gebouwd worden.

U ziet het: een belasting met $\frac{1}{2}$ kg geeft al een flinke doorbuiging. We kunnen de brug steviger maken met een bovenbouw, die we van hout maken: een driehoek met een verticale staaf die het midden ondersteunt.



Als ik de brug nu ga belasten buigt die al veel minder door: de brug is steviger geworden. Voor leerlingen heeft dit een verrassingselement: de bovenbouw van een brug is geen kwestie van schoonheid: het heeft een duidelijke functie! Bij onderzoeken bleek dat een belangrijke leerervaring te zijn. Nu moet de brug verder verbeterd worden. Uit het theorie-deel weten de leerlingen iets over trek- en duwspanningen. Ze kunnen gaan kijken waar hier de trek- en duwspanningen in de bovenbouw optreden.



In de balkjes van de driehoek werken duwspanningen en in de staaf een trekspanning. Zij zouden zich kunnen afvragen: zou de brug sterker worden als de staaf door een touwtje wordt vervangen ?

Daarmee stellen ze een 'werkvraag'. Dat hebben ze in de 2e klas al geleerd: een vraag stellen die jezelf kan onderzoeken. Het aardige hier is dat zo'n vraag kan ontstaan uit het samengaan van verwondering en theoretische kennis over trek- en duwspanningen. Andere werkvragen kunnen zijn: wordt de brug sterker als ik meer verticale staven aanbreng ? Als ik een verbinding tussen de twee driehoeken maak ? Als ik een boog in plaats van een driehoek zou nemen ? Het antwoord op de werkvraag kan steeds experimenteel nagegaan worden. Voor de vergelijking is de doorbuigingsmeter steeds van groot belang.

Wat leren de leerlingen door dit onderzoek nu van mechanica ?

Ze leren veel van mechanica. Maar niet in formele termen: zo van een kracht van 5N, vektoren, aangrijpingspunten en dergelijke.

Wel 'gevoelsmatiger'. Meer van: als je hier op de brug iets neerzet heeft dat

BIJLAGE D9

een effect op een ander punt. Er gebeurt wat in de balken waardoor het effect wordt doorgegeven. De balken komen onder spanning te staan. En als de spanning te groot wordt gaan er vervormingen optreden of breken ze zelfs.

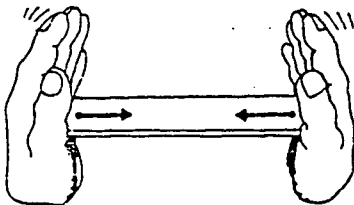
Dit 'gevoelsmatig' ervaren van het effect van een kracht moet ons inziens vooraf aan de formele invoering van kracht.

Die formele invoering stond tot vorig jaar ook in "bruggen". Toen werd er niet over trekspanning en duwspanning gepraat, maar over 'trekkracht' en 'duwkracht'. Dat bleek erg moeilijk voor de leerlingen. Enerzijds hoorden ze dat er kracht op één punt werkt en anderzijds zagen ze dat door die kracht er iets aan een hele balk of een heel touwtje veranderde. Vaak spraken de leerlingen dan ook van : deze balk is een 'duwkracht' en dit touw is een 'trekkracht'. Kracht werd geïdentificeerd met het onderdeel waarin dit werkte.

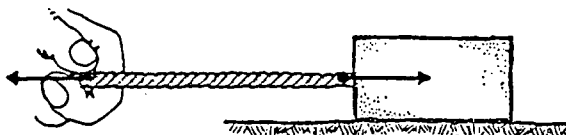
Nu wordt het begrip kracht en het vektorkarakter ervan stap voor stap ingeleid in het boekje 'Krachten'. Daarvan wil ik een stukje laten zien.

krachten en materiaalspanning

Als je met twee handen aan de uiteinden van een touw trekt, dan ontstaat er in dat touw een trekspanning.



Nu trek je met het touw aan een blok. Het touw is dan gespannen. In het touw zit dus een trekspanning. Dat kan alleen als er aan twee kanten aan het touw getrokken wordt. Aan de ene kant trekt je hand en aan de andere kant moet er dus door het blok aan het touw getrokken worden.



Uit: het boekje 'Krachten'

Op deze bladzijde ziet U hoe het begrip materiaalspanning en kracht aan elkaar geknoopt worden. Aan het eind van het boekje krachten moeten leerlingen de krachten die optreden in ons brugmodel bij belasting vektorieel kunnen tekenen en uitrekenen in één punt. Naar de ervaringen met het thema "Bruggen" zoals het er nu uit ziet en het boekje 'Krachten' wordt een onderzoek gedaan.

BIJLAGE D9

In deze vorm worden het thema en het boekje dit jaar voor het eerst gebruikt. De leraren hebben het gebruik van het begrip materiaalspanning algemeen positief ontvangen. Ze vinden 'Bruggen' daardoor veel werkbaarder geworden. Ze zetten wel kanttekeningen bij met name het opzetten van een onderzoek met werkvragen omdat hun ervaringen tot nu toe zijn dat het bouwen van een brug vaak al zoveel tijd kost dat de leerlingen nauwelijks meer aan verbeteren toekomen. Bij het lezen van leerlingvragenlijsten valt op dat zij trek- en duwspanningen in konstrukties heel goed kunnen aanwijzen en dat zij met heel veel plezier aan dit thema gewerkt hebben.

Zij vinden in het algemeen dat zij zinvolle dingen geleerd hebben die ook buiten de natuurkundeles bruikbaar zijn.

BIJLAGE II

MAKEN EN BREKEN (over materiaalspanningen)

De vliegtuigen gaan sneller en sneller, de gebouwen worden hoger en hoger. "Houden ze dat nog wel?" vraagt men zich af. Het antwoord op deze vraag wordt gegeven door belastingsproeven.

Er wordt gezegd: "De belasting van het tegenwoordige leven roept spanningen op". Wie dit zegt, weet waarschijnlijk niet dat beide begrippen uit de natuurkunde afkomstig zijn. Als men een voorwerp belast met een kracht, treedt er spanning of rek in op. We nemen een elastiekje dat aan een haak hangt. Als we aan het elastiekje trekken, dan zal het rekken. We belasten het met een bepaalde kracht. De toename in lengte is de rek. De rek is het gevolg van de kracht.

We hebben nu proefondervindelijk een verband vastgesteld tussen kracht en rek. Dit verband kan ook wiskundig worden uitgedrukt volgens een wet die werd ontdekt door de engelse natuurkundige Robert Hooke (1635-1703). Hij mat zorgvuldig de rek die veroorzaakt werd als diverse gewichten aan diverse verticale spiraalveren werden opgehangen. Hij stelde vast dat een verdubbeling van het gewicht een verdubbeling van de lengtevermeerdering van de veer veroorzaakte. Met andere woorden: een verdubbeling van de kracht verdubbelt de rek. Als we de kracht in een grafiek uitzetten tegen de rek, krijgen we een rechte lijn. De wet van Hooke luidt dus: de rek is evenredig met de kracht. De stoffen die zich volgens deze wet gedragen, noemt men elastische stoffen.

Samendrukken en rekken

De wet van Hooke geldt niet alleen voor trekkrachten, maar ook voor druk- en wring(torsie)krachten. Voor alle gevallen geldt, dat zolang de wet van toepassing is, de deformatie evenredig is met de kracht die hem veroorzaakt. Verder wordt de deformatie nul als er geen kracht meer wordt uitgeoefend. Dit houdt in dat alle vervorming - rekking, draaiing of buiging - verdwijnt als er geen kracht meer wordt uitgeoefend.

Uit de verhouding tussen kracht (of liever spanning, dat is de kracht per oppervlakte-eenheid) en rek valt de sterkte van een stof te berekenen, als we in die berekening de materiaalconstante of modulus van die stof verwerken. De engelse arts en natuurkundige Thomas Young (1773-1829) definiëerde bijvoorbeeld de naar hem genoemde elasticiteitsmodulus die de weerstand van een stof tegen trek en druk weergeeft. De elasticiteitsmodulus van staal is ongeveer vier maal zo groot als die van glas. Daaruit blijkt dat staal druk, trek en buiging beter weerstaat dan glas.

BIJLAGE I1

We kunnen een stof echter niet voortdurend blijven uitrekken. Na een bepaalde grens heeft een kracht in elke stof een blijvende vervorming tengevolge. Als we deze elasticiteitsgrens passeren en dan de kracht weer nul maken, blijft de stof enigszins gerekt. De rek heet blijvende rek. Als we bijvoorbeeld een stuk rubber rekken en weer loslaten, neemt het zijn oorspronkelijke lengte weer aan. Maar als we een stuk koperdraad te sterk rekken, behoudt het zijn nieuwe lengte omdat de elasticiteitsgrens van de stof overschreden is.

Een toenemende kracht na het passeren van de elasticiteitsgrens brengt de stof aan zijn bovenste vloeigrens. Dan verandert de structuur van de stof en glijden groepen atomen langs elkaar, waardoor de stof gaat vloeien. Dit gebeurt in de gehele staaf. Als we doorgaan met rekken na de bovenste vloeigrens, wordt de onderste vloeigrens bereikt waarbij het vloeien ophoudt en de stof verstevigt. Omstreeks het midden van de staaf wordt een zwak gedeelte verder uitgerekt dan de rest, waardoor de staaf hier snel dunner wordt. Dit dunnere stuk noemt men een insnoering. Als we nog verder doorgaan met rekken, breekt de staaf uiteindelijk op de insnoering. Staal breekt bijvoorbeeld bij een kracht van ongeveer 22.000 kilogram per vierkante centimeter, als we met een "gemiddelde" staalsoort te maken hebben. Een stalen staaf met een oppervlak van 1 vierkante cm op de dwarsdoorsnede houdt dus zo'n 22 ton.

Als men bouwsels ontwerpt die belast worden - b.v. bruggen en vliegtuigen - moeten de ontwerpers natuurlijk belastingen op delen van hun ontwerp vermijden waarbij breuk kan optreden. In de praktijk blijken de ontwerpers zelfs belastingen te vermijden die in de buurt van de elasticiteitsgrens komen, om te voorkomen dat zelfs het onbelangrijkste deel van hun bouwsel het risico van breken loopt.

Om vast te kunnen stellen hoe de belastingsverdeling in een bouwsel is, onderwerpt men het ontwerp vaak aan een spanningsanalyse. Hierbij meet men de rek van diverse delen van het bouwsel en berekent de erop uitgeoefende kracht volgens de wet van Hooke. Men maakt dan een model of een prototype van het bouwsel en brengt rekstrookjes aan op de te onderzoeken plaatsen. Het rekstrookje geeft de verandering in afstand weer tussen de twee punten van het bouwsel waaraan het is bevestigd. De afstandsvariatie wijzigt een bepaalde elektrische eigenschap van het strookje. Men meet deze wijziging en berekent hieruit de rek in het bouwsel op de plaats van het strookje.

Men kan ook een spanningsanalyse uitvoeren met behulp van het verschijnsel foto-elasticiteit. Bepaalde doorzichtige vaste stoffen zoals glas en celluloid beïnvloeden doervallend licht als ze belast worden. We kunnen dus een glazen model van een te onderzoeken bouwsel maken en dit belasten. De belastingverdeling in het model blijkt dan uit de beïnvloeding van het licht.

BIJLAGE II

Roosters

We geven een eenvoudig voorbeeld van de wijze waarop de spanningsanalyse een ontwerp beïnvloedt. Stel u een balk voor die op de dwarsdoorsnede vierkant is en aan zijn uiteinden ondersteund wordt. We belasten deze balk in het midden, waardoor hij zal doorbuigen. De onderste lagen van de balk worden dan gerekt en de bovenste samengedrukt. Op de middenlaag van de balk wordt weinig kracht uitgeoefend. De belasting komt dus grotendeels neer op de boven- en onderlaag van de balk. Daarom zal een balk met een I-vormige dwarsdoorsnede bijna even weinig doorbuigen als een balk die op de dwarsdoorsnede vierkant en hol is. De I-balk is natuurlijk lichter dan een holle vierkante balk met dezelfde buitenafmetingen en is daardoor gemakkelijker te vervoeren. Dit geringere gewicht telt ook mee bij de constructie van bruggen, hoge gebouwen en vliegtuigen e.d. die behalve een nuttige last ook hun eigen gewicht moeten dragen.

De sterkte van een stuk metaal is afhankelijk van de inwendige structuur van het metaal. Metalen bestaan uit nauw samenhangende kristallijne korrels, de zgn. kristallieten. De atomen liggen in elke kristalliet geordend volgens een regelmatig patroon dat met een rooster noemt. Op de raakvlakken tussen de kristallieten is het rooster vervormd. Als er veel raakvlakken zijn, is het metaal sterk. Met andere woorden hoe kleiner de kristallieten zijn, hoe groter het aantal raakvlakken is en hoe sterker het metaal is. Voor sterke metalen streeft men dus naar zo klein mogelijke kristallieten. Natuurlijk zou een bouw materiaal dat geheel uit één kristal bestond het allersterkste zijn, maar dat is praktisch niet te verwezenlijken.

Hoe sneller men een gesmolten metaal koelt, hoe kleiner de kristallieten in het gestolde metaal zullen zijn. Grote kristallen krijgen de tijd niet om te groeien.

Men heeft diverse methoden ontwikkeld voor het koelen van gegoten metalen. De wijze waarop het afkoelingsproces verloopt, bepaalt in hoge mate de eigenschappen van het gietstuk.

Om de sterkte van een metalen gietstuk te vergroten, maakt men de gietvorm meestal van een materiaal dat de warmte snel afleidt. Dicht bij de vorm stolt het metaal in zeer kleine kristallieten. Dieper in het metaal verloopt de afkoeling langzamer en vormen zich grote kristallieten. De kristallieten hebben de neiging om zich in kolommen op te stellen die een rechte hoek vormen met het oppervlak van de binnenwand van de vorm. Door deze vorm van kristallisatie blijft het inwendige van het gietstuk het langst vloeibaar. De verontreinigingen van het vloeibare metaal hopen zich in dit vloeibare gedeelte op en veroorzaken bij de uiteindelijke stolling een zwakke plek. Daarom is het midden van een stuk gietijzer vaak zwakker dan de rest.

Er kunnen ook zwakke plekken in gietstukken ontstaan als de gietvorm scherpe kanten heeft. Door de neiging van de kristallieten om zich onder een rechte hoek met de binnenwand van de gietvorm te formeren, komen de onderlinge raakvlakken in elkaars verlengde te liggen.

BIJLAGE 11

Dit verbindende vlak loopt van de scherpe vormkant naar het zwakke middenstuk van het metaal. Omdat scherpe vormkanten zo zwakke plekken veroorzaken, vermijdt men ze dus zo mogelijk bij het ontwerpen van gietstukken.

Hoewel de constructeurs ervoor waken dat enig deel van hun ontwerp ooit tot de elasticiteitsgrens (laat staan de onderste vloeigrens!) belast zal worden, kunnen zij breuk toch niet altijd vermijden als die veroorzaakt wordt door metaalmoeheid. Als een voorwerp vaak belast wordt - ook al gebeurt dat onder de elasticiteitsgrens - dan zal het stellig vroeg of laat door metaalmoeheid breken. De voortdurende belasting vervormt de kristallietenstructuur. Er ontstaan microscopische barstjes die langzaam groter worden. Als die onopgemerkt blijven, worden ze groot genoeg voor het ontstaan van een breuk. Metaalmoeheid heeft tal van vliegtuig-, trein- en auto-ongelukken veroorzaakt. Daarom gebruiken de spoorweg- en luchtvaartmaatschappijen draagbare röntgenapparatuur voor het vaststellen van gebreken in metaalconstructies.

Het onderzoek met behulp van röntgenstralen is ook van belang voor het opsporen van fouten in gietstukken. Nauwgezette veiligheidsinspecties staan er voor in dat reeds in twijfelgevallen het onderdeel wordt vervangen.

Allerlei materialen kunnen het op den duur ook begeven ten gevolge van kruip. In een voorwerp dat constant belast wordt, neemt de vervorming langzamerhand toe doordat de atomen ervan heel langzaam langs elkaar gaan glijden of vloeien. Bij het gebruik van beton onder zware belasting - zoals bijvoorbeeld in moderne gebouwen - kan kruip heel wat problemen opleveren. Metalen hebben minder weerstand tegen kruip naarmate hun temperatuur stijgt. Metalen onderdelen die bij hoge bedrijfstemperaturen moeten functioneren (bijvoorbeeld de schoepen in straalmotoren) zijn dus onderhevig aan kruip. Voor dergelijke omstandigheden heeft men speciale voor kruip weinig gevoelige legeringen samengesteld. Bij kruip gebeurt er binnen in het metaal bijna hetzelfde als bij de eerder besproken vorming van een insnoering. In beide gevallen glijden of vloeien de atomen van het metaal langs elkaar. Sommige stoffen vloeien reeds bij zeer lage belastingen. Men noemt die stoffen plastische stoffen. Ze bereiken hun bovenste vloeigrens bij een zeer geringe belasting en vervormen steeds verder bij belastingen die hun bovenste vloeigrens overschrijden. Als we de kracht tegen de rek uitzetten in een grafiek is het resultaat een korte rechte lijn tot de bovenste vloeigrens van de plastische stof. Deze gedraagt zich volgens de wet van Hooke als een elastische stof.

Na de bovenste vloeigrens verloopt de lijn echter evenwijdig aan de as waarop de rek is uitgezet, hetgeen inhoudt dat de plastische stof bijna oneindig kan worden vervormd.

Door de analyse van belasting en rek levert de theoretische natuurkunde wederom een bijdrage tot de hedendaagse techniek.

BIJLAGE I1

Het is niet genoeg als men weet dat een materiaal onder belasting rekt, breekt of vloeit. De natuurkundige wil weten waarom. Voor dit antwoord is zoals gewoonlijk kennis van de microstructuur van het materiaal vereist. Als hij eenmaal met die kennis gewapend is, kan de wetenschapsman materialen samenstellen met de door hem verlangde eigenschappen. Daardoor zijn de metalen en plastics van nu goed afgestemd op hun taak.

uit: Winkler Prins
Technische Encyclopedie

INFORMATIE

OVER

BRUGGEN

Aan een brug kunnen in het algemeen de volgende hoofdonderdelen worden onderscheiden: de *bovenbouw* is de constructie die de belastingen door eigen gewicht, verkeer, wind enz. rechtstreeks opneemt en overbrengt naar de opleggingen; de *opleggingen* verzekeren de vaste stand van de bovenbouw op de onderbouw. Zij moeten echter een zekere beweging van de bovenbouw door temperatuur, krimp of kruip toelaten, zonder dat er extra grote krachten optreden; de *onderbouw* (pijlers en/of landhoofden) moet de krachten uit de bovenbouw, te zamen met de krachten door grond-, water- of ijsdruk op de draagkrachtige ondergrond overbrengen.

Bij de keuze van de bovenbouw spelen zowel constructieve, als economische en esthetische overwegingen een rol. De aan de bouwplaats gebonden mogelijkheden van aanvoer en montage zullen vaak de keuze van het brugtype en het toe te passen materiaal mede bepalen. Ook de keuze van staal tegenover al dan niet voorgespannen beton zal op de hoofdconstructie en daarmee op het uiterlijk van de brug een belangrijke invloed uitoefenen. Omdat al deze overwegingen door een buitenstaander moeilijk zijn te doorzien, wordt deze geconfronteerd met een verwarrende veelheid van uiteenlopende constructiesystemen.

Men kan in principe een drietal hoofd-draagsystemen onderscheiden: 1. de hoofd-draagconstructie is voornamelijk op *trek* belast (hangbruggen); 2. de hoofd-draagconstructie is voornamelijk op *druk* belast (boogbruggen); 3. de hoofd-draagconstructie is voornamelijk op *buiging* belast (plaat- en balkbruggen). Tussen deze drie hoofd-systemen bestaan tal van combinaties en overgangsvormen: tuibrug, verstijfde staaf-boog, boog met trekband, portalen met rechte en schuine stijlen, onderspannen

balken, vakwerken, vierendeelligger, kokerliggers enz. Omdat men bij *hangbruggen* een zo groot mogelijke overspanning tracht te bereiken moet het eigen gewicht minimaal zijn. Daarom hangt de rijvloer via hangdraden aan enige, vaak twee, over-torens gespannen kabels van hoogwaardig staal. Deze rijvloer, die tevens dient om puntlasten van het verkeer over een grotere lengte te verdelen, wordt daarom als een min of meer buigvaste, stalen ligger uitgevoerd. Bij de *tuibrug*, die voor wat minder grote overspanningen in aanmerking komt, worden de tui-kabels weliswaar veelal in hoogwaardig staal uitgevoerd, maar voor de rijvloerconstructie kan zowel staal als voorgespannen beton worden gekozen. Hoewel er *boogbruggen* met hoog gelegen rijvloer in staal worden geconstrueerd, is voor dit type brug beton vaak het aangewezen materiaal. De massieve *plaatbrug* wordt uitsluitend in beton uitgevoerd, terwijl de *balkbrug* zowel in beton als in staal (plaat-liggerbrug) wordt vervaardigd.

Als een combinatie van de genoemde mogelijkheden vindt men in Nederland, waar grote horizontale krachten moeilijk door de fundering kunnen worden opgenomen, vaak een aangepast type boogbrug in een van de twee volgende vormen: de *boogbrug met trekband*: de laag gelegen rijvloer neemt als trekband de horizontale boogkrachten op. Omdat hier de boog lastverdelend moet werken, vertoont dit type een forse boog met een vrij lichte rijvloer. Dit brugtype is vooral vóór de oorlog veel uitgevoerd, zowel in staal als in beton (bijv. de stalen verkeersbruggen bij Vianen en bij Hendrik-Ido-Ambacht); de *verstijfde staafboog*: hierbij wordt de verkeerslast hoofdzakelijk verdeeld door de buigstijve rijvloerconstructie die tevens als trekband fungeert. De rijvloer wordt ontlast door een lichte boogconstructie die uitsluitend op druk wordt belast. Het resultaat is een vrij slanke boog ten opzichte van een zware rijvloer (bijv. de spoorbrug te Schalkwijk, de verkeersbrug bij Deventer). Ook dit type wordt zowel in beton als in staal uitgevoerd.

Hoewel de constructeur in vele gevallen de vrije keus heeft tussen staal en voorgespannen beton als materiaal voor de hoofd-draagconstructie of een combinatie hiervan, geeft men voor spoorbruggen met grote overspanning tot nu toe aan stalen bruggen de voorkeur.

Een andere belangrijke factor die de keuze van materiaal en hoofd-draagsysteem beïnvloedt, is het zoeken naar het goedkoopste montagesysteem, dat de brugsituering toelaat. Belangrijke vraagpunten zijn: is het mogelijk om tijdelijke hulpsteunpunten toe te passen of is vrije uitbouw nodig, en: hoe groot zijn de constructiestukken in verband met de outfitage van de fabriek en de wijze van vervoer naar de bouwplaats.

BIJLAGE 12

Hoe groter de stukken zijn die in de fabriek kunnen worden gebouwd, des te economischer zal vaak het gehele ontwerp zijn. Bij zeer grote overspanningen en moeilijke montagesituaties is staal in het voordeel ten opzichte van voorgespannen beton, hoewel ook daarvoor recentelijk montagesystemen zijn ontwikkeld, die grote overeenkomst vertonen met de systemen die voor staal gebruikelijk zijn.

Bij betonnen bruggen wordt de methode van ter plaatse storten met een dure, plaatsvast bekisting nog slechts toegepast voor ondergeschikte bruggen; de werkwijze is vervangen door kosten- en materiaalbesparende methodes, waarbij eenzelfde bekisting vele malen wordt gebruikt. Een voorbeeld hiervan is: bij steigerloze uitbouw wordt de brug in moten met een lengte van 3...5 m vanuit de pijler(s) naar weerszijden uitgebouwd. Zo zijn overspanningen mogelijk tot meer dan 200 m. De moten worden ter plaatse gestort of als geprefabriceerde elementen aangevoerd (bijv. de bruggen bij Bendorf, Deventer, Zwolle). Bij lange bruggen over moeilijk toegankelijke hindernissen (bijv. diepe dalen) is de aanvoer van materiaal en materieel niet eenvoudig. De brug kan van één zijde af worden gebouwd met behulp van een stalen hulpconstructie, waaraan de bekisting voor het storten van de moten wordt opgehangen of waarop de geprefabriceerde elementen worden geplaatst. Bij veldgewijze bouw wordt een over vele velden doorgaande brug per gehele veldlengte op een verschuifbare bekisting vervaardigd; veldlengte tot ca. 50 m (bijv. deel Kleinpolderplein). Bij prefabricage wordt de brug in langs- en/of dwarsrichting in een aantal gelijke, transporteerbare delen verdeeld; deze worden in de fabriek (soms op de bouwplaats) vervaardigd en op het werk tot één geheel verenigd, doorgaans met behulp van voorspanwapening. De voegen worden gevuld met beton, cementspecie of lijm, of de voegvlakken sluiten koud tegen elkaar (contactbouw). De lengte van de langselementen wordt door transportmogelijkheden over de weg beperkt tot ca. 30 m. Dwarselementen worden door stalen hulpconstructies ondersteund en door middel van voorspanning in langsrichting verenigd. Er zijn overspanningen van meer dan 100 m bereikt. Bij de schuifmethode wordt de brug op de ene oever in moten van 10...15 m vervaardigd en telkens na het gereedkomen van een moot over een mootlengte in de richting van de andere oever verschoven. Wordt de afstand van de normale steunpunten (pijlers) te groot, dan kunnen o.a. tijdelijke hulpsteunpunten worden toegepast. De methode kan worden toegepast voor rechte en gebogen bruggen met constante kromtestraal en doorsnede; overspanningen zijn mogelijk tot ca. 70 m (bijv. de IJsselbrug te Zutphen).

De beweegbare brug wordt alleen daar toegepast waar waterverkeer wordt gekruist. Het kruisende verkeer zal, als het niet onder het water door of er hoog overheen kan, van een beweegbare brug gebruik moeten maken. Omdat verkeersonderbrekingen als steeds hinderlijker worden ondervonden, wordt de toepassing van beweegbare bruggen zoveel mogelijk beperkt tot die situaties waarbij het landverkeer onmogelijk naar boven (hoge brug) of naar beneden (tunnel) kan uitwijken, dus vooral in wooncentra. Vooral waar zeescheepvaart moet passeren, dus over de benedenrivieren, zijn in de laatste vijftig jaar in Nederland een aantal soms minder fraaie hoge hefbruggen gebouwd. Deze zijn kostbaar, zowel door het verkeersopontheoud, als door bediening en onderhoud. Waar mogelijk worden ze thans door nog duurder tunnels vervangen, doch de verkeershinder is grotendeels opgelost.

De beweegbare bruggen, tot op heden uitsluitend in staal gebouwd, tonen een nog groter aantal uiteenlopende typen dan de vaste bruggen. Er zijn verschillende manieren om een brug beweegbaar te maken; bijv.:

de *draaibrug* draait om een verticale as in het horizontale vlak;

de *hefbrug* wordt met behulp van heftorens en meestal met contragewichten in zijn geheel verticaal omhooggehesen. Via kabelschijven boven in de torens is de brug door middel van staalkabels aan de contragewichten bevestigd. De torens en kabels dienen tevens voor de verticale geleiding; de *ophaal- en basculebruggen* draaien om een horizontale as, die meestal evenwijdig aan de vaarrichting loopt. Bij de ophaalbrug bevindt zich een contragewicht boven het rijdek, zodanig dat het verkeer eronderdoor kan. Bij een basculebrug bevindt zich het contragewicht, indien aanwezig, aan het achtereinde van de klap. Dit contragewicht beweegt zich onder het rijdek, in Nederland meestal in een kelder.

Vroeger werden de beweegbare bruggen zonder of met behulp van tandwieloverbrengingen met handbediening geopend en gesloten. Later werden deze overbrengingen door elektrische machines aangedreven. Echter bij de draaibrug kan het openen en sluiten met handkracht tot vrij grote overspanningen in redelijke tijd geschieden.

Na de veelal open tandwieloverbrengingen kwamen de gesloten tandwielkasten. Ook deze werden elektrisch aangedreven. Bij de moderne beweegbare bruggen geschiedt het openen en sluiten soms met behulp van hydraulische systemen.

MODELONDERZOEK BIJ BRUGGENBOUW

Tijdens het thema "Bruggen" bouwen de leerlingen een model van een brug, belasten die en kijken waar de zwakke punten van de brug zitten. Op die punten moet de brug versterkt worden. In het verleden is van deze methode gebruik gemaakt, met name in de periode van de bouw van grote spoorbruggen in de 19e eeuw toen men nog de nodige ervaringen met vormen en materialen moest opdoen.

Het volgende stuk, geschreven door C.Q. Klap in het mededelingenblad van de directie Bruggen "Bruggenspraak", no. 1, 1980, beschrijft het modelonderzoek van de Brittannia-brug:

Het tracé voor de grootste kokenbrug over Menai werd gekozen uit twee alternatieven. Het eerste ontwerp voor deze spoorbrug was een boogbrug. Dit plan werd vervangen in verband met de scheepvaart. Eén en ander werd nog eens extra aangedikt door de voorstanders van het andere tracé. Een hangbrug had al bewezen voor een spoorbrug te slap te zijn. Stephenson leek voor een onoplosbaar probleem te staan. In dit stadium moet hij zich een eerder ontwerp voor de Hertford en Ware tak van de "Northeren en Eastern Railway" gerealiseerd hebben. Dit ontwerp bestond uit een smeedijzeren platform bestaande uit een aantal cellen die opgebouwd waren uit boiler platen die met behulp van hoekstalen aan elkaar geklonken waren. Zo moet het idee gegroeid zijn dat een met dit principe gebouwde koker het antwoord was op zijn probleem. Als voorzorgsmaatregel dacht hij de kokers, zoals dat gebeurt bij de hangbruggen, met kabels te dragen. Een mislukte te waterlating van een schip te Blackwail had tot gevolg dat dit schip over 40 meter lengte in de lucht bleef hangen en veronderstelde dat ten gevolge van de ontstane spanningen de scheepsbeplating het zou begeven. Dit gebeurde niet en daarmee werd de sterkte van een koker, wat de scheepsromp in wezen is, bewezen.

Overtuigd van de mogelijkheden van dit principe verzocht hij William Fairbairn een aantal model-proeven te doen. Aanvankelijk bezat Fairbairn een adviserend scheepsontwerpbureau en een scheepswerf te Manchester, later opende hij eveneens een fabriek in Millwall in de buurt van Londen. Naast de normale productie werden hier proeven gedaan ten aanzien van de mechanische eigenschappen van gietijzer met behulp van door hemzelf ontwikkelde apparatuur. Ook beproefde hij smeedijzeren platen en klinkverbindingen. Het was in deze fabriek dat de proeven voor de Britanniabrug werden uitgevoerd.

BIJLAGE 13

De beproevingen heilden in het testen van kokers van verschillend materiaal en verschillende doorsnede zoals ovaal, cirkelvormig, vierkant en rechthoekig, allen al of niet gesteund met draagkabels. De proeven gaven merkwaardige resultaten. Men was gewend dat gietijzer zwak is voor de opname van trekspanningen. Om aan dit probleem tegemoet te komen had men van een aantal buizen de bodem, die de trekspanningen moet opnemen, verdikt. Het bleek echter al snel dat juist de top onder invloed van de drukspanningen de zwakke plek was. Er trad plooï op en de buizen bezweken lang voordat de berekende sterkte was bereikt. Naarmate Fairbairn meer overtuigd raakte van de juiste vorm werden de proeven op een steeds grotere schaal gedaan, wat uitgroeide tot een schaal van 1:6. Zo werd de proefkoker 23 meter lang, 1,4 meter hoog en 0,9 m breed. De proeven aan dit model werden gestart met in de top 2,5 x meer materiaal als in de bodem. Bij deze verhouding, dacht men, zou de bodem het eerst bezwijken. Er zou vervolgens steeds meer materiaal aan de bodem worden toegevoegd totdat men de meest optimale doorsnede zou hebben.

Bij de eerste proef ging dit op maar bij de 2e proef bleek echter dat niet de top en niet de bodem bezweken, maar de zijkanen, doordat er plooïdiagonalen in ontstonden. Deze plooïvorm had tot gevolg dat er vertikale verstijvers werden aangebracht. Met de kokers van de eerdere beschreven afmetingen werden de volgende 6 proeven gedaan:

1e proef:

doorsnede top 2,5 x bodem bezwijklast 36t, bodem bezwijkt

2e proef:

bodem grotere doorsnede als 1e proef, bezwijklast 43t, diagonaal plooï in zijwand

3e proef:

met verstijvingen in de zijwand bezwijklast 56t, bodem bezwijkt

4e proef:

doorsnede bodem 75% van de top, bezwijklast 66t, bodem bezwijkt

5e proef:

zijwaarts gedrukt t.b.v. opnamen t.g.v. wind

6e proef:

doorsnede bodem 90% van de top, bezwijklast 86t, top bezwijkt.

In werkelijkheid zou de breuklast 36x en het eigen gewicht 216x zo groot zijn als bij de laatste proef, men berekende hiervan uitgaande voor de te bouwen brug een breuk puntlast van 2000 ton.

Het extrapoleren van de resultaten naar de gewenste overspanning was voor Stephenson, Fairbairn en Hodgkinson door hun tegengestelde meningen niet eenvoudig. Hodgkinson was een vooraanstaand theoreticus die gespecialiseerd was in instabiliteits problemen. Toen Fairbairn tijdens zijn proeven met de instabiliteit van de plaatvelden werd geconfronteerd legde hij zijn probleem aan Hodgkinson voor.

BIJLAGE 13

Hodgkinsons adviseerde wel en Fairbairn adviseerde geen draagkabels te gebruiken voor de ondersteuning van de koker. Uiteindelijk werd gekozen voor de koker zonder draagkabel.

Naderhand is er van verschillende kanten kritiek op het ontwerp van de Brittanniabrug gekomen, met name omdat de brug met minder materiaal toch steviger had gekund. Zo werd er aan de hand van een kartonnen model aangetoond dat men met het halve gewicht aan "verstijvers" in de zijwanden een grotere sterkte had kunnen krijgen door deze verstijvers onder 45° te plaatsen in plaats van vertikaal.

De ontwikkeling is in die richting verder gegaan en heeft geleid tot vakwerkbruggen die veel lichter zijn dan de kokervorm van de Brittanniabrug.

Zo was het gewicht van de Brittanniabrug (klaar in 1850) 23 ton per meter, het gewicht van één van de eerste vakwerkbruggen bij Crumlin slechts 2,5 ton per meter. Een belangrijk verschil is wel dat de overspanning van Crumlin slechts 1/3 is van die van de Brittanniabrug.

Hoe meer inzicht men kreeg in de sterkte van materialen en vormen, des te meer kon men berekeningen doen aan bruggen en des te minder deed men aan modelonderzoek. Op het ogenblik wordt er geen belastingsonderzoek meer gedaan aan modellen (natuurlijk wel aan gedeelten van modellen, bijvoorbeeld de pijlers of de sterkte van het gebruikte beton) maar alles wordt (met de computer) berekend. Modellen worden alleen nog gebruikt voor onderzoek in windtunnels en esthetische beoordeling. Zo heeft men een model van de Van Brienenoordbrug in windtunnels getest. Dat heeft er toe geleid dat het wegdek niet aan verticale, maar aan diagonaal gespannen kabels is opgehangen. De meeste nieuwe bruggen worden van voorgespannen beton via de vrije voorbouw methode gemaakt. Dat model is zo goed bekend dat er ook geen windtunnelonderzoek meer nodig is. Als er - voor Nederland nieuwe - brugvormen - zoals de hangbrug die ontworpen is als onderdeel van de Westerschelde-verbinding - gebruikt gaan worden is modelonderzoek in windtunnels onontbeerlijk.

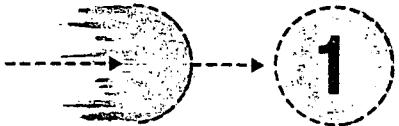
Op het ogenblik (juli 1981) staat er een model van de Van Brienenoordbrug in de hal van het gebouw van de Directie Bruggen in Voorburg. Deze zal gebruikt worden bij de beslissing op welke wijze de Van Brienenoordbrug verbreed zal worden.

BIJLAGE 14

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

Willemsbrug





In juli 1981 gaat de nieuwe Willemsbrug over de Nieuwe Maas open. Het is een symmetrische tuibrug met A-vormige pylonen, die maximaal ruimte zal bieden aan het openbaar vervoer, dat twee vrije banen tot zijn beschikking krijgt, aan fietsers en voetgangers, waarvoor aan weerszijden ruime paden worden aangelegd. Voor het overige verkeer zijn er drie banen, waarvan er tijdens de spitsuren één van richting wordt veranderd, al naar gelang de richting van de spits. Kortom, een stads- en mensvriendelijke brug.

Geschiedenis

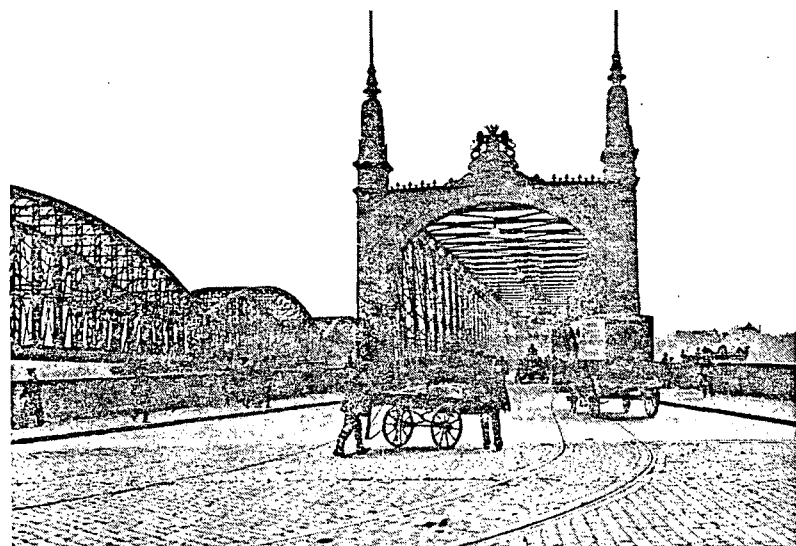
325.000 Rotterdammers op de rechter Maasoever. 245.000 op de andere oever. De Rotterdammers van de ene kant moeten regelmatig naar de overzijde. En omgekeerd. Om naar hun werk te gaan. Of om oma in de bejaardenflat op te zoeken. Om een bioscoopje te pikken of van een concert in De Doelen te genieten. Hoe ook, zij verplaatsen zich en op de spitsuren doen zij dat

plaats moet inruimen voor de nieuwe generatie. In juli 1981 staat dat ook te gebeuren, want dan is de nieuwe Willemsbrug gereed. Binnen een jaar na het ingebruiknemen hiervan moet de oude brug, inclusief de pijlers, gesloopt zijn. Die oude brug is eigenlijk allang op en versleten. Geen wonder, want hij ligt er al sinds 1878, meer dan honderd jaar dus.

Toen hij werd geopend op 24 oktober 1878 – nadat hij daags tevoren was beproefd door er sleeperswagens met een last van 4.000 kilo elk, eerst stapvoets, daarna in draf, overheen te laten rijden – telde Rotterdam nog maar 100.000 inwoners. Op de zuidoever woonden niet meer dan enige duizenden mensen in wat nu dichtbevolkte deelgemeenten of wijken zijn, zoals Charlois, Feijenoord, IJsselmonde en Katendrecht. De behoefte de spoorwegnetten aan weerszijden van de grote rivieren aan elkaar te koppelen en particuliere initiatieven voor havenuitbreidingen op de linker Maasoever hebben een belang-

als gezegd de Willemsbrug. Sindsdien zijn er nog tal van nieuwe oeververbindingen gekomen: de Maastunnel in 1942, de Van Brienenoordbrug in 1965. In 1967 bij Schiedam en Pernis de Beneluxtunnel. En in 1968 de metro.

Jarenlang is men van plan geweest ook de Willemsbrug door een tunnel te vervangen. In 1959 adviseerde de Werkgroep Willemsverbinding een gecombineerde spoor-verkeerstunnel met 2 sporen en 2 x 3 rijstroken aan te leggen. Hierdoor zou men van het probleem af zijn, dat het landverkeer door het waterverkeer wordt gehinderd en omgekeerd. Maar de spoorwegen haakten af, omdat zij het plan te duur vonden. Vervolgens vatte men het plan op een aparte verkeerstunnel aan te leggen. In 1969 gaf het gemeentebestuur opdracht dit plan uit te werken op basis van 100.000 auto's per dag. In 1970 besloot men in principe een 2 x 3-strooks Willemstunnel te bouwen. Maar in 1974 was, niet alleen in Rotterdam, de visie op de relatie tussen de functie van de binnenstad en het gemotoriseerd verkeer totaal veranderd. Het gevolg was, dat het, inmiddels nieuwe, gemeentebestuur, weinig meer voor het tunnelplan voelde. Daar waren gegronde redenen voor: de auto dreigde de centra van de grote steden, ook van Rotterdam, te verstikken. Om de woonfunctie hiervan nieuw leven in te blazen was het noodzakelijk de auto te weren door het doorgaand verkeer niet meer door het centrum te leiden, vrije parkeerplaatsen af te schaffen en het openbaar vervoer te bevorderen. In die visie paste geen zesstrooks Willemstunnel meer. Wel het plan voor een nieuwe Willemsbrug, die in plaats van zes nog maar drie stroken voor de auto zou omvatten met hiernaast twee vrije busbanen en twee ruime fiets- en voetgangerspaden aan beide zijkanen.



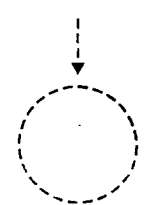
Zo zag de Willemsbrug er in 1900 uit

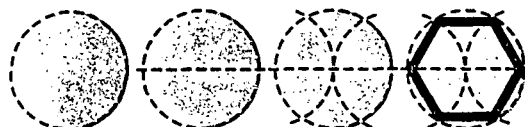
massaal. Voeg daar het overige verkeer aan toe, dat zich door de stad spoedt, en de gemiddeld 500 schepen, die dagelijks over de Nieuwe Maas varen en daar de bruggen als hinderpalen op hun weg vinden. Ziedaar Rotterdams verkeersproblemen in een notedop.

De Willemsbrug speelt in dit verhaal een hoofdrol. Hij is al een oude acteur, die hoognodig zijn

rijke bijdrage geleverd aan de totstandkoming van de oeververbindingen. Zo kwam uiteindelijk ook de Willemsbrug tot stand, nadat eerst de Koningshaven was gegraven en het Noordereiland was ontstaan, ten behoeve van de bruggenbouw.

In 1876 ging de Koninginnebrug tussen dit eiland en de zuidoever open, in het jaar erna volgden de beide spoorbruggen en in 1878



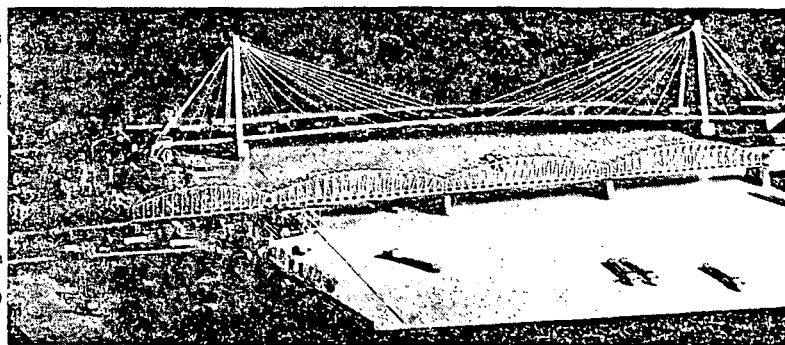


Hoe hoog?

Een belangrijke vraag hierbij was hoe hoog die brug dan wel zou moeten worden. In het verleden had men de oude Willemsbrug tot twee keer moeten opvijzelen, omdat het landverkeer enorm veel hinder ondervond van het feit, dat de bruggen over de Koningshaven steeds open stonden. Door de Willemsbrug te verhogen kon dit euvel worden verminderd. Aldus geschiedde: in 1926-27 vijzelde men de brug op van 3,30 meter plus NAP naar 7,60 meter plus NAP, in 1973 vervolgens voor de middenoverspanning naar 9,25 meter, dezelfde hoogte als de spoorbrug. Ook bij die hoogte moet nog steeds een aanzienlijk deel van de vaartuigen de route via de Koningshaven kiezen, omdat zij niet onder de vaste Willemsbrug door kunnen.

In de zogenaamde Akte van Mannheim werd door de Rijnlanden besloten, dat nieuwe bruggen over de Rijn voortaan minimaal een hoogte van 9,10 meter boven de hoogst bekende vaarbare waterstand moeten hebben. Voor de Willemsbrug kwam dit neer op een hoogte van 12,50 meter plus NAP over 200 meter. Hierop werden dan ook zes verschillende ontwerpen gebaseerd, die in 1975 aan de Rotterdamers ter beoordeling werden voorgelegd. Algemeen ging de voorkeur uit naar een stalen tuibrug, waarvoor vier ontwerpen waren gemaakt. Uiteindelijk viel de keuze op het goedkoopste ontwerp: een symmetrische tuibrug met A-vormige pylonen, waarbij de tuinen parapluvormig uit de pylonen komen.

De bouwkosten hiervan werden op 120 miljoen gulden geschat. Het Rijk bleek echter niet bereid om hierin financieel bij te dragen, zodat naar een goedkopere oplossing moest worden gezocht. Die vond men uiteindelijk in de verlaging van de brughoogte. Hierdoor werden de dure op- en afritten een stuk lager en dus goedkoper. Aldus werd besloten. De nieuwe Willemsbrug zou over 150 meter een doorvaarthoogte van 11,50 meter + NAP krijgen bij een totale doorvaartbreedte van 260 meter. De kosten werden in 1976 op 97 miljoen gulden begroot. Het Rijk draagt hierin 35 miljoen gulden bij. Zolang de spoorbrug nog niet, zoals NS van plan is, door een andere oeververbinding is vervangen, maakt die ene meter verschil voor de scheepvaart weinig uit. Maar de brug wordt wel zodanig gecon-



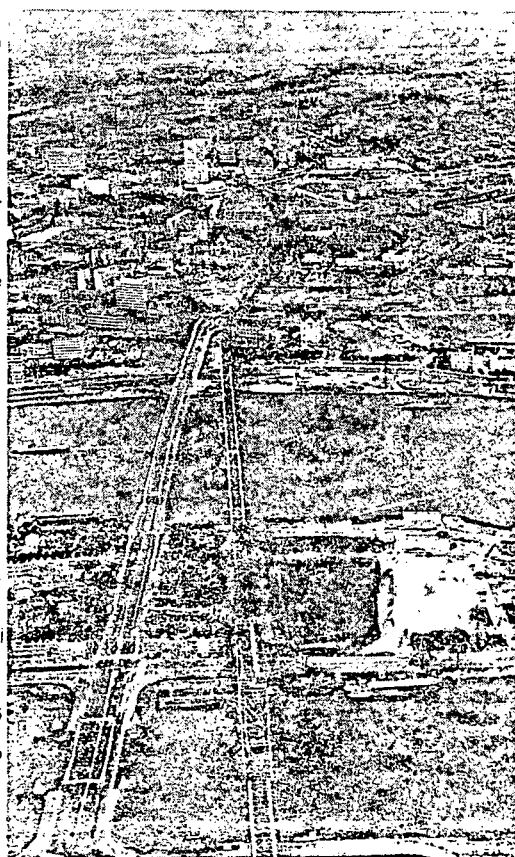
strueerd, dat hij te zijner tijd naar de voorgeschreven Rijnvaart-hoogte van 12,50 meter kan worden opgevijseld. Men zal hier echter alleen toe overgaan, als het belang voor de scheepvaart kan worden aangetoond.

Plaats

De nieuwe Willemsbrug ligt vlak bij de oude, maar nu aan de andere (oost)zijde van de spoorbrug. Op het Noordereiland komt hij uit op een open gedeelte. De

huizen, die hier vroeger stonden, zijn destijds al gesloopt met het oog op de aanleg van een tunnel. Aan de noordkant sluit de brug aan op de Maasboulevard en op de Verlengde Willemsbrug, die naar de Blaak leidt. Men heeft besloten het tracé een bocht te laten maken om het historisch stadsgebied rond Oude Haven, Wijnhaven en Haringvliet te sparen. De pijler is in de rivier gekomen als gevolg van deze bocht.

De maquette toont hoe de situatie wordt als de Willemsbrug is voltooid



De bocht in het tracé was nodig om het gebied rond Oude haven, Wijnhaven en Haringvliet te sparen



Willemsbrug onderbouw



Een van de opmerkelijkste aspecten van de betonnen onderbouw zijn de indrukwekkende ballastblokken, die in de beide landhoofden zijn opgenomen. Deze blokken zorgen voor het noodzakelijke evenwicht van krachten, die aan de pylonen trekken. Maar ook de pyloonfunderingen van de zuid- en noordpijler bezorgden de ontwerpers en de uitvoerders de nodige problemen. Evenals de beide landhoofden zelf. Met name aan de noordkant, waar oude funderingen het heien van betonnen palen onmogelijk maakte.

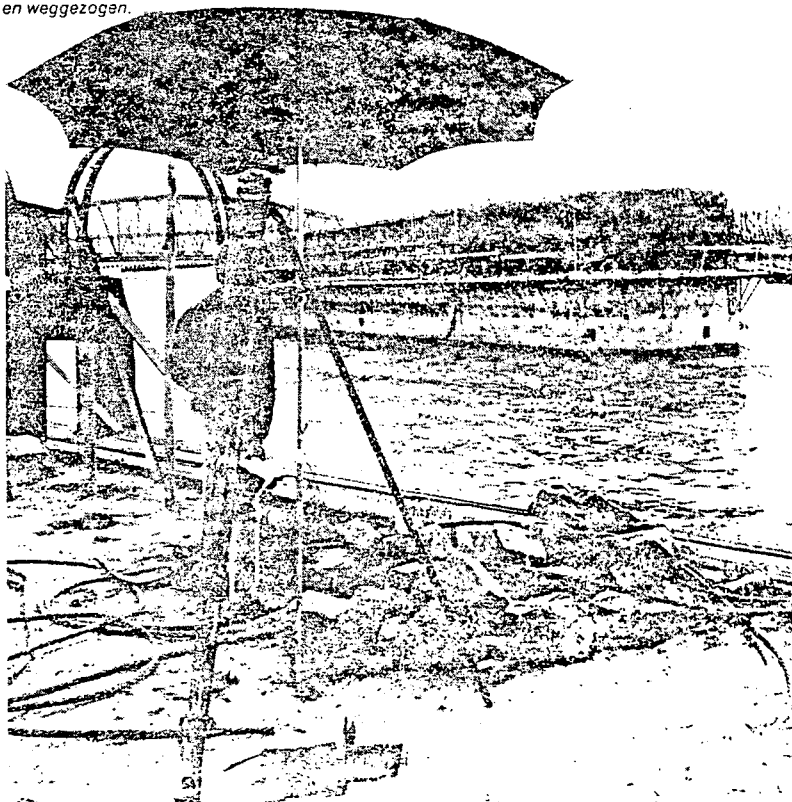
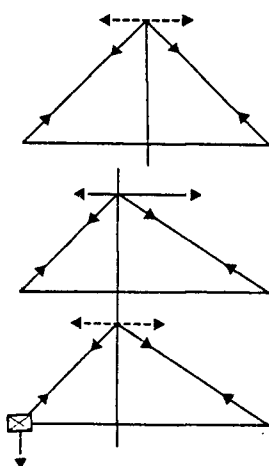
Aan de noordzijde wordt bovendien nog een aantal viaducten gebouwd, die het tracé doen aansluiten op de verlengde Willemsbrug. In de landhoofden zijn ballastblokken met een gewicht van 60.000 kN (6 miljoen kilo-zuid) en 70.000 kN (7 miljoen kilo-noord) aangebracht. Hierin zijn aan beide kanten zes tuien van de eindvelden verankerd. Dit was noodzakelijk omdat de twee eindoverspanningen van de brug te kort zijn in verhouding tot de hoofdoverspanning. Door het aanbrengen van de ballastblokken heeft men ervoor gezorgd, dat de eindoverspanningen samen in evenwicht zijn met de hoofdoverspanning voor allerlei belastingsituaties. Zou dit niet het geval zijn, dan zouden de pylons omver worden getrokken. Voor het zuidelijke blok werd 2.400 m³ en voor het noordelijke 2.800 m³ gestort. De afmetingen

van de blokken zijn indrukwekkend: aan de noordkant 4,50 meter hoog, 15 meter breed en 42 meter lang; aan de zuidkant 4,5 x 35 x 15 meter. Aan de zijkanten van de ballastblokken zijn 6 pijpen verwerkt, waar de tuien door worden gevoerd om aan de onderzijde van het blok te worden verankerd. Zij worden ook wel het pijporgel genoemd. Het storten van de blokken leverde tengevolge van de warmte die tijdens de verharding vrijkomt de nodige problemen op. Hierdoor zouden er in de betonmassa te grote temperatuurverschillen kunnen ontstaan. Maaswater, dat men door stalen buizen door het beton liet stromen, moest zorgen voor de noodzakelijke koeling. De inwendige constructie van de ballastblokken met hun vele voorspankabels was zo ingewikkeld, dat men er eerst een maquette van heeft gebouwd.

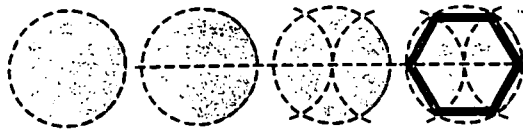
2

De onderbouw omvat twee pijlers en twee landhoofden in het rivierkruisend gedeelte. De zuidelijke pijler is in de kademuur opgenomen, de noordelijke staat in verband met de bocht in het tracé vrij in de rivier. De landhoofden sluiten aan op de op- en afritten.

Op deze wijze werd het caisson van de noordpijler geplaatst: het water in de werkkamer onder het caisson werd weggevoerd waarna de grond hier werd losgespoten en weggezogen.



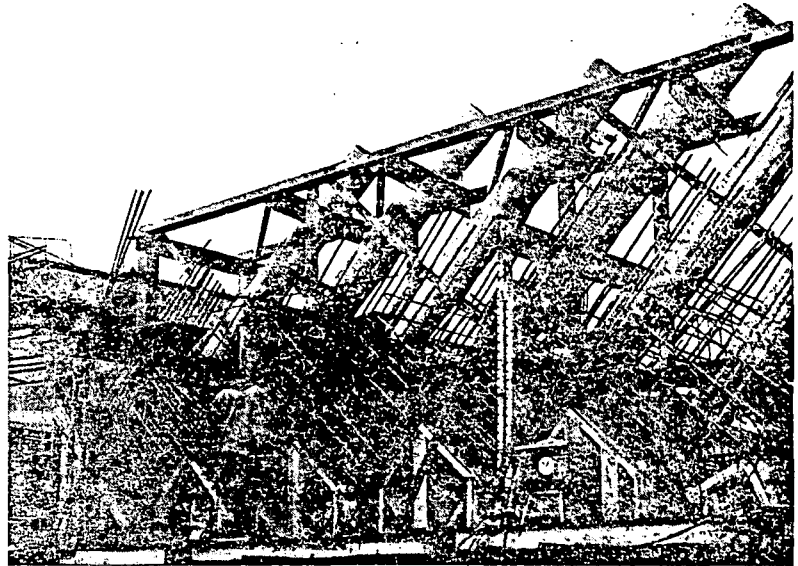
BIJLAGE 14



Bij de keuze van de funderings-eenheden voor het noordelijk landhoofd moest men rekening houden met de aanwezigheid van funderingsresten, o.a. houten schoorpalen van oude kademuuren, welke men niet volledig kon verwijderen. Omdat hier bovendien het vaste punt van de brug is gekozen moeten hier horizontale krachten in de dwars- en de langsrichting van de brug kunnen worden opgevangen. Deze krachten worden veroorzaakt o.a. door wind, remmen en temperatuursverschillen.

Onder normale omstandigheden zou men deze krachten opvangen met behulp van voorgespannen betonnen schoorpalen (een schoorpaal wordt onder een helling in de grond gebracht).

Door de te verwachten obstakels in de grond zou de toepassing van deze palen echter grote risico's met zich mee brengen. Daarom gebruikte men stalen palen met een diameter van 1,42 meter, die men dwars door de funderingsresten heen heide. Bovendien werden deze palen buigvast met de betonnen onderbouw verbonden. Ook op het Noordereiland werd er geheid, maar hier kon men gebruik maken van betonnen palen (121) en schoorpalen (64), 3 op 1.



onder de caisson, waarna de grond hier door speciaal opgeleid en gekeurd personeel werd losgespoten en weggezogen. De pijler moest zo diep worden afgezonken, niet alleen om hem de nodige stabiliteit te geven, maar ook om hem een mogelijke aanvaring door schepen te kunnen laten doorstaan.

De zuidpijler is tot 25 meter min NAP gefundeerd. De stalen palen van de zuidpijler zijn tot een diepte van 25 meter min NAP ingeheid.

De tulen worden door ziden aan weerszijden van het ballastblok ook wel naar de porgel gebracht en gevormd aan de onderkant van het blok verankerd.

Technische gegevens

Landhoofd Noord

Vaste punt uit onderbouw steekt een betonnen doorn (afmetingen 3,50 x 7 m.) in het ballastblok. Ballastblok 4,50 m. hoog, 15 m. breed, 42 m. lang. Materiaal 2.800 m³ voorgespannen beton. Gewicht: 70.000 kN (7.000 ton)

Landhoofd Zuid

Fundering betonnen palen 450 x 450 mm., met een lengte van 24,5 tot 26,5 m. Toegepast 121 palen, 64 schoorpalen 3:1 Ballastblok 4,5 m. hoog, 35 m. breed, 15 m. lang. Materiaal 2.400 m³ voorgespannen beton. Gewicht: 60.000 kN (6.000 ton).

Pijler Noord

Afmetingen 31,5 m. hoog, 9 m. breed, 54 m. lang. Afgezonken tot een diepte van 22,5 min NAP. Materiaal gewapend beton en voorgespannen beton (vulling caisson met zand).

Pijler Zuid

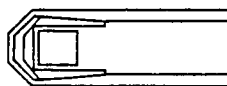
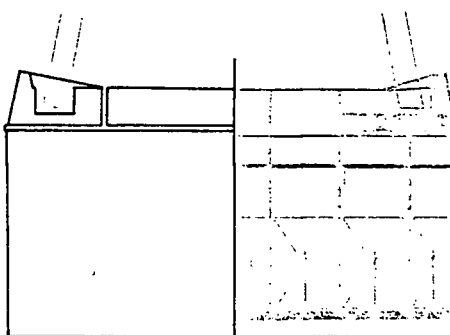
Hoogte pijler boven waterniveau 9 m. plus NAP. Fundering 18 (2 x 9) stalen palen gevuld met beton met een diameter van 1,42 m. Materiaal gewapend beton.

De pijlers

De beide pylonen van de brug rusten op pijlers. Aan de zuidkant is deze pijler in de kademuur opgenomen. Het gewicht van de pylon en van de hieraan opgehangen brug wordt hier opgevangen door 18 palen (9 palen per poot) met een diameter van 1,42 meter.

De vloer tussen de pylon-fundaties heeft een dikte van 1 meter en fungeert als gording voor de ankerkrachten van de damwand, die hierdoor ook een grotere stabiliteit verkrijgt. De constructie van de noordelijke pijler had heel wat meer voeten in

de aarde. In het bouwdoek Madroel bij Pernis werd hiervoor de caisson gebouwd. In augustus 1978 werd deze caisson naar zijn definitieve plaats gesleept, op de bodem neergezet en opgebouwd, nadat men eerst de ondergrond had verbeterd door de slappe lagen weg te baggeren en te vervangen door zand. Vervolgens werd hij ingegraven tot een diepte van 22,50 meter min NAP. Hiertoe perste men met luchtdruk het water uit de werkkamer



De bouw van de zuidpijler begon in 1978. Het was de bedoeling om de pijler in de kademuur op te nemen. Het gewicht van de pylon en van de hieraan opgehangen brug wordt hier opgevangen door 18 palen (9 palen per poot) met een diameter van 1,42 meter.

BIJLAGE 14

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM



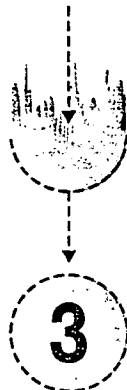
Willemsbrug bovenbouw

Het brugdek van de Willemsbrug hangt geheel vrij van de onderliggende pijlers aan de tuien, die parapluvormig uit de pylonen waaiëren. Dankzij deze constructie kon dit brugdek verhoudingsgewijs dun zijn en dat was weer een belangrijke voorwaarde om uit de problemen te komen bij de passage van het spoortrace aan de noordoever. Natuurlijk zit het brugdek wel vast aan de landhoofden. Aan de noordkant kan het echter in het horizontale vlak een weinig draaien en aan de zuidkant heeft het een speelruimte van 150 mm in de langsrichting van de brug. Dit met het oog op het krimpen en uitzetten van de brug tengevolge van temperatuursverschillen.

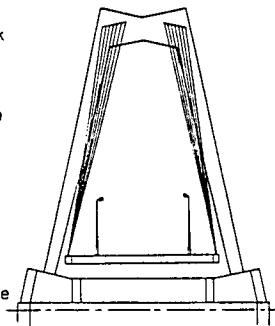
Het brugdek van de Willemsbrug kan men beschouwen als een lange, dunne plank, die door zou zakken onder het gewicht van het verkeer als hij geen steunpunten zou hebben. Pijlers mochten er niet in de rivier geplaatst worden, want die zouden een belemmering hebben gevormd voor de scheepvaart. Daarom heeft men voor de pylonenconstructie gekozen, waarbij het brugdek aan 65 meter hoge A-vormige pylonen is opgehangen met tuien met een dikte, variërend van 82 tot 118 mm., die parapluvormig uit de pylonen waaiëren. Men koos voor deze constructie, omdat het van belang was de constructiehoogte van het brugdek, dat wil zeggen de afstand van de bovenkant van het rijdek tot aan de onderkant van de hoofdliggers, zo gering mogelijk te laten zijn. Die constructiehoogte bedraagt nu 1,50 meter. Zou hij groter zijn geweest dan zouden de op- en afritten van de brug, waarvan de onderkant 11,50 plus NAP ligt, te steil zijn geworden en zou men ook in de problemen zijn gekomen bij de passage van het spoortrace aan de Maasboulevard. De tuien lopen niet door de pylonen heen, maar zijn er aan weerszijden in verankerd. Aan de landzijde lopen zij naar de ballastblokken, aan de rivierkant naar het brugdek, dat er op onderlinge afstanden van 15,887

meter aan opgehangen is. Het dek bestaat uit 23 secties. 20 secties van 15,887 meter, bij de landhoofden een sectie van 11 meter en een sluitsectie van 9 meter. Elke sectie bestaat uit twee kokervormige hoofdliggers met hiertussen, om de 5,295 meter een dwarsdrager. Op deze dwarsdragers ligt het stalen dek, dat wordt ondersteund door 50 kleine kokervormige langsliggers in de breedte. Het brugdek heeft een totale lengte van 366 meter en het is 34,3 meter breed. Om die breedte maximaal te kunnen benutten heeft men de tuien aan de zijkan ten bevestigd. De indeling van het rijdek is als volgt: in het midden drie rijbanen, waardoor men de rijrichting van een van de banen kan veranderen tijdens de spitsuren in de richting van de spits; aan weerszijden hiervan twee vrije busbanen en aan de zijkan ten – van het snelverkeer gescheiden door vangrails – twee ruime fiets- en voetgangerspaden. Onder het brugdek lopen de leidingen van de openbare nutsbedrijven naar het Noordereiland. De brug is berekend op een verkeer van 35.000 voertuigen per

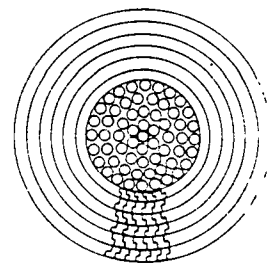
etmaal. Hoewel de vangrails dit etmaal. Hoewel de vangrails dit vrijwel onmogelijk maken zou de brug toch niet instorten als er een zware vrachtauto-combinatie tegen een tui zou oprijden. In de eerste plaats hebben die tuien, ondanks hun dikte, een zekere elasticiteit. Maar bovendien is de brug zo geconstrueerd, dat er niets gebeurt, zelfs al zou er onverhoopt een tui uitvallen. De tuien zijn van het zogenaamde gesloten type, zodat het weer er geen enkele invloed op kan uitoefenen. Ze bestaan uit een kern van ronde draadjes met een doorsnee van 5 mm met hier omheen 3 tot 6 lagen Z-vormige draden, die het geheel waterdicht afsluiten. Elk afzonderlijk draadje is van een zinklaag voorzien. Bovendien is elke geslagen laag nog door een verfbad gehaald. De verf in de kern blijft altijd vloeibaar, zodat hij niet kan indrogen. Op deze manier blijft hij volledig van zuurstof afgesloten. De verf aan de buitenkant van de tuien droogt natuurlijk wel. Door deze methode is een maximale levensduur van de tuien gegarandeerd; praktisch gesproken moeten zij tot in de eeuwigheid mee kunnen.



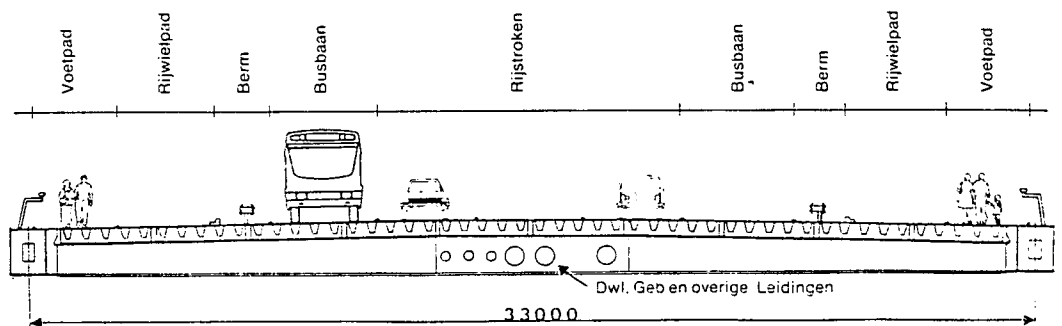
De indeling van de brug is gebaseerd op de nieuwe visie op de functie van het openbaar vervoer, het fiets- en voetgangersverkeer in de binnenstad. Voor het overige verkeer zijn er 3 stroken, waarvan men een strook van van richting laat veranderen of naar de richting van het verkeer.



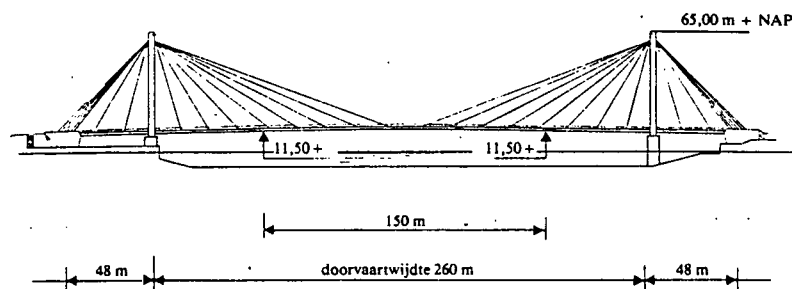
Het brugdek hangt geheel vrij van de pijlers



Doorsnee van een tui



BIJLAGE 14



Zijaanzicht van de Willemsbrug



De brug beweegt. Bij het ontwerpen is vanzelfsprekend uitgegaan van de krachten, die verticaal en horizontaal op de brug inwerken. Door hitte zet hij uit, bij koude krimpt hij in. De wind oefent er invloed op uit, alsmede het verkeer dat erover rijdt. Met al deze factoren is rekening gehouden. Hiertoe heeft de brug een bepaalde 'speelruimte' gekregen. Aan de noordkant is hij vast met de wal verbonden, maar dit vaste punt is zo geconstrueerd, dat de brug in het horizontale vlak een weinig kan draaien. Aan de zuidkant heeft men een zogenaamde hardconstructie toegepast, die de brug in de langsrichting een speelruimte van 150 mm geeft, zowel bij het uitzetten als bij het inkrimpen. Hiervoor is men, volgens voorschrift, uitgegaan van de althans voor ons land extreme temperaturen van 45°C boven nul en van 25°C onder nul.

Hooftelementen in de bouw
Op 27 mei 1978 ging de eerste paal voor het zuidelijk landhoofd de grond in. In augustus van dat jaar werd de caisson voor de noordpijl afgezonken. Op 21 juni 1979 werd het aansluitstuk zuid van de brug tegen het ballastblok aangelegd. In augustus 1979 volgde de plaatsing van de zuidelijke pyloon op de zuidpijl. In november 1979 werd het noordelijke aansluitstuk voltooid. De noordelijke pyloon werd op 17 maart 1980 op zijn plaats gebracht. Als laatste brugsectie wordt eind 1980 het sluitstuk van de brug gemonteerd. De eigenlijke brugconstructie is dan voltooid. Men heeft dan echter nog wel een aantal maanden nodig om het geheel af te werken. Er moeten leuningen, vangrails en lichtmasten worden geplaatst, het wegdek moet worden geasfalteerd, de rijstrooksignalering en de laatste verflaag aangebracht worden. Begin juli 1981 kan de nieuwe Willemsbrug in

gebruik worden genomen. Spoedig hierna begint men met de sloop van de oude brug. Inclusief de pijlers moet die uiterlijk een jaar erna verdwenen zijn.

De montage
Voordat de pyloon op het Noordereiland werd geplaatst, werden de eerste drie brugsecties van het zuidelijk landhoofd tot boven de pijlers gemonteerd. Hiervoor werden twee hulppijlers geplaatst, waarna met behulp van een drijvende bok de secties op hun plaats konden worden gebracht. De montage van het gedeelte tussen de pijlers geschiedt als volgt: de secties worden met een hijs-montage-ligger, die op de twee laatst geplaatste brugsecties ligt, van een

drijvende bak getild, op hun plaats gehangen en bevestigd. De secties worden eerst met het stalen dek aan elkaar gelast. Daarna volgt het lassen van de constructie onder het dek. Per sectie heeft men voor het plaatsen, lassen en monteren drie weken tijd nodig. Eerst werd het zuidelijk deel van de brug gemonteerd, die hierdoor als een reusachtige duikplank naar het midden van de rivier groeide. Het plaatsen van de zuidelijke pyloon nam drie dagen in beslag. Eerst werden de twee poten, die elk 160.000 kilo wegen, met een drijvende bok op hun plaats getild. Deze poten zijn elk met 96 bouten, die een diameter van 42 mm hebben, in de pijler verankerd.

Op de derde dag werd de kop van

de pyloon met een gewicht van 260.000 kilo op de beide poten geplaatst. De montage van de noordelijke pyloon – in maart 1980 – had op dezelfde manier plaats. Voor de montage van het brugdek aan het noordelijk landhoofd moest men op een wat andere manier te werk gaan dan aan de zuidoever, omdat hier direct boven het water moest worden gewerkt. Daarom bevestigde men hier eerst stalen liggers aan het aansluitstuk, die tot aan de noordpijl reikten. Vervolgens werden de volgende twee secties door een drijvende bok op deze liggers gelegd en bevestigd. De overige secties werden op dezelfde manier gemonteerd als die van de zuidelijke helft van de brug.

Kosten en organisatie

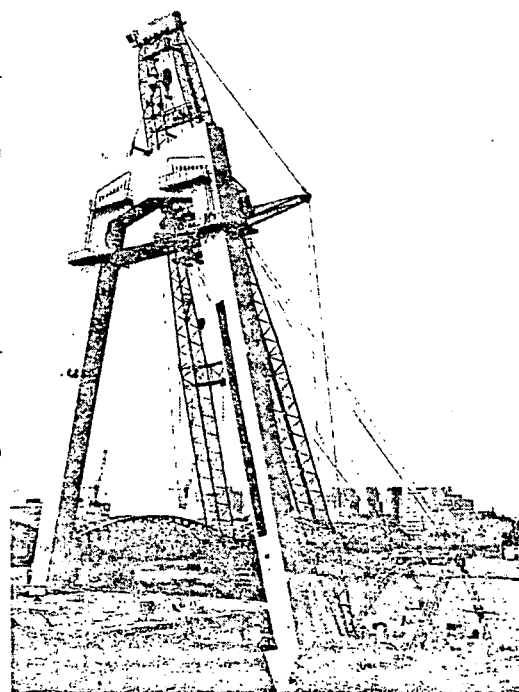
Totaal beschikbaar krediet (per 1 januari 1977)	f 96 milj.
Rijksbijdrage	f 35 milj.

Als volgt verdeeld:

stalen brug	f 35 milj.
onderbouw inclusief kunstwerken	f 30 milj.
verhardingen/wegen	f 13 milj.
grondwerken (nat)	f 6,5 milj.
verkeerslichten	f 2,5 milj.
Directie	f 2 milj.
adviezen	f 3 milj.

Organisatie

Projectteam samengesteld uit de volgende afdelingen van Gemeentewerken:
Projectmanagement, Bouwkunde, Waterbouw, Havenwerken, Grondmechanica, Wegen, Staalbouw, Landmeten, Groen, Constructie en Ontwikkeling, Financiële beheersing en planning.



BIJLAGE AV1

KEUZELIJST VAN HET NBLC VAN DE MATERIALEN BEHOREND BIJ HET THEMA BRUGGEN

Deze lijst is opgesteld door het N.B.L.C.

N.B.L.C.
Postbus 93054
2509 AB 's-GRAVENHAGE
tel. 070-264351

1. Informatieve boeken voor volwassenen
718.3
Kruisinga, J.
Amsterdam, stad der duizend bruggen
696.2
Over wegen
Weten waard, Het / deel 3 blz. 745-748
Weten waard, Het / deel 7 blz. 2269-2272
2. Informatieve boeken voor de jeugd
J 696
Bruggen en tunnels
J 693.5
Bruijn, W. de
Bouwen met beton
JN 041
Onze wereld, dl. 7
Over arbeid en industrie, blz. 60
J 696.5
Ruim, Th.
Bruggen in Nederland (Lantaarnreeks; no. 24)
3. Serie informatie
Donk, P.P.
Bruggen (informatie; no. 184)
Leeuwis, L.J.
Veerdiensten in Nederland (informatie; no. 114)
4. Diaseries
J 696.1
Bruggen en sluizen
Astado (Wereldoriëntatie; no 380)
Met handleiding

BIJLAGE AV1

5. Brochures

Over bruggen; techniek in bruggenbouw
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1978

6. Signaleringslijsten

TIJDSCHRIFTARTIKELN BEHOREND BIJ HET THEMA BRUGGEN

Buck, R.

Westerschelde; bij Kruiningen Perkpolder wordt overbodige brug
gebouwd.

De Nieuwe Geografenkrant 4 (1980) no. 3, blz. 56, afbn. krt. lit.

Bakker, H.

Twijfels rondom de Westerschelde

Blikopener 19 (1978) no. 1, blz. 16, afbn.

BIJLAGE AV2

VERDERE LITERATUUR

Literatuur over Bruggen die op het PLON ingezien kan worden:

- buitenlandse schoolboeken over bruggen:
 - . Structures
Engeneering Science Project
Schools Council - Macmillan Education
 - . Simple Bridge Structures
Project Technology Handbook / 2
Heinemann Educational Books / Schools Council
 - . Structures and Forces Stage 1/2 en stage 3
SC 5/13
Macdonald Educational
 - . Structures
Engeneering Science Project
Schools Council - Macmillan Education
- Diverse publicaties van Rijkswaterstaat - directie Bruggen, o.a.
 - . diverse nummers van het mededelingenblad "Bruggenspraak"
 - . jubileumnummer van de directie Bruggen "50 jaar overbrugd"
 - . "over bruggen"
 - . "bruggen"
 - . "de Moerdijkbrug"
 - . "de stalen tuibrug over de Waal bij Ewijk"
- Bij de afdeling Voorlichting van de directie Bruggen
Julianalaan 372
Voorburg
tel. 070-694131
zijn diverse publicaties aan te vragen, o.a.
 - . "over bruggen"
 - . "de Moerdijkbrug"
- Bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat
afdeling Voorlichting
Plesmanweg 4
Den Haag
tel. 070-747710 of 747343
zijn schoolbrieven aan te vragen:
 - . het water en wij
 - . de grote rivieren
 - . hoe komt een weg tot stand?
 - . zuiderzeewerken
- Bij de dienst Gemeentewerken Rotterdam, afdeling Voorlichting
Veemarkt 2
Rotterdam, tel. 010-139140, zijn folders over de bouw van de
Willemsbrug verkrijgbaar, die ook als bijlage I 4 in deze AVOL
zijn opgenomen, blz. 89.

APPARATUURGIDS

INHOUD	BRUGGEN
Inleiding	90
Benodigdheden per proef of onderzoek	92
Bijzonderheden	97
Materiaaloverzicht	99
Adressen	101

INLEIDING

INFORMATIE OVER DE VORM EN DE INHOUD VAN DE APPARATUURGIDS

1. Benodigdheden per proef en onderzoek

Dit overzicht bestaat uit twee kolommen. De linker kolom bevat aanwijzingen voor de proeven. In de rechter kolom staan de benodigde materialen en apparatuur.

Iedere proef wordt apart weergegeven. Voor de proef staat een verwijsnummer (....) in de kantlijn, dat correspondeert met het nummer (....) van de proeven in het leerlingenmateriaal. Het verwijsnummer is ook van belang voor de overzichtslijsten. Daarmee wordt het materiaal teruggekoppeld naar de proeven, zodat onmiddellijk vastgesteld kan worden hoe vaak en waar het materiaal in de diverse proeven gebruikt wordt. Een (b) voor het verwijsnummer betekent, dat deze proef een basisproef is.

In de linker kolom wordt tevens aangegeven:

- de plaats van de proef in het themaboek, bladzijdenummer
- de werkvorm, bijvoorbeeld leerlingenproef, demonstratieproef
- korte samenvatting van leerdoelen en leerlingactiviteiten in relatie met de aard van de benodigdheden die in de rechter kolom staan
- foto's en/of tekeningen indien deze ter verduidelijking nodig zijn.

In de rechter kolom staan per proef de benodigdheden.

Indien nodig wordt door een ! teken de leraar opmerkzaam gemaakt voor proefjes die extra aandacht en voorbereiding vragen.

Aanwijzingen die van speciaal belang zijn, worden in de betreffende kolommen omkaderd; in de linker kolom in het belang van de les, in de rechter kolom met betrekking tot de proef.

Tussen de regels staan vaak kleine tips en alternatieven vermeld.

Bouwtekeningen en foto's waarin staat hoe men zelf diverse apparaten kan bouwen en samenstellen, staan tussen de teksten in of bij bijzonderheden in een werktekening.

2. Materiaaloverzicht ten behoeve van aanschaf, organisatie en berging

Deze lijst is onderverdeeld in 4 rubrieken:

- specifieke apparatuur en materiaal
- meten
- algemene hulpmiddelen zoals statiefmateriaal en dergelijke
- verbruiksmateriaal, zoals papier en dergelijke, lijm, potjes, blikken, waarmee leerlingen zelf apparaten kunnen maken.

INLEIDING

Iets over materiaal dat nodig is in één les.

Als u beslist, dat bepaalde proeven klassikaal of door meer dan twee groepjes gedaan moeten kunnen worden, of dat de groepen rouleren langs de proeven (stations-practicum), dient u deze lijst zelf in te vullen. Toegevoegd is een kolom extra, voor uitbreidingen.

Via de verwijssnummers komt u bij de proeven terecht.

Er is ook een kolom diversen of alternatieven met ruimte voor aantekeningen voor bijvoorbeeld adressen, eigen alternatieven en dergelijke.

Deze lijst kan tevens dienen voor gefaseerde aanschaf en voor het opbergen.

3. Bijzonderheden, onder andere bouwbeschrijvingen en tekeningen

4. Waar verkrijgbaar

De adressenlijst bevat hoofdzakelijk adressen van leveranciers van leer- en hulpmiddelen voor de natuurwetenschappen. Handig is het om zelf een lijstje samen te stellen van bedrijven, winkels in de omgeving van de school waar het verbruiksmateriaal en dergelijke verkrijgbaar is.

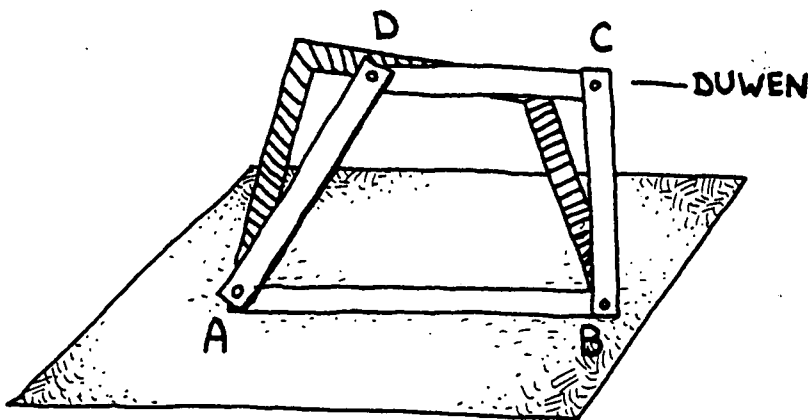
BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

verwijs- nummer	beschrijving proef of onderzoek	benodigdheden
<u>ORIENTATIE</u>		
3. Uitzetten in inkrimpen van bruggen		
(1)	PROEF Spleet tussen brugdek en de vaste wal opmeten op een warme en een koude dag	- schuifmaat - thermometer - plasticine
<u>THEORIE</u>		
1. Materiaalspanningen in bruggen		
B (2)	PROEF 1.1. Het effect van doorbuigen bekijken	- schuimrubber bv 10x5x2 cm - viltstift - gewicht
B (3)	PROEF 1.2. Verschillende materialen op trekspan- ning onderzoeken	- hout - papier - karton - klei - elastiek - touw
B (4)	PROEF 1.3. Verschillende materialen op trek- spanning onderzoeken	- hout - papier - karton - klei - elastiek - touw
2. Stevigheid en vorm		
B (5)	PROEF 2.1. Een brug van papier maken	- vellen (A4) papier - 2 boeken of iets dergelijks - gewichten - lijm
(6)	PROEF 2.2. Van papier profielenbaken maken en beproeven	- papier (A4) - lijm

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

- B (7) PROEF 2.3.
Een vierhoek verstevigen

- stevig karton
- schaar
- splitpennen
- perforator



- (8) PROEF 2.4.
Onderzoeken waar de zwakke punten
in het driehoek zitten

- karton
- schaar
- splitpennen
- perforator

gebruik bij voorkeur
kartonnen met splitpennen

3. Gewicht en tegenwicht

- B (9) PROEF 3.1.
Evenwicht herstellen m.b.v. gewicht-
jes op verschillende afstanden van
het draaipunt

- statiefmateriaal
- gewichtjes (25 gram)
- lat met draaipunt in het
midden. Vanuit het draaipunt
om de cm een spijkertje

- (10) PROEF 3.2.
De momentenwet controleren

- plankje bv 65x10 cm
- gewichten bv 1 kg en 100 gr

4. Stabiliteit

- B (11) PROEF 4.1.
Verandering in stabiliteit van een
voorwerp onderzoeken door vergroting
grondvlak

- stabiliteitsinstrument
- punaises
- karton

- B (12) PROEF 4.2.
Verandering in stabiliteit onder-
zoeken door massa verschuiving in
een voorwerp

- stabiliteitsinstrument

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

B (13)	PROEF 4.3. Idem proef 4.2.	:	- stabiliteitsinstrument
(14)	PROEF 4.4. Voelen dat een zwaarder voorwerp moeilijker kantelt		- kartonnen doos - boeken of iets dergelijks
B (15)	PROEF 4.5. Zwaartepunt van een voorwerp bepalen	:	- stabiliteitsinstrument - touwtje
(16)	PROEF 4.6. Idem proef 4.5.	:	- stuk karton met verschillende ophangpunten (zie fig. boek) - touwtje - gewichtje bv 25 gram
B (17)	PROEF 4.7. Het verband tussen stabiliteit en zwaartepunt ontdekken	:	- stabiliteitsinstrument - touwtje - gewichtje bv 25 gram
(18)	PROEF 4.8. Verschillende voorwerpen "balanceren"		- verschillende voorwerpen bv stok, krukje of stoeltje

ONDERZOEKEN

B (19)	ONDERZOEK 1 Een brug bouwen en onderzoeken	:	- papier, karton - lijm - nietjes, nietmachine - touw etc. - doorbuigingsmeter
--------	---	---	--

Wordt de wedstrijdvorm gehanteerd bij het bouwen van bruggen door verschillende groepen, maak dan van te voren goede afspraken

Laat leerlingen zoveel mogelijk zelf voor bouwmaterialen zorgen

B (20)	ONDERZOEK 2 Zelf een hijskraan bouwen		- gewichten, bv zakjes of plastic flessen gevuld met zand - karton - papier - touw - nietmachine of - schaar - plankje 20 x 15 cm - gewichten (à ½ kg)
--------	--	--	---

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

- | | | |
|------|---|---|
| (21) | ONDERZOEK 3
Momentenwet controleren met behulp van een hijskraan van statief materiaal | <ul style="list-style-type: none">- diverse gewichten- statief materiaal- weegschaal (0-5 kg) |
| (22) | ONDERZOEK 4.1.
Verschillende zelfgemaakte pijlers beproeven | <ul style="list-style-type: none">- tekenpapier- gewichten of boeken (gelijke)- cellotape |
| | ONDERZOEK 4.2.
Zelfgemaakte balken beproeven | <ul style="list-style-type: none">- balsahout of- karton- schaar of- stanley mes- lijm- cellotape- gewichten (knikkers)- doorbuigingsmeter |
| | ONDERZOEK 4.3.
Brugdek verstevigen met driehoeken | <ul style="list-style-type: none">- velletjes papier- lijm- gewichten 1 N (knikkers) |
| (23) | ONDERZOEK 5.1.
Momentenwet uitvoeren | <ul style="list-style-type: none">- gymbank of plank 300x30x4 cm- gewicht 100 N of- stenen |
| | ONDERZOEK 5.2.
Belasting in pijlers onderzoeken | <ul style="list-style-type: none">- twee personenweegschalen- plank 300x30x4 cm- twee blokjes |
| | ONDERZOEK 5.3.
Momentenwet verklaren met behulp van een boek | <ul style="list-style-type: none">- boek |
| (24) | ONDERZOEK 6.1.
Stabiliteit en zwaartepunt onderzoeken | <ul style="list-style-type: none">- 3 potten of bekens- plankje- punaises |
| | ONDERZOEK 6.2.
Zwaartepunt bepalen | <ul style="list-style-type: none">- karton- schaar- touw- gewichtje, b.v. 25 gram- tempex (piepschuim)- saté stokjes |

BENODIGDHEDEN PER PROEF OF ONDERZOEK

ONDERZOEK 6.3.

Toveren met behulp van het
zwaartepunt

- beker of kopje
- knoop
- 2 vorken
- leren riem
- knijper
- zaag
- karton
- schaar
- touw
- muntjes

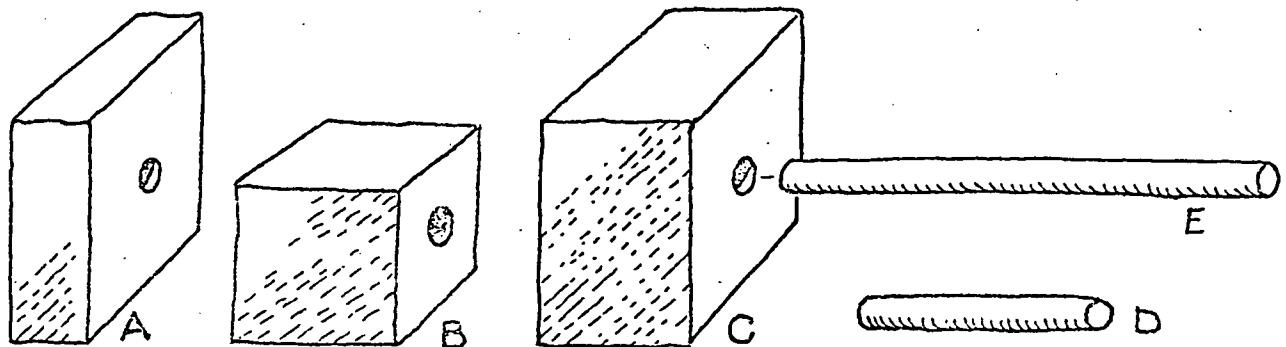
ONDERZOEK 6.4.

Zwaartepunt ervaren

- stoel

BOUWBESCHRIJVINGEN

Stabiliteitsinstrument



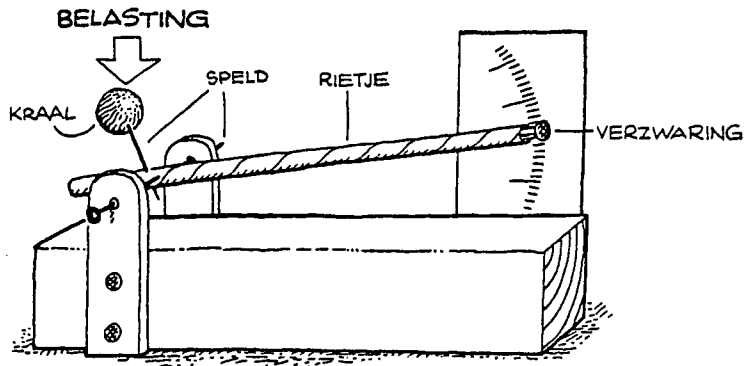
- blokje A 8x8x2 cm
- blokje B 5x5x5 cm
- blokje C 8x8x5 cm
- stokje E 20x1 cm Ø
- stokje D 10x1 cm Ø



- 2 plankjes, b.v. 20x8 cm
- kartonnen graden verdeling
- punaises

BIJZONDERHEDEN

Doorbuigingsmeter



- spijkers
- blokje hout
- spelden
- kraal
- rietje
- karton (wit)
- ijslollyestokje

MATERIAALOVERZICHT

	aantal		verwijs- nummer	kosten		opmerkingen en eventuele alternatieven
	basis	extra		basis	extra	
SPECIFIEKE APPARATUUR						
stabiliteits- instrument	4	2	11,12,13, 15,17			afvalhout
doorbuigings- meter	1	1	19,22			
gymbank		1	23			plank 300x30x4 cm
lat met draai- punt	1		9			30x2 cm
METEN EN WEGEN						
schuifmaat		1	1		f 25,--	
thermometer 0-100°C		1	1		f 7,--	
weegschaal 0-5 kg		1	21		f 25,--	huishoudweegschaal
personen- weegschaal	2		23	f 40,--		
ALGEMEEN HULPMATERIAAL						
gewicht - diverse 0,25 - 0,1 - 0,5 - 1 - 5 kg	x	x	2,5,9,10, 16,17,20, 22,23	x	x	diverse alternatieven beschikbaar
statiefma- teriaal	x	x	9,21	x	x	
GEREEDSCHAP						
schaar	3	1	7,8,20,24	f 12,--	f 4,--	
perforator	3	1	7,8,19,20	f 45,--	f 15,--	
stanleymes		1	22		f 10,--	eventueel schaar
zaag		1	24		f 20,--	
vork		2	24		-	lenen

MATERIAALOVERZICHT

	aantal		verwijs- nummer	kosten		opmerkingen en eventuele alternatieven
	basis	extra		basis	extra	
VERBRUIKS- MATERIAAL						
plasticine (pakje)		1	1		f 2,--	
schuimrubber	x		2			afval (10x5x2 cm)
viltstift	1		2	f 1,--	f 2,--	
hout			3,4,10,20 23,24			afval
papier	x		3,4,5,6, 19,20,22			restant
klei (pakje)	1		3,4	f 2,--		evnt. plasticine
elastiek (pakje)	1		3,4	f 1,50		
touw (rol)	1		3,4,15,16, 17,19,20, 24	f 2,--		
lijm (pot/ tube)	1		5,6,19,22	f 1,50		
karton (stevig)	x	x	4,7,8,11, 14,19,20, 24			afval; leerlingen meenemen
splitpennen (pakje)	1		7,8	f 2,--		
punaïses (doos)	1		11,24	f 1,75		
cellotape (rol)		1	22		f 1,50	
balsahout		x	22			karton
potten of bekers		3	24			meenemen
tempex		x	24			schuimrubber
saté-stokjes (pakje)		1	24		f 1,50	
knoop		1	24			lenen
leren riem		1	24			lenen
knijper (pakje)		1	24		f 1,50	
CHEMICALIËN	geen					

ADRESSEN

Met de firma Breukhoven is een samenwerkingsovereenkomst betreffende de levering van een compleet pakket PLON-materiaal.
Informatie hierover bij:

Breukhoven BV
Mathenesserlaan 400
3023 HD Rotterdam
Postbus 6044
3002 AA Rotterdam
Tel. 010-767688.

Depex B.V.
(nat. instr. Phywe)
Dorpsstraat 85
3732 HH De Bilt
Postbus 27
3730 AA De Bilt
tel. 030-763111

Emaf B.V.
(gasmeters, gerevideerd)
Nijverheidsstr. 3a-b
3071 GA Rotterdam
tel. 010-855266

Griffin Europa B.V.
(nat. instr.)
Rudonk 18
4824 AJ Breda
Postbus 1121
4801 BC Breda
tel. 076-412080

Harris
(nat. instr.)
(zie Breukhoven)

I.P.C.
(kwh-meter, gerevideerd)
De Grootkade 2
1052 LP Amsterdam
tel. 020-842325

Leybold-Nederland
(nat. en scheik. instr.)
Ohmweg 12
3442 AA Woerden
Postbus 90
3440 AB Woerden
tel. 03480-14145

Malmberg
(nat. instr. + Banativ)
Leeghwaterlaan 16
5223 BA Den Bosch
Postbus 233
5201 AE Den Bosch
tel. 073-215565

Econosto
Admiraliteitskade 75
Postbus 4060
3006 AB Rotterdam
tel. 010-141500

Meterfabriek Dordrecht
(gasmeters, nieuw)
Lijnbaan 12
3311 RL Dordrecht
tel. 078-186066

Merkelbach Fysica B.V.
(nat. instr. + Kröncke)
Gildeweg 18
3771 NB Barneveld
tel. 03420-16406

Model Engeneering B.V.
(waterpompjes PSN)
Bangert 23
1689 CJ Zwaag (N.H.)
tel. 02292-1577

Nooitgedagt en Zn. B.V.
(gereedschappen)
Eegracht 12
8651 EG IJlst
Postbus 1
8650 AA IJlst
tel. 05155-1441

Phywe (zie Depex)

Snijkers Handel MIJ. B.V.
Hfd. Kantoor:
Industriestraat 2
Postbus 5750
3290 AB Strijen
tel. 01854-2400
Voor depots:
zie RIB boek

Radio Twente
(recordermotortjes)
Stille Veerkade 11-13
2512 BE Den Haag
tel. 070-469200

Technowa B.V.
(nat. instr. unilab. e.d.)
Industrieweg 35
1512 NE Wormerveer
tel. 075-285767

Technische Unie
(metalen, draad e.d.)
in iedere grote stad

