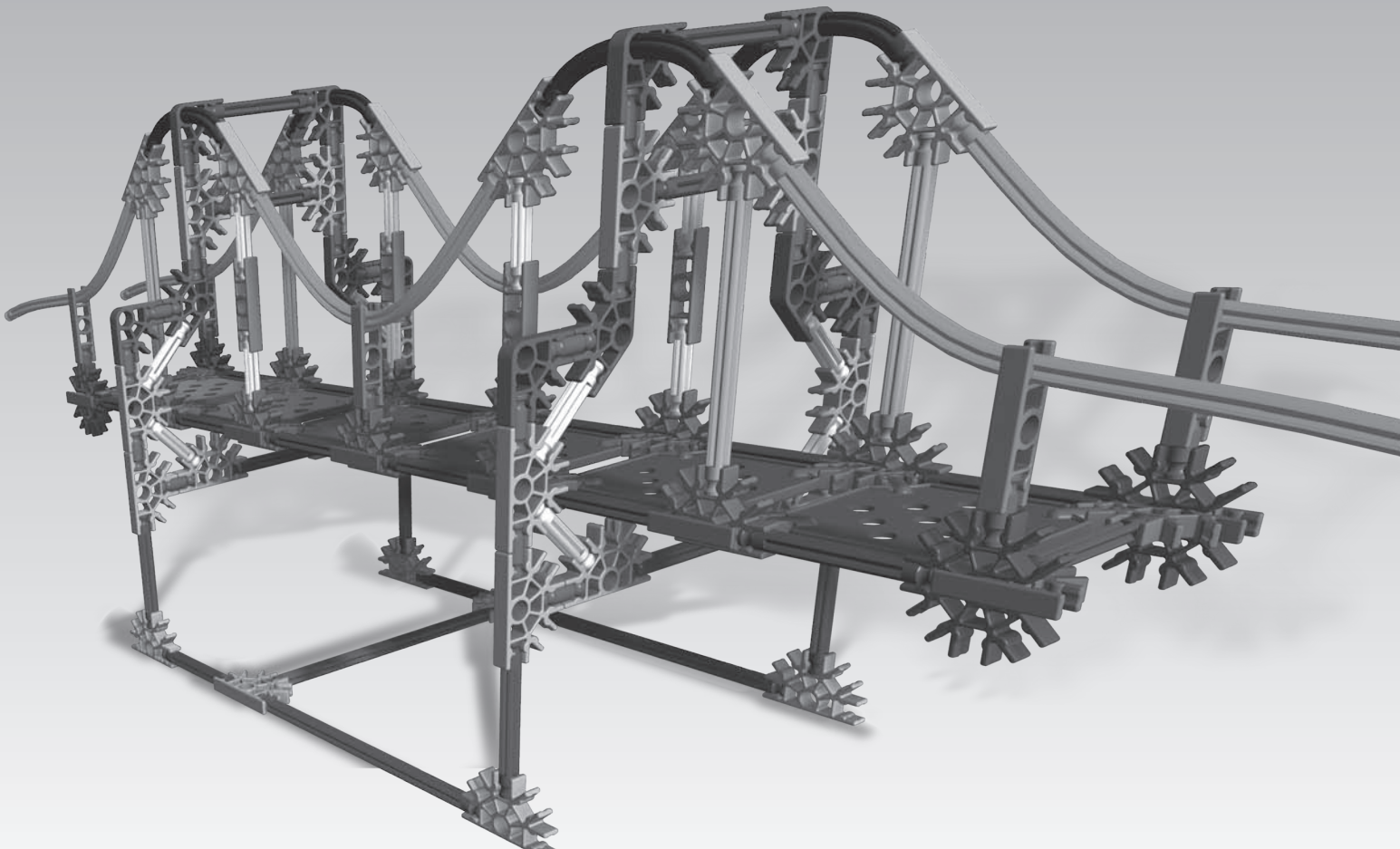
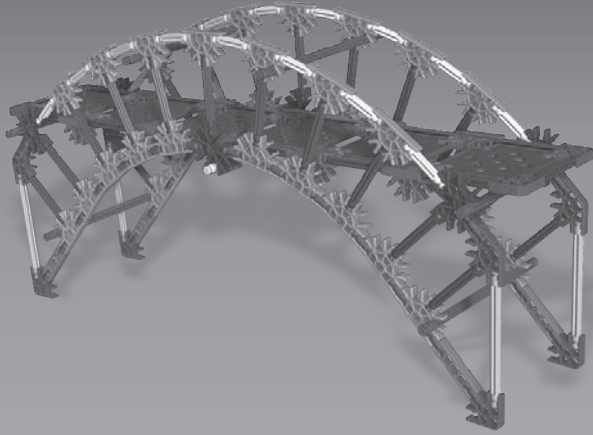


HANDLEIDING LEERKRACHT

BRUGGEN

**INTRODUCTIE VAN
BOUWWERKEN**



BRUGGEN

Handleiding leerkracht

96568-V3-10/14
 © 2014 K'NEX Limited Partnership Group
 and its licensors.

K'NEX Limited Partnership Group
 P.O. Box 700
 Hatfield, PA 19440-0700

www.knexeducation.com
 abcknex@knex.com
 1-888-ABC-KNEX

K'NEX Education zijn gedeponeerde
 handelsmerken van K'NEX Commanditaire
 vennootschap Groep.

Conforms to the Requirements of ASTM
 Standard Consumer Safety Specification
 on Toy Safety, F963-03.

Manufactured under U.S. Patents 5,061,219;
 5,199,919; 5,350,331; 5,137,486.

Other U.S. and foreign patents pending.

Protected by International Copyright.
 All rights reserved.

 **WAARSCHUWING:**
INSLIKKINGSGEVAAR – Kleine onderdelen.
Niet geschikt voor kinderen jonger dan 3 jaar.

Een opmerking over veiligheid

Veiligheid is belangrijk in een klas waar aan natuur en techniek gedaan wordt. Er wordt aanbevolen om duidelijke regels en afspraken te maken in het algemeen en voor het gebruik van K'NEX in het bijzonder.

SPECIALE AANDACHT:

Met het elastiek moet voorzichtig worden omgegaan, dus niet te ver uitrekken of opdraaien. Een brekend elastiek kan letsel veroorzaken. Ieder beschadiging moet gelijk bij de leerkracht gemeld worden. Inspecteer ook de elastieken voor gebruik.

Let op dat leerlingen handen en haar uit de buurt van de bewegende onderdelen houden. Stop ook nooit vingers tussen bewegende onderdelen.

Voorwoord:

OVERZICHT

Deze handleiding voor de leerkracht is ontwikkeld om de leerlingen te kunnen begeleiden als ze werken aan de K'NEX Education Intro Bouwwerken: Bruggen. De combinatie van het K'NEX-materiaal, het lesmateriaal voor de individuele leerling en de informatie uit deze handleiding stelt leerlingen in staat om wetenschappelijke concepten te ontwikkelen en hun onderzoeken in zinvolle leerzame ervaringen om te zetten.

K'NEX EDUCATION INTRO VAN BOUWWERKEN: Bruggen

Als onderdeel van een serie is deze K'NEX constructie-set ontworpen om leerlingen kennis te laten maken met de geschiedenis, functie, bouwkundig ontwerp, meetkunde en ontwerp van bruggen. Door het onderzoek van bruggen ontwikkelen de leerlingen een goed begrip van krachten in bouwwerken en constructies. Ze vergaren ook kennis over de fysieke eigenschappen van materialen en de bouw van bruggen. Ze zullen ontdekken dat de bouw van bruggen, hoewel gebaseerd op eenvoudige wetenschappelijke principes, vaak ingewikkelde oplossingen vereist. De leerlingen zullen door het werken met deze K'nex-set ervaring opdoen met het bouwen met concrete materialen, en een onderzoekende leerhouding ontwikkelen met betrekking tot informatie en begrip. Door samen te werken worden ze aangemoedigd om met elkaar te overleggen, onderzoeken, problemen

HANDLEIDING LEERKRACHT

Omdat de handleiding ook dient als bronnenboek biedt deze een schat aan achtergrondinformatie over de huidige soorten bruggen, de materialen die gebruikt worden en de toegepaste bouwkundige principes waardoor deze zware lasten kunnen dragen. Voor de leerling zijn er bij elke eenheid doelstellingen geformuleerd en wordt een beschrijving en bouwtekening voor elke brug en bijbehorende activiteit gegeven. De handleiding bevat ook een lijst van sleutelwoorden en definities. De meeste activiteiten vragen niet meer dan 30-45 minuten. Er zijn ook meer omvattende activiteiten voor een grondiger bestudering van de begrippen. Het verdient aanbeveling dat de leerkrachten de Kerndoelen en de Leerlijn Techniek raadplegen om te kijken welke activiteiten hieraan het beste voldoen.

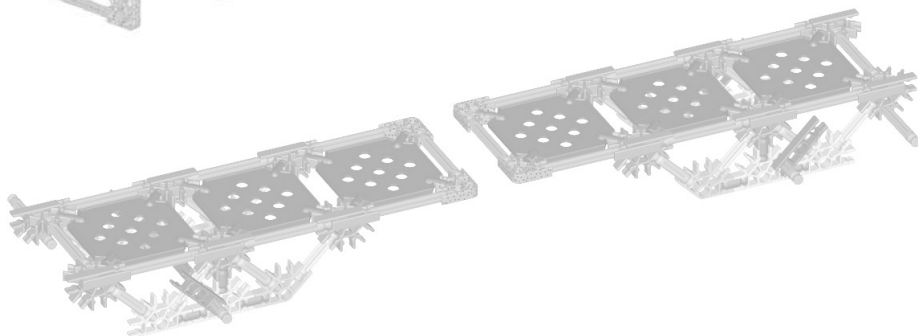
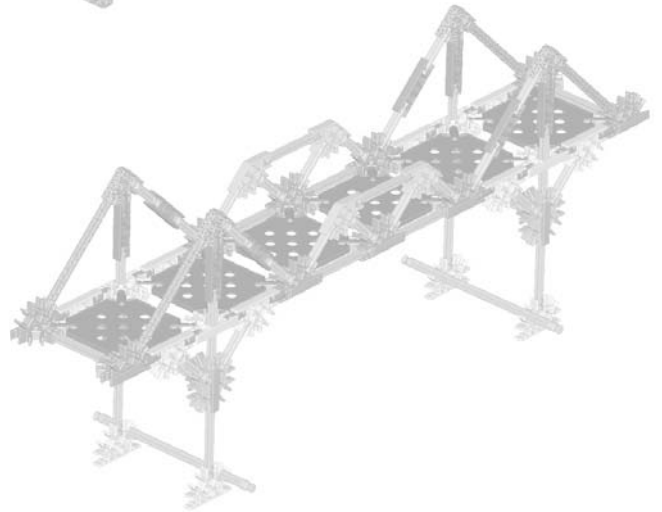
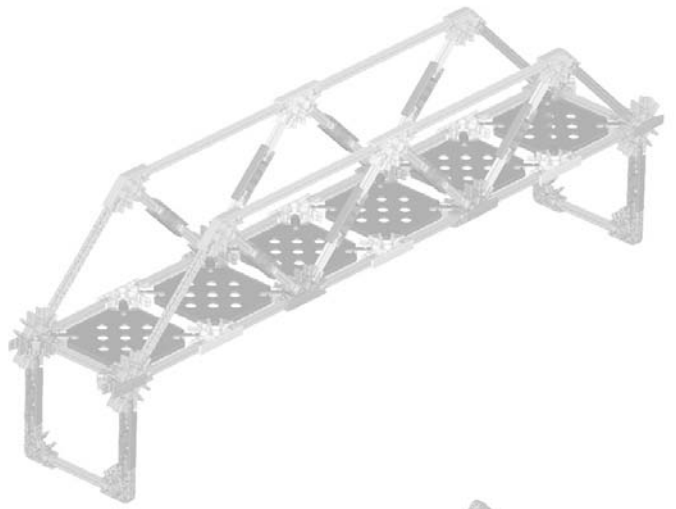
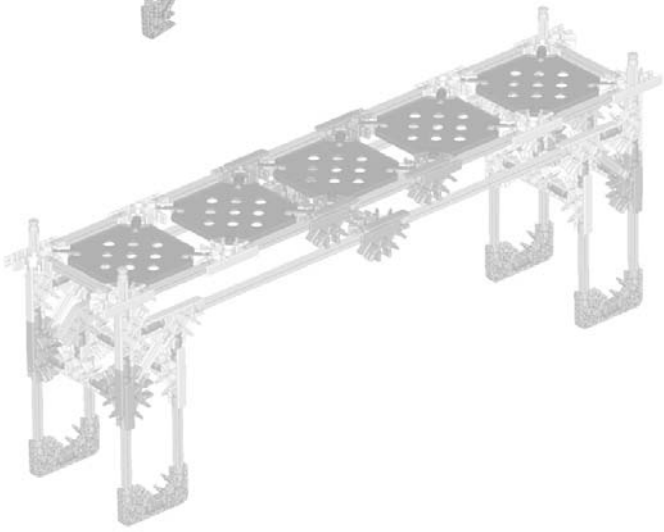
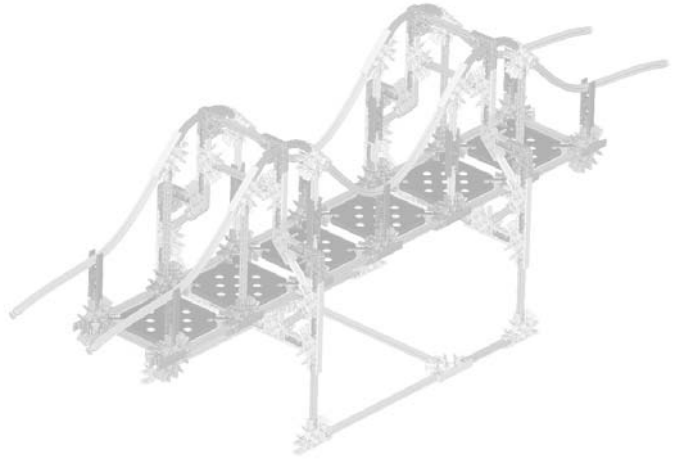
VERSLAG LEERLINGEN

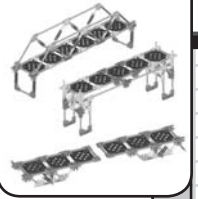
Er wordt verwacht dat de leerlingen altijd een schrift bij de hand hebben voor het maken van aantekeningen. Ze moeten worden aangemoedigd om hun eerste gedachten bij het begin van een onderzoek te noteren – wat “denken” ze dat er zal gebeuren. Deze vooronderstellingen kunnen, afhankelijk van hun bevindingen bij het onderzoek, gewijzigd worden totdat de leerlingen zich zeker genoeg voelen om conclusies te trekken. Hun eerste aantekeningen helpen om een verbinding te leggen tussen de modellen die ze gebouwd hebben, de experimenten die ze hebben uitgevoerd en de toepassing in echte bruggen die ze regelmatig gebruiken. Het verslag geeft de leerling ook een mogelijkheid om te oefenen in het maken van tekeningen en schema's. Tenslotte dienen de verslagen als een naslagwerk voor het onderdeel Eenvoudige Machines. In de handleiding voor de leerkracht is bij elk model en de bijbehorende activiteiten een checklist opgenomen.

INHOUD

Doelen	3
Sleutelwoorden en definities	3
Sleutelbegrippen	5
Introductie van Bruggen: Voorbereidende activiteiten (optioneel)	19
Introductie van bruggen: Wat doen bruggen?	21
Zijn alle bruggen hetzelfde?: Hoe bruggen lasten ondersteunen.	25
Liggerbrug.....	29
Balkbrug.....	35
Cantileverbrug.....	41
Basculebrug	49
Boogbrug.....	55
Hangbrug	61
Balkbrug met steunkabels / Tuibrug	71
Een brug ontwerpen: tijd en kosten factoren	77
Werkbladen	81







Introductie van bouwwerken

Achtergrondinformatie



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. De leerlingen onderzoeken soorten bruggen en laten zien dat ze de werking ervan begrijpen.
2. Beschrijven en begrijpen de krachten die optreden.
3. Beschrijven hoe bouwwerken gestabiliseerd worden en lasten kunnen dragen.
4. Demonstreren en beschrijven hoe bouwwerken door belasting kunnen instorten en onderzoeken mogelijkheden voor versterking.
5. Bekijken, beschrijven en leggen de eigenschappen van de gebruikte materialen uit.
6. Geven blijk van begrip van ontwerp, bouw- en constructieprocessen bij bruggen.

SLEUTELWOORDEN en DEFINITIES voor de leerkracht

Het volgende is bedoeld als achtergrondinformatie voor de leerkracht. Leeftijd, kennisniveau, vaardigheden en de Kerndoelen zijn bepalend voor de manier waarop deze sleutelwoorden en definities worden aangeboden in de klas. Deze termen dienen als hulpmiddel om tot een beter nauwkeurig omschreven begrip te komen en niet als een lijst uit het hoofd te leren definities.

Brug:

Een bouwwerk waarmee een hindernis overwonnen kan worden. Iets dat dingen verbindt of ondersteunt.

Boogbrug: Een brug met een gebogen vorm. De boog geeft sterkte door kracht uit te oefenen naar beneden en zijwaarts tegen de brughoofden.

Bascule Brug: Een brug die werkt als een wip. Een deel kan omhoog omdat een ander deel door tegenwicht naar beneden gaat.

Ligger Brug: De eenvoudigste brug. Is gemaakt van een stijve, rechte plaat met steunpunten aan de einden.

Balkbrug met steunkabels/Tuibrug: Een modern type brug waarbij kabels rechtstreeks tussen wegdek en torens gespannen zijn.

Cantilever Brug: Een liggerbrug waarbij het middenstuk gesteund wordt door twee platen die op een toren balanceren. De twee stukken op de toren worden cantilevers genoemd.

Hangbrug: Een brugtype waarbij het wegdek hangt aan kabels die weer bevestigd zijn aan dikke kabels. De dikke kabels zijn in beton verankerd aan de oevers. De dikke kabel loopt over twee torens.

Balk- of baileybrug: Een type brug dat versterkt wordt door een raamwerk van balken in driehoekige vormen.

Lasten en krachten:

Last: De verdeling van gewicht over een bouwwerk. (Zie ook Dood Gewicht en Levend gewicht)

Kracht: Een duw of ruk. Bij bruggen wordt de kracht uitgeoefend door een last of gewicht.

Spanning: Een kracht die de neiging heeft de vorm van een bouwwerk te vervormen.

Duwspanning: Een kracht die de neiging heeft een bouwwerk te verkorten, in te duwen of samen te persen.

Trekspanning: Een kracht die de neiging heeft een bouwwerk uit te rekken of te verlengen.

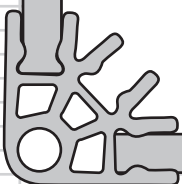
Torsie: De spanning in een materiaal als het gedraaid of verwrongen wordt.

Symmetrie: Een voorwerp of bouwwerk dat in balans en gelijk is aan weerszijden van een denkbeeldige lijn.

Kromtrekken: Een situatie die ontstaat als bouwwerken buigen onder druk.

Dood Gewicht: Het gewicht van de brug zelf.

Levend Gewicht: Het gewicht van het verkeer dat gebruik maakt van de brug.



Brug eigenschappen en kenmerken

Landhoofd. Hoeveelheid stenen of beton aan de uiteinden van een boogbrug die de boog op zijn plaats houdt zodat ze niet uit elkaar kunnen schuiven.

Verankering: Fundering of betonblokken waarin de kabels bevestigd zijn.

Ligger: Een stijf, horizontaal deel van een brug.

Kabel: Een bundel draden die gebruikt wordt om een wegdek van een hangbrug te ondersteunen.

Caisson: Een tijdelijke constructie om het water weg te houden bij het bouwen van de pijlers van een brug.

Wegdek: Het oppervlak van een brug dat dienst doet als weg, voetpad of spoorweg.

Ingenieur: Iemand die beroepshalve bruggen en andere bouwwerken onderzoekt en ontwerpt.

Frame: Een geraamte van materialen dat stevigheid geeft aan een bouwwerk.

Dwarsbalk: Een stevige balk die steun geeft.

Vangrail: Een veiligheidsvoorziening aan de zijkant van een brug om te voorkomen dat gebruikers er af vallen.

Sluitsteen: Wigvormige steen die er voor zorgt dat de andere delen van een boog op hun plaats blijven.

Obstakel: Iets dat in de weg staat of functioneert als hindernis.

Pijler: Een verticale steun in het midden van een brug. – een kolom, toren, o.i.d.

Katrol: Wiel gebruikt om te hijsen of de richting van een kracht te veranderen.

Oprit: Helling vanaf het land naar de brug.

Rijweg: Deel van de brug waarover het verkeer zich verplaatst.

Overspanning: Deel van de brug tussen twee pijlers.

Stut: Voorwerp dat een constructie ondersteunt.

Verbinding: Vastgemaakt onderdeel van een constructie.

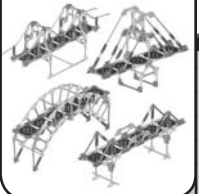
Toren: Een grote, verticale steun waarover de kabels bij een hangbrug lopen.

Driehoekconstructie: Manier van bouwen waarbij driehoeken in vierkanten de sterkte van een bouwwerk vergroten.

Spanten: Een frame van balken waarbij duw- en trekspanning optreedt en driehoekige- en andere stabiele constructievormen gebruikt worden.

Voussoir: (Frans) Een stenen boog gemaakt van wigvormige stenen die nauwkeurig passen.





SLEUTEL BEGRIPPEN

De volgende samenvatting bevat een aantal sleutelbegrippen met betrekking tot hefbomen en dient als bron voor de leerkracht. Dit kan nuttig zijn als u de voorbereidingen treft voor lessen met de K'NEX Education-set Intro tot Bouwwerken. Bruggen.

Wat is een brug?




-  Een brug is een BOUWWERK dat het makkelijker maakt om een hindernis over te steken. Hindernissen als rivieren hebben altijd reizigers en handelaren in de weg gestaan. Maar tegenwoordig overspannen bruggen wijde riviermonden, wilde stromen, verbinden eilanden en overbruggen drukke verkeerswegen en verbinden het ene gebouw met het andere. Ze worden gebruikt door motorvoertuigen, treinen, voetgangers, pijpleidingen en kanalen met water.
-  We kunnen ons voorstellen dat de eerste “bruggen” omgevallen bomen of een stuk platte steen over een beekje of kloof waren. Nu zouden we dat een liggerbrug noemen.



Fig. 1



Fig. 2 - Eenvoudige liggerbrug

-  Toen mensen bredere hindernissen wilden oversteken, beladen met zware lasten, was de liggerbrug niet altijd het meest geschikt. De langere overspanning boog door in het midden. De ligger kon wel versterkt worden, maar stortte dan in door het toegenomen gewicht. De grootste lengte die een liggerbrug kan bereiken is ongeveer 80 meter.

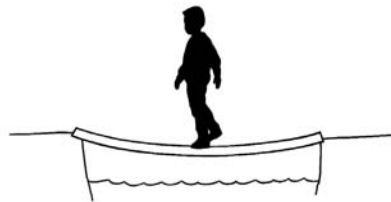


Fig. 3 - Lange liggerbrug die doorbuigt

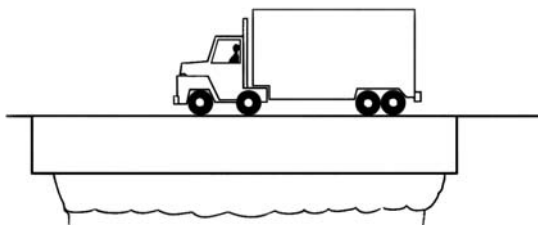


Fig. 4 - Versterking door een dikkere ligger

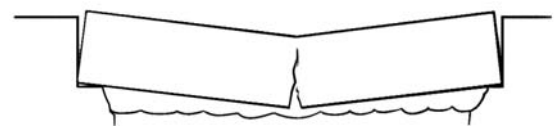
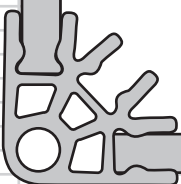



Fig. 5 - De brug is te zwaar

-  Bij het ontwerp van een brug zijn de volgende factoren van belang: de LAST die gedragen moet worden, de KRACHTEN die erop worden uitgeoefend en de MATERIALEN waarmee wordt gebouwd.



LASTEN

- 
Levende lasten: het gewicht van het verkeer dat de brug gebruikt. Deze last veroorzaakt een neerwaarts gerichte kracht op de brug en dus moet in het ontwerp OF de neerwaartse kracht overgebracht worden op de fundering OF in evenwicht zijn met een tegengestelde kracht.

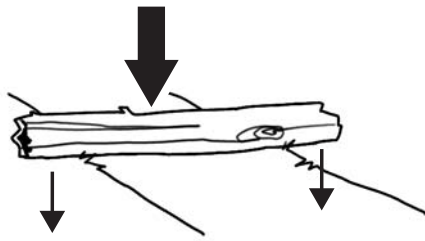


Fig. 6i

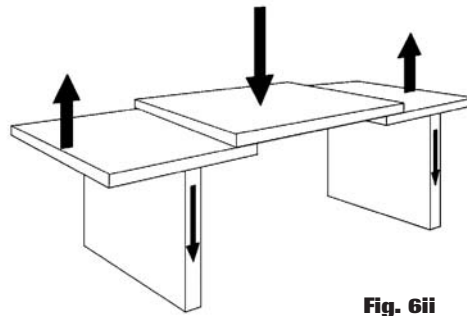









Fig. 6ii

- 
Dode lasten: Dit is het gewicht van de brug zelf. Ingenieurs proberen de constructie van bruggen altijd zo licht mogelijk te maken.
- 
Schok belasting: Treinen en zware vrachtwagens veroorzaken een zware belasting (of schok) van de brug als ze daar snel overheen rijden. Bruggen voor treinen moeten erg sterk zijn en voor dit soort transport zijn hangbruggen niet geschikt.
- 
Omgevings belasting: Omgevingsfactoren als harde wind, ijs en sneeuwhoppen, en aardbevingen kunnen een aanzienlijke extra belasting van de brug geven. Speciale aandacht dient er ook te worden gegeven aan het effect van harde wind op de kabels van hangbruggen en andere door kabels gesteunde bruggen.

KRACHTEN

- 
Duwspanning: samendrukken
- 
Trekspanning: uitrekken
- 
Torsie: draaien
- 
Wrijving: glijden, schuiven

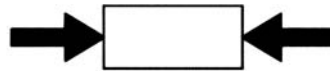


Fig. 7 - Duwspanning (samendrukken)

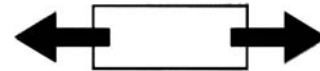


Fig. 8 - Trekspanning (uitrekken)

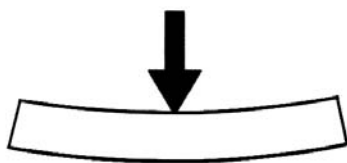


Fig. 9 - Buiging (een combinatie van duwen en trekken)

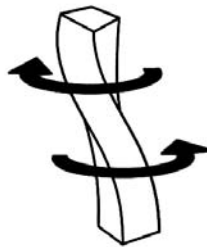


Fig. 10 - Torsie (draaien)

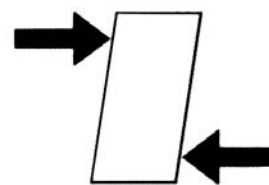



Fig. 11 - Wrijving (schuiven)

- 
 De belangrijkste krachten die bij een brug optreden zijn duw- en trekspanning. Hun effecten op de brug kan eenvoudig gedemonstreerd worden met een rechthoekig stuk schuimrubber. Hierop zijn met een viltstift lijnen getekend als op de tekening hieronder. Door op het midden te duwen wordt duidelijk waar duw- en waar trekspanning optreedt.

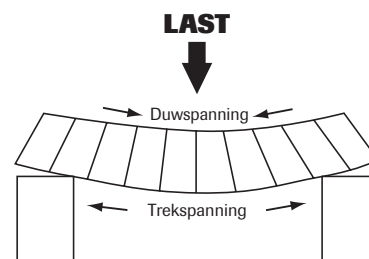
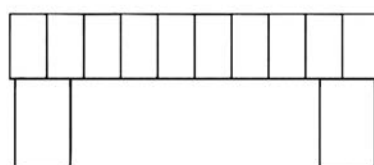
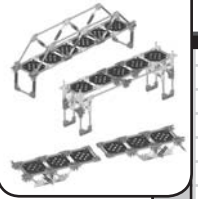


Fig. 12 - krachten uitgeoefend op een balk.





MATERIALEN

- ⊙ Ontwerpers van bruggen moeten rekening houden met de eigenschappen van de materialen die ze willen gaan gebruiken.
 - ⊙ Materialen die bestand zijn tegen duwspanning: hout, gewapend beton, staal en sommige soorten plastic
 - ⊙ Materialen die bestand zijn tegen trekspanning: kabels, hout (over de lengte gezaagd)
- ⊙ Gewapend beton is een goede keus voor veel constructies, waaronder bruggen. Er zitten stalen staven in de lengte en is sterk bij duw- en trekspanning.

U kunt de volgende activiteiten met uw leerlingen uitproberen. Zie ook Introductie van bruggen, Voorbereidende activiteiten pag. 19) **Zie ook www.encyclopedoe.nl onder het trefwoord: kracht.**

- ⊙ Kan je constructies maken van papier? Wat zijn de sterke en zwakke punten?

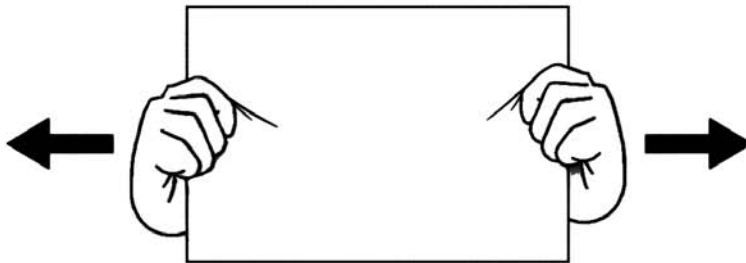


Fig. 13I - Probeer een stuk papier uit elkaar te scheuren.



Fig. 13II - Pers het nu samen.

Deze test laat zien dat papier sterk is bij trekspanning en zwak bij duwspanning.

- ⊙ Kunnen we de natuurkundige eigenschappen van materialen veranderen?

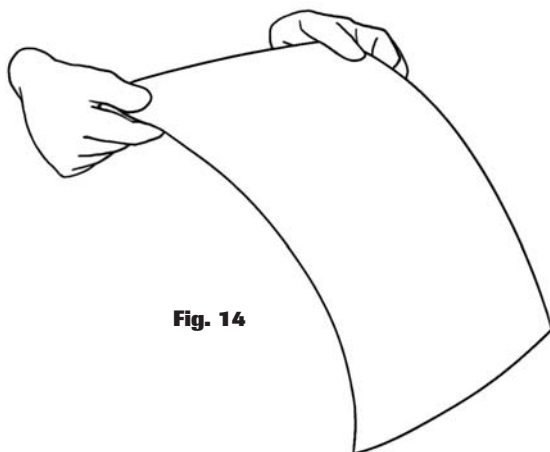


Fig. 14

Als je een vel papier tussen je handen houdt hangt het naar beneden – het is niet erg stevig. Maar met vouwen krijgt het andere eigenschappen.

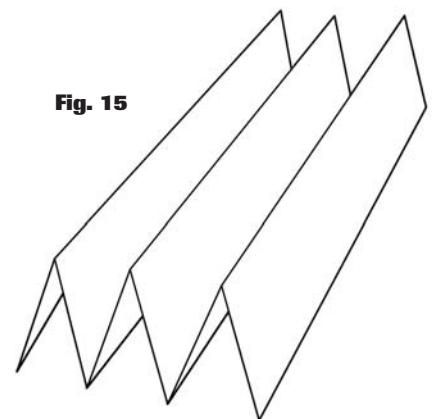


Fig. 15

Het vel papier is nu stijf en kan verbazingwekkende zware lasten dragen.

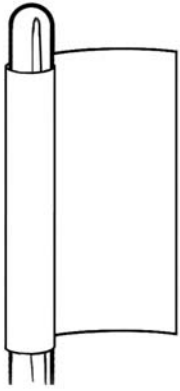


Fig. 16I- Rol een vel papier om een bezemsteel o.i.d.



Fig. 16II- Sterk: duw- en trekspanning



Fig. 16III- zwak: buigen

- Een buis van opgerold papier is verbazingwekkend sterk. Dit kun je goed zien als je de koker probeert samen te drukken. Je kunt ook testen hoeveel de koker kan dragen.
- Vouw A4 blaadjes op de manieren die hieronder getekend staan en onderzoek hoeveel gewicht ze kunnen dragen. Voorspel eerst hoeveel gewicht ze kunnen dragen. Voor een eerlijke test moeten de blokken op dezelfde afstand staan en mag je slechts één vel papier gebruiken. Leg steeds een vel (balk) op de twee blokken en leg steeds meer gewichtjes op het midden (fig. 18) net zo lang totdat de brug het begeeft. Noteer de resultaten in een tabel zoals in fig. 19.

Op deze manier kun je verschillende soorten papier en karton onderzoeken.

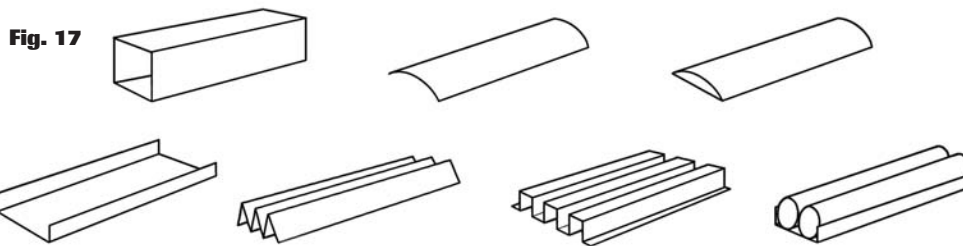


Fig. 17

Fig. 19

Ontwerp (dwarsdoorsnede)	Max. gewicht.

Uit deze onderzoeken blijkt dat een materiaal dat eerst ongeschikt lijkt, door het veranderen van de vorm sterk gemaakt kan worden.

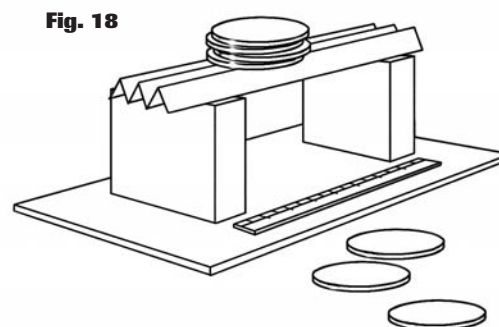
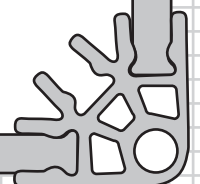
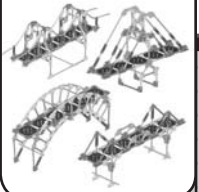


Fig. 18

Bij deze bedanken wij Paul Newman, senior technician, The South London Science & technology Centre, Londen.UK voor het geven van toestemming om deze activiteit en tekeningen te gebruiken.





Vormen gebruikt in constructies.

In constructies zijn de meest gebruikte vormen: rechthoeken, driehoeken en de bogen.

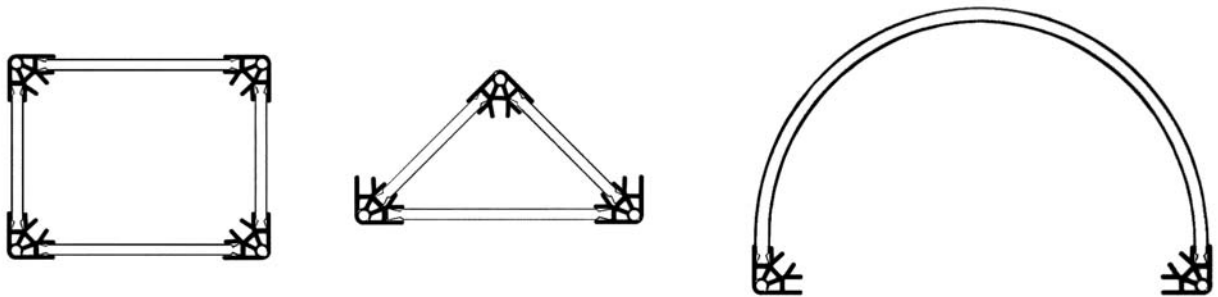


Fig. 20-22 - Veelgebruikte vormen in constructies. Gebruik combinaties van K'nex onderdelen.

Wat gebeurt er als op deze vormen krachten worden uitgeoefend?

Rechthoeken

Als je op een hoek van een rechthoek een kracht uitoefent verandert deze in een parallellogram.

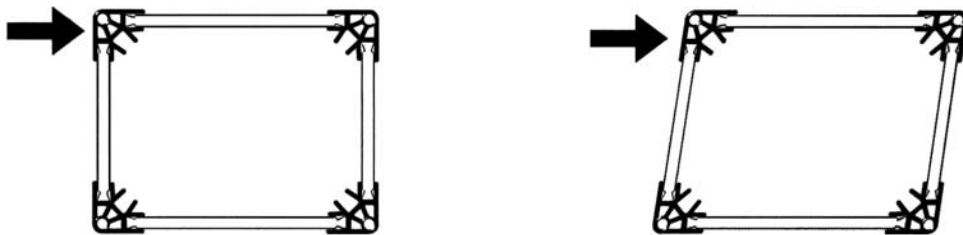


Fig. 23-24 - Rechthoeken die bij een hoek geduwd worden.

Door het toevoegen van een schuine balk wordt de rechthoek versterkt. Het is nu een stabiele, stevige constructie.

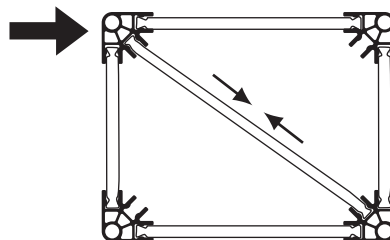


Fig. 25 - Duw- en trekspanning bij een schuine balk.

De vorm verandert niet als er kracht op de hoeken wordt uitgeoefend omdat de krachten nu worden afgevoerd door de schuine balk, die ook sterk is bij duwspanning. Door de toevoeging van de schuine balk ontstaan er ook twee driehoeken. Balken die duwspanning weerstaan worden stutten genoemd.

Driehoeken

Als een last tegen de zijkant van de driehoek duwt buigt deze naar binnen. De zijkant is het zwakste punt van een driehoekige constructie.



Fig. 26 - Kracht uitgeoefend op de zijkant van een driehoek.

Als een kracht wordt uitgeoefend op een van de hoeken van een driehoek buigt deze niet omdat de beide zijden worden ingedrukt en de basis uitgerekt. De krachten worden over de hele constructie verdeeld en niet aan één kant. Als driehoeken goed gebruikt worden zijn het de meest stabiele en stevige vormen die in een constructie gebruikt worden.

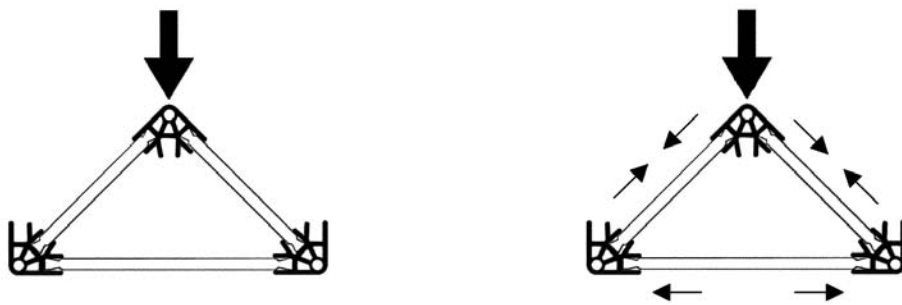
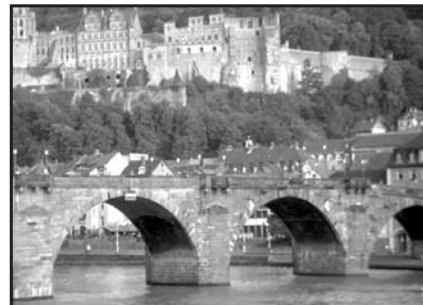


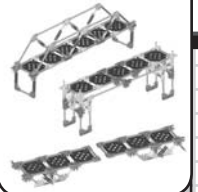
Fig. 27 - Kracht uitgeoefend op het hoekpunt van een driehoek.

Bogen

Bogen worden al duizenden jaren gebruikt in bouwwerken. Veel boogbruggen en aquaducten die door de Romeinen gebouwd werden zijn nu nog steeds in gebruik. Een bewijs van hun sterkte.

Fig. 28 - Voorbeelden van boogbruggen.





Als er een last of kracht op de top van een boog wordt uitgeoefend beweegt deze naar beneden. De zijkanten bewegen opzij.

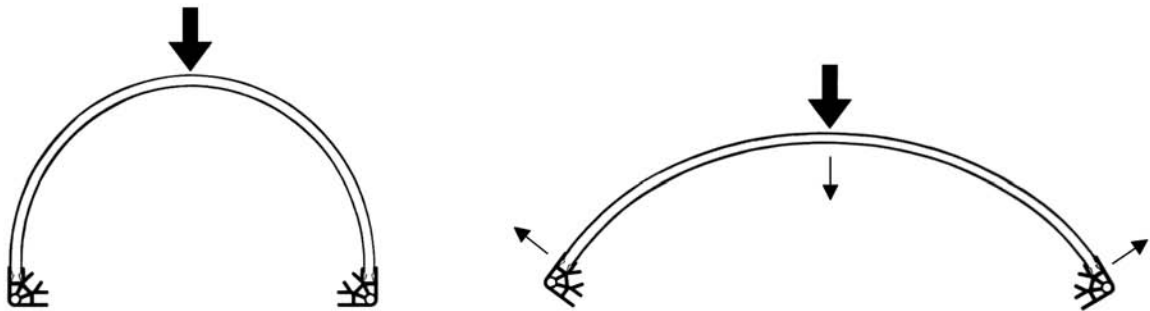


Fig. 29 - krachten in een boog

Het verstevigen van de zijkanten maakt van een boog een sterke constructie.

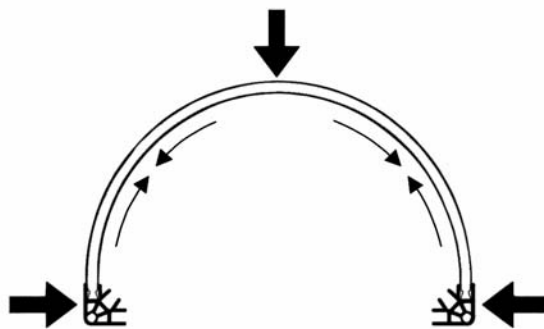


Fig. 30 - Het verstevigen van een boog.

Als een boog een last moet dragen proberen de zijkanten zijwaarts te bewegen. Maar de buitenkanten duwen terug en stoppen daarmee de beweging. De steunen aan de buitenkant heten *brughoofden*.

Er is een grens aan boogbruggen. Als de boog te lang is wordt de constructie zwak. De grootste enkele boogbruggen zijn tegenwoordig ongeveer 250 meter.

Fig. 31 - Voorbeelden van boogbruggen in staal.



Niet alle boogbruggen zijn van steen. Moderne boogbruggen hebben een stalen frame.

VERSCHILLENDE SOORTEN BRUGGEN

Voor bruggen zijn er verschillende basistypen. Maar omdat aan iedere brug andere eisen gesteld worden zijn er talloze verschillen in het ontwerp.

De LIGGER BRUG

Dit is het eenvoudigste type brug, gemaakt van een rechte plaat of balk, die rust op twee steunpunten, elk aan een kant van de ligger.

Constructie en materialen:

De liggerbrug draagt het eigen gewicht en de last op verticale steunen. Dit type brug wordt doorgaans gebruikt voor kleine overspanningen als smalle kanalen of over een snelweg. Dit is omdat langere liggers in het midden doorzakken en daarom extra ondersteuning nodig hebben.



Fig. 32 - Lange liggers zijn zwakker dan korte.

Vroeger waren hout en steen de meest gebruikte materialen. Tegenwoordig wordt staal en gewapend beton toegepast bij de bouw van liggerbruggen.

Krachten die bij de brug optreden:

De krachten die bij een liggerbrug optreden drukken de bovenkant samen, maar rekken de onderkant (trekspanning) van de ligger/balk uit. De bruggenhoofden staan onder drukspanning.

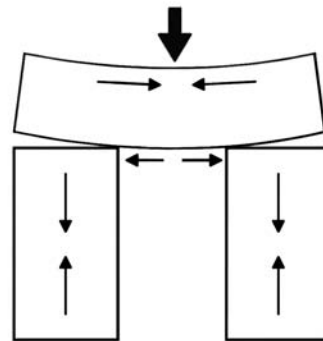


Fig. 33 - Krachten bij een liggerbrug

De BALK of Baileybrug

Een balkbrug is een liggerbrug waarbij de balk/ligger gesteund wordt door een raamwerk van doorgaans stalen balken die samengevoegd zijn tot een serie driehoeken. Hierdoor wordt de balk dikker zonder veel zwaarder te worden. Een driehoek geeft een stevige constructie omdat de vorm voorkomt dat de constructie buigt, draait of uit model wordt getrokken.

Constructies en materialen

Vroege balkbruggen hadden weinig driehoeken en waren gemaakt van hout. (zie fig. 34 en 35) Toen er betere materialen en ontwerpen beschikbaar kwamen werden de bruggen ingewikkelder. Tegenwoordig bevatten ze vele driehoeken.

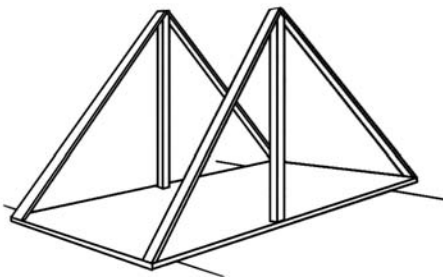


Fig. 34 - Koning constructie

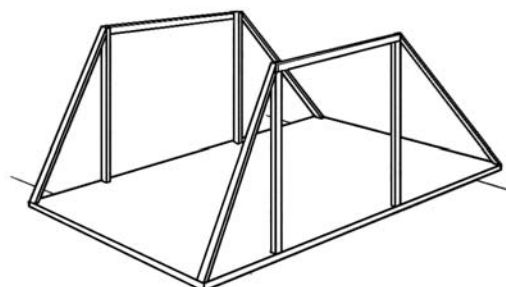


Fig. 35 - Koninginnen constructie



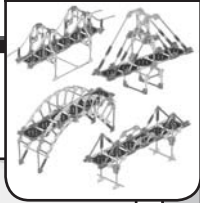


Fig. 36 - Balkbruggen



Hoewel het toevoegen van raamwerken de ligger sterker maakt, hebben deze toch ook een beperkte lengte.

LANGERE BRUGGEN

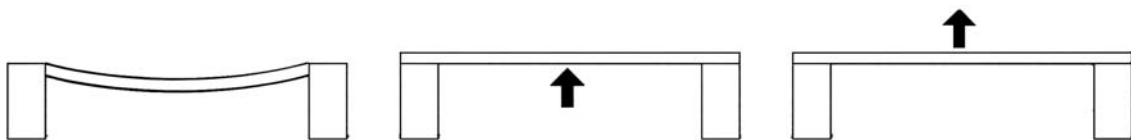


Fig. 37a - Hoe maak je een grote overspanning?
Probleem: de brug buigt door en is zwak

Fig. 37b - Oplossing:
Steun vanaf de onderkant.

Fig. 37c - Oplossing:
Steun vanaf de bovenkant.

Een lange liggerbrug buigt in het midden. Ontwerpers vonden hiervoor twee oplossingen. Ze ontwierpen bruggen waarbij het zwakke punt van onderaf gesteund wordt door een pijler of van bovenaf door kabels. Hieronder bespreken we de variaties bij de balkbrug en de boogbrug. Beiden bieden oplossingen voor grotere overspanningen.

1. Steun door het maken van kortere liggers.

In plaats van het gebruik van een enkele lange ligger die doorbuigt in het midden hebben ontwerpers bruggen gebouwd die waren samengesteld uit een serie van soms honderden kortere balkbruggen. Een voorbeeld hiervan is de Chesapeake Bay Bridge-Tunnel in de Verenigde Staten. De 26 km. brede baai wordt overbrugd, maar geen enkele overspanning is langer dan 30 meter.

2. Gebruik van bogen de BOOG BRUG



Fig. 38

Fig. 39



De boog werd zowel door de Chinezen, de Egyptenaren als de Romeinen gebruikt voor bruggen en aquaducten.

Constructie en materialen

De boog maakt gebruik van de eigenschap dat steen goed bestand is tegen grote druk. De drukkrachten houden de stenen vast tussen de beide einden (bruggenhoofden) van de brug. De steen in het midden van de boog wordt sluitsteen genoemd en alle andere stenen duwen tegen deze centrale steen. De vorm van stenen in een boog is heel belangrijk. Deze moeten wig-vormig zijn, want het is de vorm die het mogelijk maakt dat de boog zichzelf staande houdt. In de loop der tijd verbeterden de materialen en werden boogbruggen ook van gietijzer, staal en beton gebouwd.

Fig. 40 - Boog Bruggen

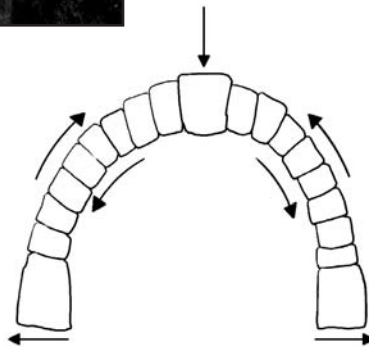


Fig. 41 - Krachten in een boog

3a Ondersteuning De CANTILEVER BRUG

Een cantilever brug is een variant van de balk of liggerbrug. Een cantilever is een ligger die aan een kant vast zit. Een kant kan stevig op de kant verankerd zijn en de andere in de lucht steken, waar deze met een andere cantilever een hele brug kan vormen. In tegenstelling tot andere liggerbruggen hoeft de ligger niet aan twee kanten gesteund te worden. Dit is handig op plaatsen waar moeilijk pijlers geplaatst kunnen worden of bij een kanaal met vrije doorvaart. Net als bij balkbruggen worden cantileverbruggen vaak versterkt met een raamwerk.

Het principe van een cantileverbrug kan eenvoudig gedemonstreerd worden met vijf dezelfde boeken (of blokken). Zet twee boeken neer als pijlers. Elke pijler en cantilever lijken op een T. Verbind de beide cantilevers met een boek of schuif ze tegen elkaar aan.

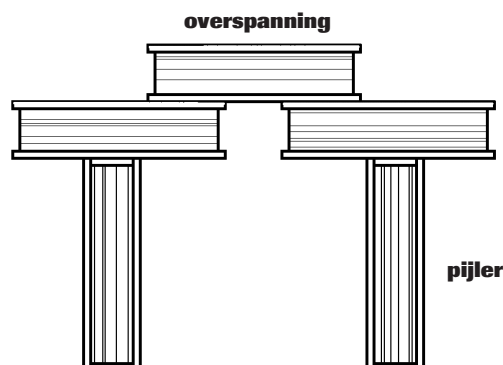
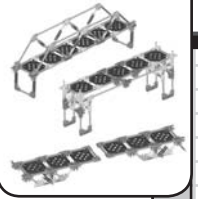
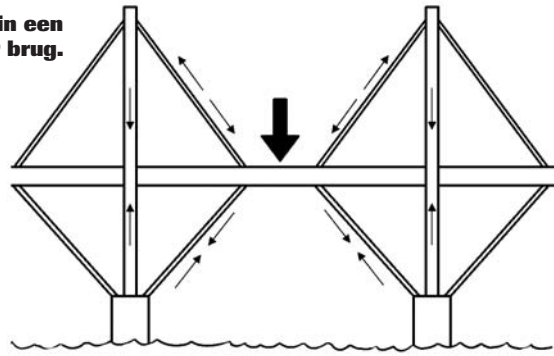


Fig. 42



Fig. 43 - Krachten in een cantilever brug.



De Forth Railway Bridge over de Firth of Forth bij Edinburgh, Schotland is een van 's werelds grootste cantilever- bruggen. In 1890 gebouwd van staal met een lengte van 2500 meter. De overspanning in het midden is niet meer dan 100 meter.

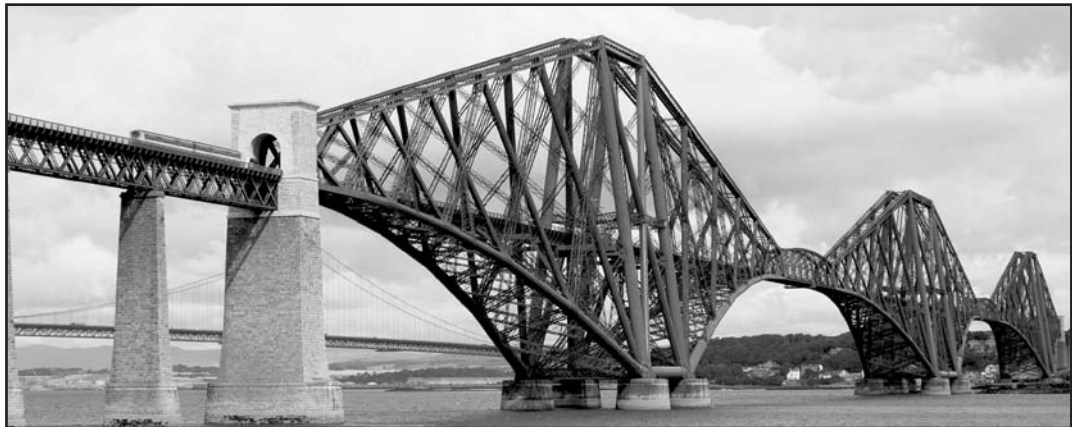


Fig. 44

Forth Railway Bridge, South Queensferry, Schotland

Bij dit voorbeeld wordt de rails onder en boven gesteund met een raamwerk.

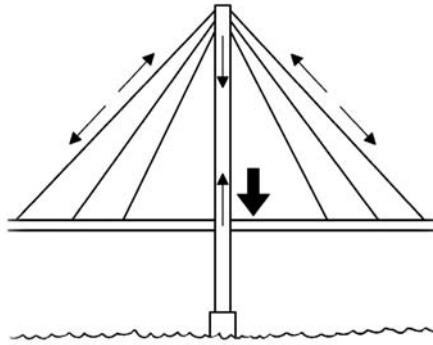
3b Trekken aan de bovenkant **De BALKBRUG MET STEUNKABELS/TUIBRUG**

De balkbrug met staalkabels is een combinatie van een cantilever- en een hangbrug: het wegdek is hier de cantilever die gesteund wordt door kabels vanaf een toren. Elke toren steunt een uitgebalanceerd gedeelte van het wegdek met kabels. Hoewel het idee niet nieuw is werd dit type brug pas populair halverwege de 20e eeuw toen het voorgespannen beton beschikbaar kwam. Het is ook een relatief goedkope manier van bouwen omdat er, in tegenstelling tot bruggen die tussen twee torens hangen, geen verankering nodig is. Daarom wordt dit type brug gebouwd op plaatsen waar voorheen een hangbrug gebouwd werd.

Fig. 45 - balkbruggen met steunkabels



Fig. 46 - krachten in een balkbrug met steunkabels.



Constructie en materialen

Kabels die aan een grote toren bevestigd zijn worden gebruikt om het wegdek te steunen. De kabels lopen rechtstreeks van de toren naar het wegdek. Alle kabels staan onder spanning en de toren draagt het hele gewicht van de brug en alles erop. De torens zijn gemaakt van beton of staal. De kabels kunnen op verschillende manieren gespannen zijn.

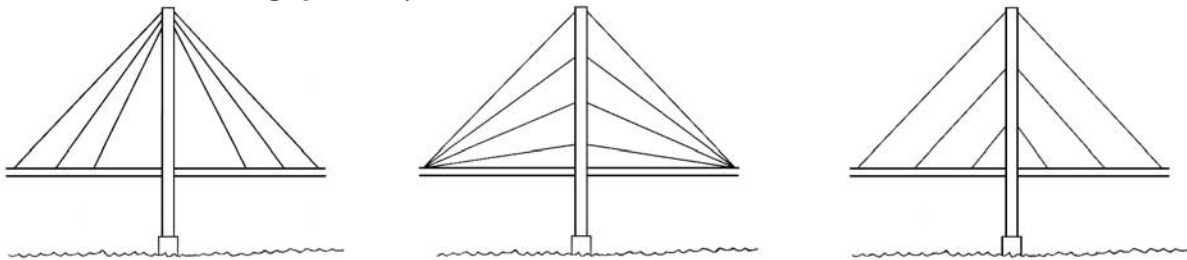


Fig. 47 - Manieren van spannen

De HANGBRUG

Het principe van een hangbrug werd al in de pre-historie gebruikt. Lianen of klimplanten in beboste gebieden werden gebruikt om smalle ravijnen over te steken. Tegenwoordig zijn hangbruggen de langste bruggen ter wereld. Moderne hangbruggen gebruiken kabels die tussen twee torens gespannen zijn – de kabels gaan over of door de torens – en de hele brug dragen. De uiteinden van de kabels zijn verankerd in de grond. De rijvloer is een beetje gebogen, heeft een raamwerk (verstijvingsliggers) voor extra sterkte en stevigheid en hangt aan hangers die aan de draagkabels hangen.

Het ontwerp van de hangbrug, net als bij ieder ander type brug, probeert de krachten in de constructie in evenwicht te houden. Bij een hangbrug staan de kabels altijd onder spanning omdat er altijd aan getrokken wordt. Dit geldt ook voor de torens omdat deze altijd de draagkabels moeten dragen.

Fig. 48 - De onderdelen van een hangbrug

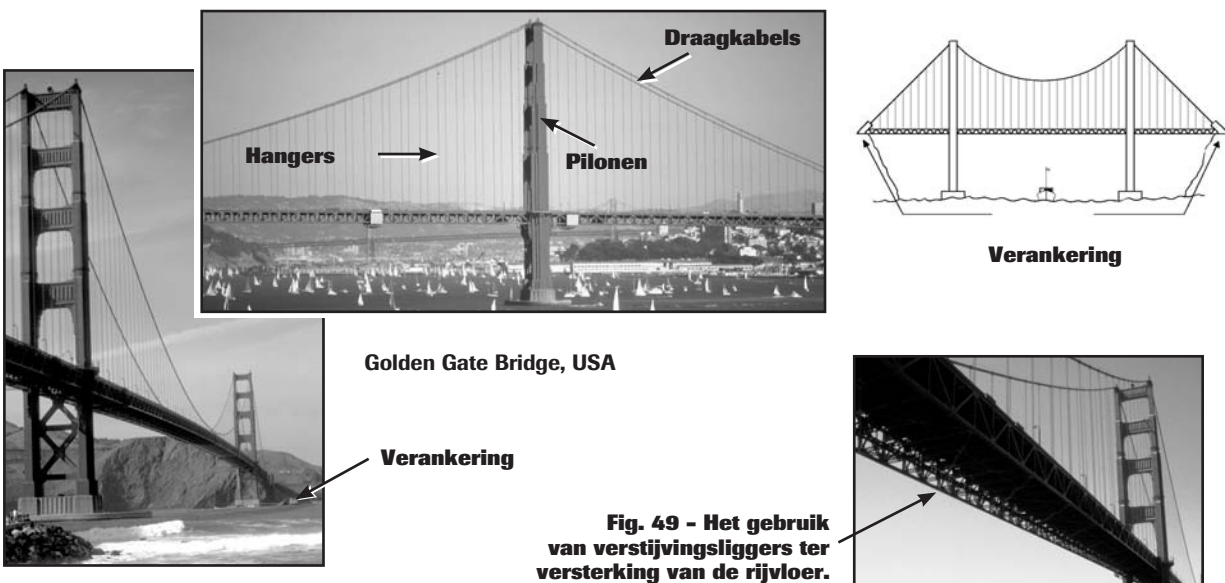
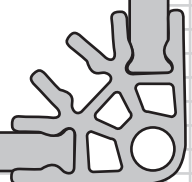


Fig. 49 - Het gebruik van verstijvingsliggers ter versterking van de rijvloer.



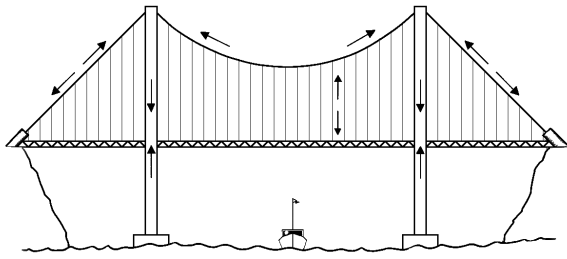
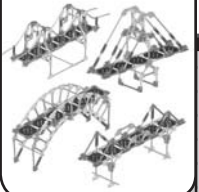


Fig. 50 - Krachten in een hangbrug

Fig. 51



Humber Bridge, Engeland

Tegenwoordig zijn hangbruggen de langste ter wereld. Het huidige record staat op naam van de Akashi Brug die de Japanse eilanden Shikoku en Honshu verbindt met een lengte van 3911 meter.

Bewegende bruggen De BASCULE BRUG

Het woord BASCULE is Frans en betekent “wip”. Een basculebrug kan open om schepen te laten passeren. De overspanning is gedeeld en ieder deel is met een contragewicht is balans gebracht om makkelijk openen mogelijk te maken. De contragewichten zijn meestal van beton gemaakt en zitten doorgaans onder het wegdek. Een motor drijft de tandwielen aan die het contragewicht laten dalen, waardoor de brug open gaat voor de scheepvaart.

Tower Bridge, over de Theems in Londen, Engeland is een basculebrug. Elke bascule is ongeveer 33 meter lang en heeft een contragewicht van 422-ton aan het eind.



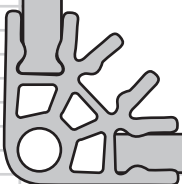
Fig. 52 bascule brug geopend voor scheepvaart

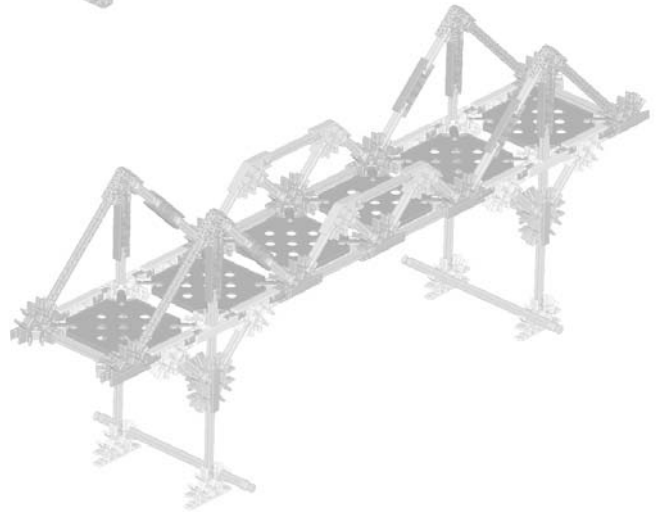
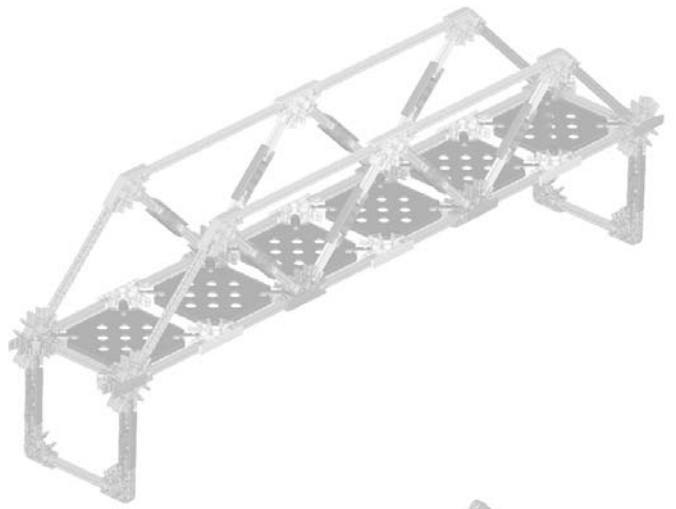
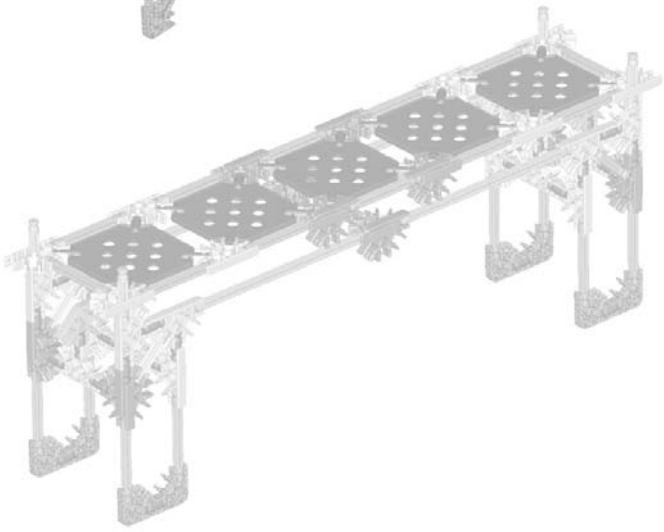
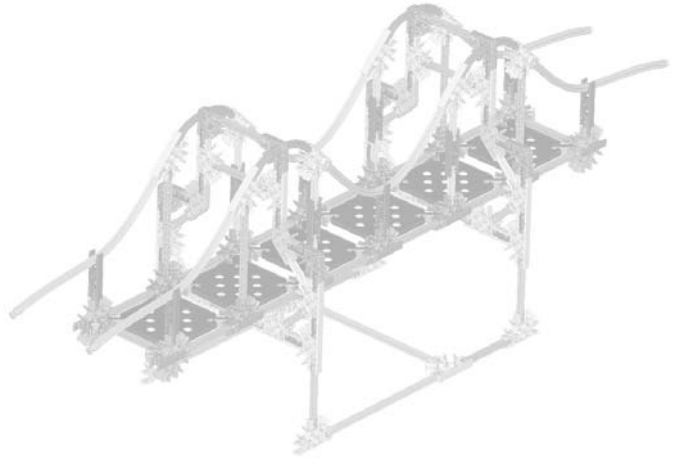


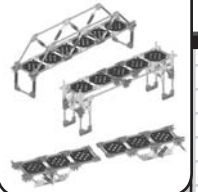
Tower Bridge, Londen, Engeland

Meer informatie:

www.encyclopedoe.nl onder het trefwoord: bruggen







Introductie van bruggen:

Vorbereidende activiteiten



DOELEN

De leerlingen:

1. Herkennen de krachten in een constructie.
2. Demonstreren de manier waarop materialen reageren als er krachten op worden uitgeoefend.
3. Onderzoeken de manier waarop vormen reageren als er krachten op worden uitgeoefend.

MATERIALEN

Elk groepje leerlingen heeft nodig:

- kopieerpapier
- elastiekjes
- lange K'NEX staven
- enkele K'NEX hoekverbindingen

U hebt nodig:

- stuk stevig schuimrubber (30x6x6 cm)
- viltstift

NOOT: De activiteiten hieronder zijn bedoeld voor leerlingen zonder enige kennis van constructies. Uiteraard aan u ter beoordeling.

WERKWIJZE

Introductie

- Vraag de klas eerst wat we bedoelen met CONSTRUCTIES. Schrijf de antwoorden op het bord

Mogelijke antwoorden zijn: gebouwen, waaronder wolvenkrabbers, stadions, wegen dammen, tunnels, havens, golfbrekers, havenhoofden, hoogspanningstorens, pijpleidingen, boortorens en boorplatforms, piramides, achtbanen.

- Laat de leerlingen vertellen over de grootste constructie waar ze ooit in geweest zijn en wat ze daarbij voelden.

Mogelijke antwoorden zijn: opwinding, nieuwsgierigheid, verbazing

Probeer te ontdekken waarom ze deze gevoelens hadden.

- Vraag de leerlingen door wie constructies als gebouwen, wegen en bruggen, ontworpen worden.

Ingenieurs, architecten

- Vraag de leerlingen: "Als jij de ontwerper van een brug zou zijn waarmee zou je dan allemaal rekening houden bij het ontwerp?" (sterkte, schoonheid, veiligheid, enz.) Stimuleer de leerlingen met vragen en voorstellen in de brainstorm-fase. Schrijf antwoorden op het bord en maak een woordweb om de leerlingen het verband tussen de factoren te laten zien.





Onderzoek Activiteiten

NOOT voor de leerkracht:

Informatie en suggesties voor de leerkracht over **KRACHTEN**, **MATERIALEN** en **VORMEN** is te vinden op de pagina's 5-12 van deze handleiding. Informatie over **LASTEN** bij bruggen is te vinden bij de les "Zijn alle bruggen hetzelfde" op pagina 25-28 van deze handleiding.

Zie ook www.encyclopedoe.nl onder de trefwoorden **krachten** en **bruggen**. Hier vindt u ook meer informatie over **MATERIALEN**, **VORMEN** en **LASTEN**.

U kunt bijvoorbeeld de krachten in een constructie bespreken:









-  Duwspanning
-  Trekspanning
-  Draaispanning of torsie
-  Wrijving (schuiven)

U kunt ook de volgende onderwerpen met de leerlingen onderzoeken: kenmerkende eigenschappen van bouwmaterialen en de manier waarop verschillende vormen zich gedragen als er krachten uitgeoefend wordende lasten die de constructies moeten dragen.

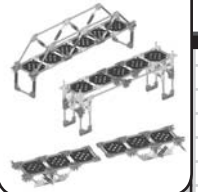
Al deze onderwerpen staan op de bovenvermelde website

SUGGESTIES

Leg de klas uit dat ze de verschillende factoren gaan onderzoeken waar ontwerpers ook rekening mee moeten houden.

1. Besteed daarbij aandacht aan de onderwerpen hieronder als deze al eerder ter sprake kwamen en zo niet, stel dan gerichte vragen en voeg ze toe aan de lijst.
 -  **KRACHTEN** die op de constructie uitgeoefend worden
 -  **MATERIALEN** die in de constructie gebruikt worden.
 -  **VORMEN** die in de constructie gebruikt worden
 -  **LASTEN** die door de constructie gedragen moeten worden.
2. Om deze begrippen te introduceren kunt u de activiteiten in de Samenvatting op pagina 5-11 van deze handleiding vinden. De benodigde materialen staan op pagina 22. De uit te voeren activiteiten kunnen bevatten:
 -  Demonstratie van de effecten van krachten met een stuk schuimrubber of activiteiten van www.encyclopedoe.nl
 -  Activiteiten die met een vel kopieerpapier laten zien dat de eigenschappen van materialen kunnen veranderen met de vorm.
 -  Het onderzoeken van de sterkte van verschillende vormen gemaakt met K'NEX staven en verbindingstukken.
 -  Gebruik van het krachtenlaboratorium op www.pbs.org/wgbh/buildingbig/bridge/ om het effect van vormen en krachten in constructies te onderzoeken.





Introductie van Bruggen

Wat doen bruggen?



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. Bedenken een definitie van een brug.
2. Onderzoeken bruggen in de omgeving.
3. Ontwerpen en bouwen een model van een brug.

MATERIALEN

Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- K'NEX Education bouwset: Bruggen met instructieboek
- Ruitjespapier of kopieerpapier
- Potloden of stiften

U hebt nodig:

- Een echte bouwtekening – bij de beheerder van het schoolgebouw of de gemeente (optioneel)
- Een idee van bruikbare websites op www.encyclopedoe.nl
- Foto's van bruggen

NOOT: Bij de leerlingen wordt enige kennis van constructies verondersteld (krachten, vormen, lasten, bouwmaterialen) opgedaan bij de inleidende activiteiten of kennis opgedaan bij het onderdeel bruggen van de Encyclopedoe. In het volgende stuk wordt ingegaan op het begrip last.

WERKWIJZE

Introductie

- Vraag de leerlingen – Wat is een brug? Schrijf hun opmerkingen op het bord. U kunt daarbij een schema of woordweb gebruiken. Help ze een definitie van het begrip brug te vormen als een constructie die een weg biedt voor mensen, dieren of voertuigen over een hindernis.

Een brug is een constructie die mensen/dieren/voertuigen in staat stelt een versperring over te steken. Sommige leerlingen kunnen opmerken dat bruggen ook pijpleidingen of water(aqueduct) dragen.

- Moedig de leerlingen aan hun fantasie te gebruiken en beschrijven hoe zij denken dat de eerste bruggen er hebben uitgezien. Antwoorden noteren op het bord.

De antwoorden zullen verschillen: houtblokken die gebruikt werden als stapstenen.; lianen om over een stroom te slingeren; combinaties hiervan.

- Vraag de leerlingen naar:

- 3 redenen waarom we tegenwoordig bruggen gebruiken.

Om (snel)veilig over te steken; om aan de overkant van een rivier te komen zonder nat te worden; om met auto's een ravijn over te steken.

- 3 hindernissen voor mensen die van de ene plaats naar de andere willen.

Rivieren, valleien, ravijnen, rivierdelta's, (snel) wegen, water tussen eilanden.

- Hoe mensen aan de overkant kwamen zonder bruggen.

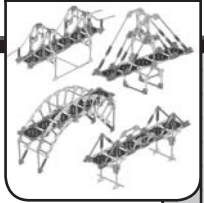
Waden door ondiepe stukken, stapstenen, langs de rand van een ravijn lopen om een plek te vinden om over te steken.

- Laat de leerlingen naar de foto's van bruggen en hindernissen in het Instructieboekje kijken. Stimuleer ze nauwkeurig te kijken naar de vorm van de bruggen en de verschillen te noemen. In dit stadium is het wellicht verstandig om slechts 3 typen bruggen te bekijken. De liggerbrug(pag. 2-3), de boogbrug(pag.10) en de hangbrug(pag.12).
- Laat de leerlingen voorbeelden van bruggen in de omgeving zoeken. Als er een brug in de omgeving van de school is kan deze bezocht en onderzocht worden. Als dit niet in het lesprogramma past, laat dan de leerlingen een brug in de omgeving beschrijven op kenmerken en gebruikte materialen. Laat de leerlingen anders op eigen gelegenheid naar een brug gaan en deze onderzoeken en de constructie tekenen en/of fotograferen. Ze moeten in het bijzonder letten op het ontwerp, de ondersteuning en de gebruikte vormen. Ze moeten de afmetingen van de brug schatten en er op bedacht zijn dat ze de gebruikte methode hiervoor kunnen uitleggen. Laat hun bevindingen opschrijven in hun werkschrift.
- Geef een kaart van de omgeving en laat de leerlingen de bruggen in de omgeving in kaart brengen. Vraag ze hoe het verkeer in de omgeving geregeld zou zijn als er geen bruggen waren. Laat de leerlingen routes uitzetten van de ene plek naar de andere zonder dat ze gebruik maken van bruggen. Laat de leerlingen de bruggen tellen en een lijst aanleggen van bruggen waar ze onderweg naar school gebruik van maken.
- Bespreek de ontwikkeling van bruggen in de loop der tijd van simpele platte stenen en blokken hout in een beekje tot grote bruggen met een overspanning van duizenden meters, die eilanden verbinden en brede riviermonden oversteken. De leerlingen moeten zich ook bewust worden dat hoewel er vernuftige moderne grote bruggen gebouwd worden, nog steeds simpele bruggen van platte stenen, houtblokken en lianen gebouwd worden. Leg uit dat ze met K'NEX verschillende typen bruggen gaan bouwen en gaandeweg in het proces kennis en begrip opdoen van constructies en problemen die ontwerpers tegenkwamen als ze langere en grotere bruggen gingen bouwen, die steeds zwaardere lasten moesten dragen.

Bouw Activiteit

- Geef elk groep een set K'NEX Bruggen.
- Laat de leerlingen naar het boekje met Bouwinstructies kijken. Als ze nog niet eerder met K'NEX gewerkt hebben wijs ze dan op de Bouwtips pagina, in het bijzonder de informatie over de donkergrijze en blauwe verbindingstukken. Laat de leerlingen de materialen onderzoeken. Het is belangrijk dat ze het bouwconcept in dit stadium begrijpen om latere frustraties te voorkomen.
- Geef duidelijke richtlijnen voor het omgaan met de onderdelen zodat de doos compleet blijft.
- Herinner de leerlingen eraan dat ze aan het eind vijf minuten nodig hebben om op te ruimen.





- ⊙ Vertel de leerlingen dat ze met K'NEX bruggen gaan bouwen. Bespreek hoe ontwerpers, als ze de beginschetsen gemaakt hebben, modellen gebruiken om de brug te onderzoeken en testen op veiligheid, sterkte en ontwerp. Naar aanleiding van de resultaten worden dan bouwtekeningen gemaakt. De bouwers gebruiken deze voor de echte bouw. Probeer een echte bouwtekening te pakken te krijgen – van een huis of de school bijvoorbeeld - zodat de leerlingen een idee hebben van het soort informatie dat daarop staat.
- ⊙ Wijs de leerlingen er op dat de bouwtekeningen, net als alle andere kaarten en tekeningen, alleen twee dimensies tegelijk laten zien. De plattegrond laat de lengte en de breedte van de constructie zien en op de bouwtekening zie je de hoogte en de lengte of de lengte en de breedte, maar niet allebei tegelijk. Maak dit met een bordtekening duidelijk.

Onderzoeks activiteit:

Stappen

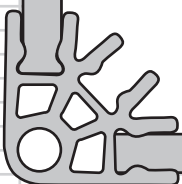
1. Vertel de leerlingen dat ze een brug gaan bouwen volgens de volgende richtlijnen:
 - (i) De brug verbindt twee tafels over 30-40 cm.
 - (ii) Je mag alleen de materialen uit de K'NEX set gebruiken
 - (iii) De brug moet minstens 15 seconden een schoen kunnen dragen.
 - (iv) Jij moet bepalen wat voor soort hindernis overgestoken moet worden.
2. Leg uit dat ze vrij zijn in soort en maat van de brug, maar dat ze rekening moeten houden met:
 - (i) De soort hindernis die overgestoken moet worden
 - (ii) Wie, of wat, er gebruik van maakt.
 - (iii) De last die er gedragen moet worden. (schoen)
3. De leerlingen moeten voldoende tijd hebben om met de K'NEX materialen te werken en een solide model te ontwikkelen dat het mogelijk maakt om een barriere, van wat voor soort dan ook, over te steken.
4. Moedig ze aan om de stevigheid te testen en te controleren of hun brug inderdaad een schoen kan dragen.
5. Als de brug klaar is maken ze een bouwtekening op gewoon of ruitjespapier. Nauwkeurigheid is hier heel belangrijk.

NOOT: Laat de leerlingen als ze voldoende vaardig zijn in meten en het begrip schaal begrijpen, een tekening op schaal maken.

Het Idee Toepassen

- ⊙ De leerlingen laten om de beurt hun bruggen aan de klas zien en beschrijven:

 - ⊙ De hindernis die overwonnen moest worden
 - ⊙ Voor wie of wat de brug ontworpen is
 - ⊙ De belangrijkste kenmerken die ze in de constructie gebruikt hebben.
- ⊙ U kunt zowel de leerlingen in hun eigen bewoordingen laten vertellen of de gelegenheid aangrijpen om echte vaktermen in te voeren. U kunt een en ander vastleggen op video en/of de bruggen fotograferen.



- De leerlingen moeten er op de “schoentest” voorbereid zijn.

Laat de leerlingen een definitie van BRUG in hun werkschrift noteren. Deze moet de woorden “constructie” en “hindernis” bevatten.

BRUG: _____

- Laat de leerlingen in hun schriften noteren:

- 5 gebruikers van bruggen

voetgangers/wandelaars, dieren, motorvoertuigen, auto's, vrachtwagens, fietsen, treinen, pijpleidingen, kanalen, enz.

- 5 obstakels die bruggen overspannen

rivier, kanaal, beekvallei, rivierdelta, moeras, straat tussen twee eilanden, kloof tussen gebouwen, wegen, enz.

- 5 vaktermen in relatie tot bruggen

oever, overspannen, steunen, verbinden, vastmaken, enz.

NOOT: Bewaar zo mogelijk de modellen voor de volgende klassenactiviteit.

Het Idee Uitbreiden

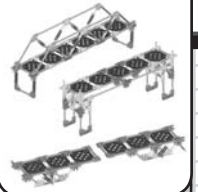
- Laat de leerlingen de bouwtekeningen uitwisselen en alleen daarmee een brug bouwen.
 - Laat de leerlingen elkaars bruggen beoordelen op nauwkeurigheid.
 - Bespreek het bouwproces en laat de leerlingen vervolgens een verslag schrijven in hun werkschrift.
- Laat de leerlingen in tweetallen informatie, foto's en tekeningen van bruggen verzamelen via www.encyclopedoe.nl of google.

Ze moeten daarbij aandacht besteden aan verschillende typen bruggen en ook soorten hindernissen die overbrugd moeten worden. Het accent moet liggen op het verzamelen van zoveel mogelijk verschillend uitzijnde bruggen. In dit stadium hoeven bruggen nog niet met namen aangeduid te worden. In een later stadium na het uitvoeren van de onderzoeken per brugtype kunnen de illustraties verwerkt worden in een tentoonstelling of collage.

CHECKLIST WERKSCHRIFT

De leerlingen houden een individueel werkschrift bij om hun bevindingen te noteren. Hieronder staan van onderwerpen die in hun werkschrift kunnen staan.

- ✓ Beschrijving en tekening van een brug in de buurt
- ✓ Definitie van een brug
- ✓ Lijst van gebruikers en hindernissen
- ✓ lijst van sleutelwoorden/vaktermen in relatie tot bruggen.



Zijn Alle Bruggen hetzelfde?

Hoe bruggen hun lasten dragen.



DOELSTELLINGEN

De Leerlingen:

1. Bekijken de krachten in constructies
2. Herkennen de verschillen van drie soorten bruggen
3. Onderzoeken hoe een brug een last draagt

MATERIALEN

Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- Model van de brug van de vorige opdracht
- Instructieboekje
- Gewichten (boeken, gewichtenset, etc.)
- Potlood of viltstift
- Werkschrift

U hebt nodig:

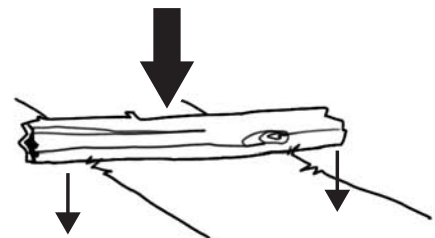
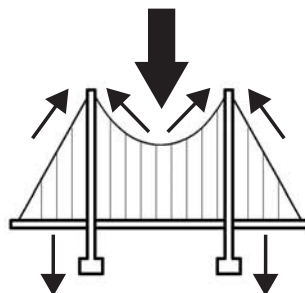
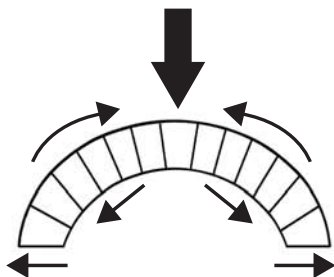
- Lang stuk stevig karton of board.
- Twee personen-weegschalen
- 4 of 5 zware boeken

WERKWIJZE

Introductie

- laat de leerlingen do foto's op de pagina's 3, 10 en 12 van het Bouwinstructie-boek bekijken. Vraag ze naar de verschillen. Laat ze de namen controleren van de verschillende soorten bruggen en vraag ze om een verklaring van deze benaming.
- Maak schetsen op het bord naar aanleiding van hun antwoorden en geef de juiste vaktermen als deze ter sprake komen. De onderstaande tekeningen kunnen als basis voor de schetsen dienen. Maar teken nog niet de pijlen.

De pijlen komen later.



Onderzoek Activiteit

Wijs de leerlingen erop dat krachten in alle constructies optreden. Vraag vrijwilligers om een lijst van deze krachten te maken.

Leg de leerlingen uit dat ze de al gebouwde modellen kunnen gebruiken bij hun onderzoek naar de krachten die werken in ieder type brug.

Duwen/trekken, duwspanning/trekspanning, buigen, draaien, torsie, schuiven.

Stel ze in de gelegenheid een nieuwe brug te bouwen als de oude al gedemonteerd is.

NOOT: Laat de leerlingen veiligheidsbrillen dragen als ze de bruggen belasten.

Stappen:

1. Laat de leerlingen de manier waarop de brug gesteund wordt onderzoeken en dan beslissen of het een ligger-, boog- of hangbrug is.

De meeste leerlingen zullen een liggerbrug gebouwd hebben.

2. Laat de leerlingen een last(schoen, boeken, gewichten) op de brug plaatsen en kijken wat er gebeurt in de diverse onderdelen van de constructie. De lasten moeten steeds groter worden. Ze moeten opmerken:

- Welke onderdelen buigen, onder druk of spanning staan

De leerlingen zullen zich nog veiliger voelen bij het gebruik van termen als duwen, trekken, etc. Accepteer dit eerst en stimuleer dan de echte vaktermen te gebruiken.

- Wat gebeurt er met de steunen van hun brug als de last toeneemt:
- Welk onderdeel bezwijkt eerst.

In hun schrift moeten ze tekeningen maken met naamsaanduiding en ook aangeven waar hun brug het eerst bezweek. Ze moeten bijvoorbeeld de onderdelen van hun brug benoemen die bezweken of verschoven zijn.

3. Vraag de leerlingen om hun bevindingen te vergelijken met de tekeningen van de drie bruggen op het bord. Vraag ze waar de krachten in elke brug optraden. Teken pijlen op deze plaatsen.

Beperk deze activiteiten bij lagere klassen tot de liggerbrug.

NOOT: Geef op de bordschets van de brug met pijlen de richting en uitoefening van de krachten aan. Met kleuren kunnen de verschillende krachten worden aangegeven.

Toelichting pijlen.



Een dikke pijl geeft de last aan.



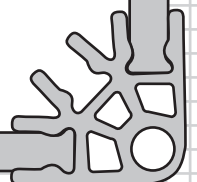
Pijlen langs de kabels, wegdek of bogen geven duw- en trekspanning aan.

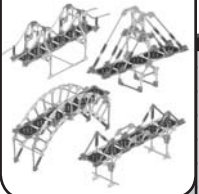


Pijlen bij de bruggenhoofden en pijlers stellen de zwaartekracht voor.

Voorbeeld: pijlen bij een boogbrug geven de duwspanning weer terwijl deze bij een ligger- of hangbrug staan voor een combinatie van spanningen.

4. Bespreek met de klas de variatie van de LAST die de brug moet dragen.
 - (a) Laat de leerlingen nadenken over de verschillende soorten lasten en schrijf deze op het bord.
 - (b) Help de leerlingen bij het herkennen van de belangrijkste soorten lasten die een brug moet dragen.
 - **Dode last:** het gewicht van de materialen waarmee de brug is gebouwd. Bij de meeste bruggen is dit het grootste gewicht dat de brug moet dragen.
 - **Levende last:** het gewicht van alles en iedereen die de brug gebruikt.





(Voor oudere leerlingen.)

Omgevingskrachten: het effect van harde wind, sneeuw, ijs en aardbevingen.

Schok lasten: de plotselinge zware belasting van bijvoorbeeld zware voertuigen of treinen.

- (c) Laat de leerlingen naar de lijst op het bord kijken en deel deze in de bovenstaande categorieën in. Laat aantekeningen in hun schrift maken.
5. Leg uit dat een succesvolle brug de belasting verdeelt over de fundering of in evenwicht houdt met tegengestelde krachten. Vraag twee vrijwilligers om dit te demonstreren.
- (a) Zet twee personenweegschalen op dezelfde afstand als de plank die de leerlingen gaan vasthouden.
- (b) Laat een leerling op de weegschaal staan. Leg uit dat deze een **PIJLER** voorstelt. Laat het gewicht aflezen.
- (c) (i) Geef de leerling op de weegschaal een lange plank en laat deze **horizontaal** vasthouden. De plank is het wegdek.
(ii) Laat het gewicht aflezen.
(iii) Laat dan de plank **vertikaal** vasthouden en vraag of ze denken dat de draagrichting verschil zal maken. Laat dan de weegschaal aflezen.
- (d) Help de leerlingen tot de conclusie te komen dat het hele gewicht van de brug, inclusief dat van de pijler, op de fundering drukt.
- (e) Laat de leerlingen zich voorstellen dat het gewicht zich door wegdek en pijler verplaatst. Wijs een leerling aan die dit met pijlen op een bordtekening aangeeft.
- (f) Weeg de plank en noteer het gewicht in Tabel 1.
- (g) Laat de tweede leerling op de andere weegschaal staan en het gewicht aflezen. De twee leerlingen moeten nu de plank tussen zich inhouden. Laat de rest van de klas voorspellen hoe de verdeling van het gewicht van de plank zal zijn.
- (h) Om de voorspellingen te testen laat u de leerlingen in tweetallen op de weegschaal staan met de plank tussen hen in. Vraag elke leerling hoeveel het gewicht met de plank is toegenomen op hun weegschaal. Noteer de antwoorden in Tabel 1
- (i) **NOOT:** Leg boeken op de plank om tot grotere verschillen te komen.

De weegschaal blijft hetzelfde gewicht aangeven, onafhankelijk van de draagrichting.

De antwoorden zullen verschillen, maar de meeste zullen zeggen dat het gewicht gelijk verdeeld wordt.

Tabel 1

GEWICHT VAN DE PLANK	TOENAME GEWICHT PIJLER 1	TOENAME GEWICHT PIJLER 2	TOTAAL TOEGENOMEN GEWICHT

Het idee toepassen

- Laat de leerlingen een korte beschrijving maken van de soorten lasten die op de brug worden uitgeoefend.

LEVENDE LAST: _____

DODE LAST: _____

(hogere groepen)

OMGEVINGSKRACHTEN: _____

SCHOK LASTEN: _____

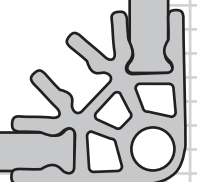
- Bespreek de resultaten van het experiment met de verdeling van de lasten en laat de klas hier een artikel over schrijven. De tabel moet hiervan deel uitmaken.
- Laat de leerlingen de schetsen van de ligger, boog en kabelbrug afmaken door er pijlen bij te tekenen die de richting van de krachten aangeven.

Het idee uitbreiden

- Laat de leerlingen thuis minstens drie verschillende constructies uitkiezen (tafel, bed, stoel, etc.) en daar een tekening van maken waarbij met pijlen de richting van de krachten wordt aangegeven.

CHECKLIST WERKSCHRIFT.

- ✓ Tekeningen van bruggen met naamaanduidingen.
- ✓ Tabel 1 ingevuld.
- ✓ Pijlen die de richting van de krachten aangeven bij de tekeningen van een ligger, boog en kabelbrug.
- ✓ Beschrijving en indeling van de verschillende typen lasten.





De Ligger Brug:

Het herkennen van kenmerken en het vinden manieren om liggerbruggen te versterken.



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. Herkennen de belangrijkste eigenschappen van een liggerbrug.
2. Begrijpen en gebruiken de juiste vaktermen met betrekking tot een liggerbrug.
3. Onderzoeken de voor- en nadelen en de beste toepassingen van de liggerbrug.
4. Bouwen modellen van liggerbruggen met K'NEX.

MATERIALEN

Materialen per 2-3 leerlingen:


- 1 set K'NEX Education Bruggen met instructieboekje
- gewichtenset 10 - 1000 gram
- werkschriften

leerkracht:


- met K'NEX gebouwd voorbeeld liggerbrug
- stuk stevig schuimrubber (30x6x6 cm.) (het soort dat gebruikt wordt in kussens)
- merkstift

WERKWIJZE

Introductie

-  Leg de leerlingen uit dat deze les gaat over liggerbruggen. Dit is het eenvoudigste en oudste type brug, ook wel boom- of balkbrug genoemd. Misschien uitgevonden toen er bij toeval een boom over een kreek of beek gevallen was. Moderne liggerbruggen zijn gemaakt van stalen balken met een soms ingewikkelde vorm. Maar allemaal zijn ze hetzelfde in de manier waarop ze hun eigen gewicht en dat van de last dragen in verticale richting.



-  Laat de leerlingen naar het K'NEX-model van de brug kijken en de dragende onderdelen van de brug te benoemen.

Steun, pijler, staander, toren, bruggenhoofd, etc.

- Herinner je aan het woord pijler. Het woord dat bruggenbouwers gebruiken om verticale steunen aan te duiden. Laat de leerlingen in hun eigen woorden de andere dragende delen van de brug omschrijven. Introduceer dan de volgende termen.

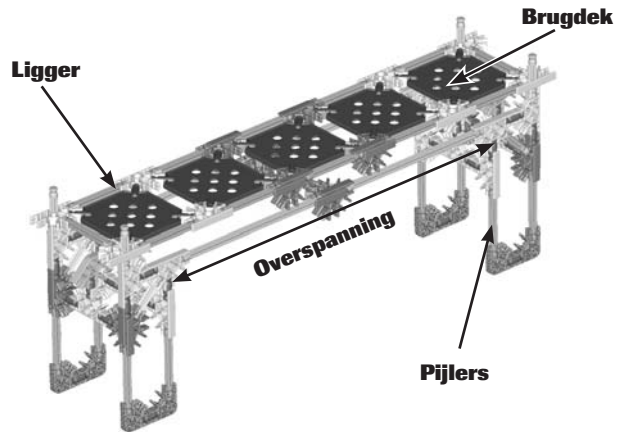
Ligger - het horizontale gedeelte dat rust op de pijlers.

Overspanning – de afstand tussen de pijlers.

Brugdek – de bovenkant van de brug die dienst doet als wegdek of treinrails.

Oprit – het gedeelte tussen het vaste land en het wegdek.

Vangrail/leuning – de beschermende hindernis die voorkomt dat gebruikers over de rand vallen.



Stel een woordenlijst samen voor toekomstig gebruik.

Onderzoeksactiviteit 1: wat is de maximale lengte van een liggerbrug.

Stappen

Noot: Laat de leerlingen veiligheidsbrillen dragen als ze hun bruggen testen.

- Leg de leerlingen uit dat hun eerste onderzoek erom gaat te zien wat er gebeurt bij een eenvoudige constructie als je die langer en langer maakt.. Laat ze voordat ze gaan bouwen eerst naar de volgende vragen kijken:

- Wat gebeurt er met het draagvermogen als de brug langer wordt?
- Hoe kunnen ze hun ideeën testen?
- Welke metingen moeten ze verrichten?
- Waar op de brug moeten ze meten?
- Waar denken ze dat de zwakste delen in de constructie zullen zitten?

Vooronderstellingen in het schrift laten noteren.

- (a) Verdeel de klas in groepen van 4- 6 leerlingen en geef elke groep 2 K'NEX Bruggen dozen.

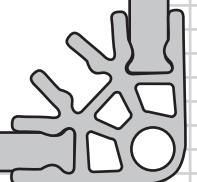
Laat ze een brug tussen twee tafels o.i.d. bouwen en geef daarvoor ook voldoende tijd.

Noot: De brug moet voldoende hoogte hebben om de gewichtset te kunnen gebruiken. Als er geen set is dan kunnen ze zelf andere manieren verzinnen voor het testen.

De eenvoudigste manier is meten in het midden van de overspanning. de leerlingen kunnen beginnen met de groene K'NEX-staven en de zwarte verbindingstukken. Eerst 2, dan 3, 4... 6. Laat in elk stadium metingen verrichten

- (b) Laat de leerlingen de lasten aanbrengen bij verschillende plaatsen op de brug en onderzoeken waar deze instort. Laat de waarnemingen noteren en er tekeningen bij maken.

Waarschijnlijk zal de brug breken bij de verbindingstukken.



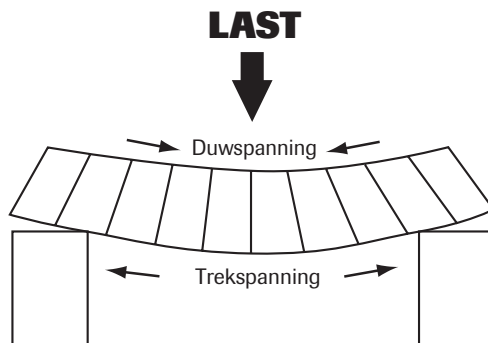


3. Bespreek de resultaten van het onderzoek.

De leerlingen moeten ontdekt hebben dat de brug verzwakt naarmate de overspanning langer wordt. De ligger begint door te zakken onder het eigen gewicht en kan zelfs breken onder het eigen gewicht. Bij de K'NEX liggerbrug is dat bij de verbindingstukken.

Bij nauwkeurige observatie blijkt dat de brug breekt aan de onderkant als de verbindingstukken open springen. Dit laat zien dat de ligger aan de onderkant onder trekspanning staat. Op de bovenkant wordt duwspanning uitgeoefend.

Dit is een mooie aanleiding om de effecten van duw- en trekspanning in een constructie te bekijken. Dit is eenvoudig te demonstreren met een stuk schuimrubber met verticale strepen op de zijkant. (zie pag.6) Toenemende druk op het midden van het schuimrubber perst het aan de bovenkant samen. Hierdoor bewegen de lijnen aan de bovenkant naar elkaar toe en worden deze aan de onderkant uit elkaar getrokken.



Laat de onderdelen eerst sorteren alvorens de klas in groepen van 2- 3 leerlingen te verdelen. Geef elke groep een set.

Bouw activiteit

- Laat elke groep de liggerbrug bouwen van pag. 2 uit het instructieboek. Geef ze vervolgens een paar minuten voor onderzoek naar de werking. Ze kunnen bijvoorbeeld een auto over de brug laten rijden.

Onderzoek activiteit 2: Hoe maak je een liggerbrug langer en sterker?

Stappen

Noot: laat de leerlingen veiligheidsbrillen dragen bij het testen van hun bruggen.

- Laat de leerlingen hun brug op een vel papier leggen en zorgvuldig de hoeken aan de binnenkant bij de pijlers aftekenen. Dit zijn hun referentiepunten voor het uitzetten van de brug. Laat de leerlingen met twee vingers krachtig op de zwarte platen aan beide einden van de brug duwen en zien wat er gebeurt (als er iets gebeurt) met de groene staven van de overspanning en de pijlers.

Ze moeten opmerken dat de staven niet van vorm veranderen en de pijlers niet bewegen. Ze constateren een beetje druk bij de zwarte platen als ze die induwen

2. Laat dan op de druk uitoefenen op de plaat in het midden en kijken wat er gebeurt met de staven en pijlers.

De leerlingen moeten constateren dat de staven en verbindingstukken buigen en dat de pijlers op de grond uit elkaar bewegen. Laat de nieuwe situatie op het papier aftekenen en de verschillen opmeten.

3. Belast het midden van de brug met steeds meer gewichten en laat het gewicht waarbij de brug gaat buigen in een tabel als hieronder, noteren en met een aparte kleur het gewicht aangeven waarbij de brug begint te buigen. Ga door met belasten totdat de brug instort.

4. Houd een liniaal naast de brug en meet de afstand tussen het wegdek en de tafel als de brug belast wordt.

Als het wegdek wijk moet dit uit de metingen blijken.

5. (a) Laat de leerlingen de lange brug van pagina 3 van het Instructieboek bouwen, herhaal de belastingsproeven 2 en 3 en geef de verschillen aan met de resultaten van de korte brug.

Hun bevindingen moeten overeenkomen met de testen van de korte brug.

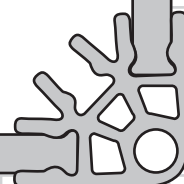
- (b) Herhaal de metingen met de liniaal van stap 4.
(c) Laat de resultaten van de twee metingen vergelijken.

DATA-tabel

KORTE BRUG	Gewicht	Gewicht	Gewicht	Gewicht	Gewicht
Brugdelen buigen					
Pijlers gaan uit elkaar					
LANGE BRUG	Gewicht	Gewicht	Gewicht	Gewicht	Gewicht
Brugdelen buigen					
Pijlers gaan uit elkaar					

De leerlingen moeten ontdekken dat de buiging van de onderdelen bij de lange brug groter is dan bij de korte en de pijlers eerder uit elkaar gaan. De lange brug kan ook minder gewicht dragen.

6. Laat de leerlingen vervolgens de zwarte platen uit de lange brug halen en stap 2 en 3 uitvoeren, maar nu rechtstreeks druk uitoefenen op de verbindingstukken tussen de groene staven en de pijlers. Laat de resultaten noteren.





Het idee toepassen

- Bespreek de resultaten van het uitgevoerde onderzoek over de twee bruggen met de klas.
- Laat de leerlingen met behulp van hun aantekeningen in hun schriften antwoord geven op de volgende vragen:
 - Waar zit het zwakste punt van de brug?

In het midden en bij de verbindingstukken
 - Welke brug was het sterkst?

De korte brug
 - Wat was het effect van een wegdek bij de brug?

De brug werd sterker omdat er een extra laag werd aangebracht om de krachten over te verdelen.
- Bespreek hoe constructies kunnen instorten en de rol van het eigen gewicht van de brug daarin.
- Om dit probleem op te lossen moeten ingenieurs en ontwerpers manieren verzinnen om de brug te versterken en het buigen te verminderen.
- Is er nog een mogelijkheid om een brug te versterken?

*Plaats meer **pijlers**.*
- Laat de klas brainstormen over de voor- en nadelen van het plaatsen van meer pijlers. Schrijf de ideeën op het bord.

Met pijlers kunnen meer hindernissen overwonnen worden. Op het land is dat relatief eenvoudig; het verhoogt de kosten; het bouwen wordt moeilijk als dit in water moet; schepen kunnen lastiger passeren.
- Kunnen ze bedenken waarin de K'NEX-brug verschilt van de echte bruggen op de foto's.

Bij belasting bewegen de onderkanten van de K'NEX-pijlers uit elkaar. In het echt zijn deze stevig in de ondergrond verankerd. Als je de onderkanten van de K'NEX-pijlers vastzet wordt de brug sterker.
- Laat de leerlingen werkblad 1: de Liggerbrug afmaken.
- Bespreek de beperkingen van liggerbruggen, waar ze gebruikt kunnen worden en waar andere ontwerpen noodzakelijk zijn.

Het Idee uitbreiden

1. Laat de leerlingen nadenken over het volgende:
“Als jij een brug voor over een rivier zou ontwerpen, dan zou je liefst zo min mogelijk pijlers gebruiken”.
Geef argumenten waarom en schrijf die in je schrift op.

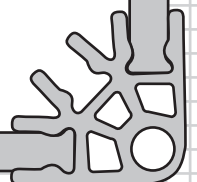
2. Laat de leerlingen foto's en tekeningen van bruggen, ook uit de omgeving, verzamelen en deze vergelijken. Let daarbij op de gebruikte materialen(hout/metaal/beton), hun vorm (kort/lang, breed/smalle), afstand (ver/dichtbij), waar verankerd (land/water).

Overspanningen kunnen lang of kort zijn, breed of smal, van hout, metaal of beton, gebouwd voor autoverkeer of voetgangers. Spanten en onderdelen kunnen verschillen in lengte en aantal.

CHECKLIST VERSLAG

- ✓ Antwoorden en resultaten van stap 1 van bouwactiviteit 1
- ✓ Tekening en notities van de observaties van de testbrug
- ✓ Geheel ingevulde tabel
- ✓ Vergelijking van de korte en de lange brug wat betreft sterkte
- ✓ Effect van het wegdek bij de liggerbrug
- ✓ Complete tekening met de benoemde onderdelen van een liggerbrug

AANTEKENINGEN:





De Balkbrug (met vakwerk-constructie)

Experimenteren met de sterkte van een balkbrug



DOELEN

De leerlingen:

1. Herkennen zwakke punten in constructies en onderzoeken manieren om deze te verbeteren en versterken.
2. Begrijpen de behoefte aan een experimenteer-model waarmee verantwoord onderzoek mee gedaan kan worden.
3. Bedenken een experiment en voeren dit uit.
4. Evalueren de sterkte van een balkbrug aan de hand van testen.
5. Leggen uit waarom een vakwerkconstructie nuttig is voor het bouwen van bruggen en andere constructies.

MATERIALEN

Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- 1 K'NEX Bruggen set met instructieboek
- gewichtenset of boeken, oid (10-1000 gram)
- papier
- touw om gewichten aan te hangen
- potlood
- kleurpotloden of viltstiften
- weegschaal
- werkschriften

WERKWIJZE

Introductie

- Herinner de leerlingen aan hun onderzoek van de Liggerbrug. Bedenk manieren om de brug te versterken.
- Help de klas eraan te herinneren dat extra pijlers niet altijd een praktische oplossing is. Vooral niet als deze een hele diepe of brede rivier moet overbruggen. Vraag waarom.
- Vertel de leerlingen dat een lange, sterke overspanning een betere optie is en vraag naar oplossingen van dit probleem. Schrijf de suggesties op het bord en laat deze toelichten.

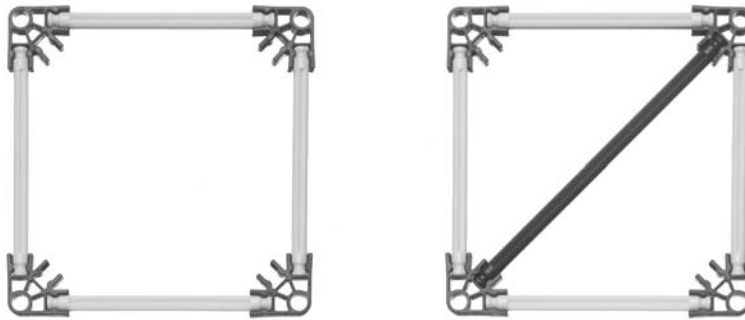
De leerlingen zullen waarschijnlijk voorstellen om meer pijlers te plaatsen.

Bouwen in een stromende rivier is moeilijk en kostbaar. Bij een diepe rivier of kloof zouden de pijlers te lang en daardoor instabiel worden.

De leerlingen opperen waarschijnlijk sterkere of stijvere materialen. Of de overspanning dikker maken.

NOOT: Onder het trefwoord: bruggen is op www.encyclopedoe.nl een heleboel informatie te vinden.

- Vraag de klas welk type constructie sterk en stijf is en in welke vorm deze voorkomen. Wijs de leerlingen er zo nodig op dat rechthoeken versterkt worden met diagonale balken waardoor driehoeken ontstaan. De leerlingen kunnen dit zelf onderzoeken als dit nog niet eerder behandeld is.



Optionele Bouw Activiteit

- Laat de leerlingen een vierkant maken van 8 K'NEX onderdelen. (Bijvoorbeeld van 4 blauwe staven en 4 donkergrijze 90° hoekstukken).
- Laat ze voorzichtig het vierkant buigen en draaien. Laat vervolgens de diagonale staaf aanbrengen en vraag wat ze constateren. (gebruik een donkergrijze staaf als diagonaal)
- Vraag welke figuren er ontstonden door het toevoegen van de schuine staaf.

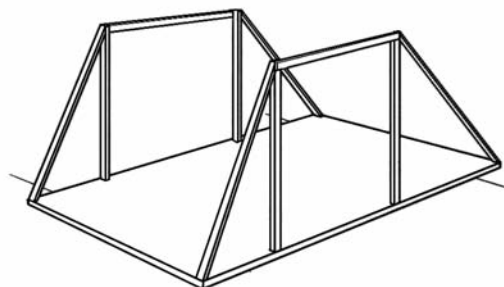
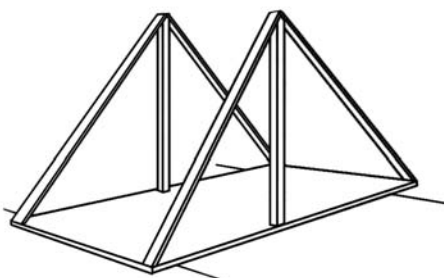
Ze moeten voelen dat het toevoegen van de schuine staaf de constructie minder flexibel maakt.

TWEE driehoeken.

- Leg de klas uit dat driehoeken buitengewoon stevige vormen zijn – ze zijn de enige vorm die niet uit model gebogen kan worden. Bedenk in welke constructies ook driehoeken toegepast worden.

Denk hierbij aan hijskranen, dakconstructies van sporthallen, etc. Zorg zo mogelijk voor foto's van toepassingen uit de directe schoolomgeving.

- Leg uit hoe ingenieurs de kracht van driehoeken gebruiken om een constructie met driehoeken te ontwerpen die ze VAKWERK noemen. Vakwerk wordt toegepast bij lange spanten omdat ze de sterkte vergroten zonder veel gewicht toe te voegen, zoals dikkere balken zouden doen. De VAKWERK-brug was ontworpen als een raamwerk van driehoeken die het doorbuigen, draaien of uit model raken van de constructie tegengaan.





- Dit is een goed moment om het begrip stevigheid/stabiliteit bij bruggen te bespreken. Stabiliteit is het vermogen om doorzakken, buigen, vervormen of instorten te weerstaan als er gewicht of last wordt toegevoegd. (Verwijs ook naar de sleutelbegrippen voor aanvullende informatie over dit onderwerp)
- Leg de leerlingen uit dat ze een aantal verschillende vakwerkbruggen gaan bouwen en deze op sterkte gaan onderzoeken.
- Verdeel de klas in groepjes en verdeel de K'NEX-dozen met de instructieboekjes.

Bouw Activiteit 1

- Laat STAP 1 van de Warren Truss-bridge bouwen. Pagina 4 van het Instructieboekje.
- Leg uit dat ze niet met stap 2 en 3 mogen beginnen voordat ze de sterkte van de basisbrug getest hebben.

Onderzoek Activiteit 1: hoe sterk is de brug zonder de vakwerk-constructie?

Stappen

Noot: Laat de leerlingen veiligheidsbrillen dragen.

1. Laat de leerlingen de sterkte van het basismodel testen door erop te drukken en beargumenteerd raden hoeveel gewicht de brug kan dragen.
2. Vraag de klas wat een goede manier zou zijn om de sterkte van de brug te testen. Wijs ze er eventueel op dat een eerlijke vergelijking alleen gemaakt kan worden als de onderzoeksmethoden hetzelfde zijn.
3. Waarschijnlijk komen de leerlingen met het idee om gewichten op de brug te plaatsen. Vraag ze te onderzoeken waar en hoe deze dan geplaatst moeten worden. U kunt nu de term: *variabele* introduceren. Help de leerlingen begrijpen dat de plaats waar de gewichten geplaatst worden steeds hetzelfde moet zijn. Op deze manier is het gewicht de *enige variabele* en niet de manier waarop het gewicht over de brug verdeeld wordt.

NOOT: Het gewicht onder de brug hangen geeft een betere puntbelasting dan het zetten op wegdek of rails. De brug moet dan wel de afstand tussen twee tafels overspannen.

4. Laat de leerlingen het gewicht waardoor de brug instort en de zwakke plekken noteren. Schrijf de resultaten op het bord.
5. Vraag de leerlingen of ze overeenkomsten of verschillen zien in de gegevens en laat ze deze toelichten of verklaren.

Bouw Activiteit 2:

- Laat de leerlingen de bruggen repareren en doorgaan met de stappen 2 en 3.

Onderzoeksactiviteit 2: Hoe sterk is de brug als je een vakwerk constructie toevoegt?

Stappen

NOOT: Laat de leerlingen een veiligheidsbril dragen.

1. De leerlingen moeten hun brug weer op dezelfde manier testen.

2. Laat vervolgens na het noteren van alle resultaten de Howe Truss - en de Baltimore Truss brug bouwen van pag. 5 van het Instructieboek.

Handig is om nog een model van de Warren brug achter de hand te hebben.

3. (i) Vraag de groep na het bouwen wat ze is opgevallen.

Het moet zijn opgevallen dat het aantal driehoeken bij de verschillende ontwerpen verschilt.

(ii) Vraag de klas naar een relatie tussen de sterkte en het aantal driehoeken en laat de resultaten noteren.

4. (i) Laat elke groep de nieuwe ontwerpen testen en de resultaten opschrijven in een tabel als hieronder en een tekening maken met de juiste termen bij de diverse onderdelen.

(ii) Laat ook het aantal driehoeken in de bruggen tellen en invullen in de tabel.

(iii) Wat valt ze eventueel op bij de resultaten?

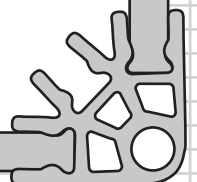
Het moet opvallen dat de constructie sterker wordt naarmate er meer driehoeken gebruikt worden.

5. Bespreek de resultaten en vraag waarom het gebruik van het model van de K-Truss brug geen eerlijke onderzoeksresultaten gegeven zou hebben. Laat ze daarom zorgvuldig de K-Truss brug vergelijken met de andere bruggen van pag. 4 en 5.

De leerlingen moeten zien dat de K-truss brug korter is dan de andere modellen.

Data tabel

NAAM BRUG	MAXIMUM BELASTING	AANTAL DRIEHOEKEN
Warren Truss		
Howe Truss		
Baltimore Truss		





Het Idee Toepassen

- Bespreek het volgende met de klas:

- Hoe noem je de constructie met de driehoeken bij een balkbrug?

Vakwerk

- Wat is er gebeurd met de hoogte van de ligger?

Die werd hoger.

- Waarom gebruiken ingenieurs driehoeken in dit soort constructies?

De driehoekige vorm is sterk en voorkomt dat de ligger doorzakt of van vorm verandert. Het verhoogt de stabiliteit van de constructie door het stijver te maken.

- Bespreek de relatie tussen de sterkte en het aantal gebruikte driehoeken met de leerlingen. Laat de leerlingen hun bevindingen in eigen woorden en met gebruik van de juiste termen in hun werkschrift noteren.

- Laat de leerlingen in hun werkschriften opschrijven waarom dit een “eerlijk” onderzoek was.

(Voor oudere leerlingen)

- Bespreek de voordelen van dit soort brug.

- Wijs de leerlingen op de informatie op pag.5 van het instructieboekje. Hier wordt uitgelegd dat dit type brug was ontworpen om zware treinen te dragen met hun probleem van SCHOK-belasting (Zie ook de Sleutelwoorden voor meer informatie). Bruggenbouwers ontdekten dat het gebruik van driehoeken in de constructie het mogelijk maakte om lange liggers te maken die LEVENDE lasten konden dragen die meer dan 100 ton wogen en steeds het zwaartepunt verplaatsten als ze bewogen.

- Het vakwerk maakte niet alleen de ligger sterker en stijver. Ze verdeelde ook de duw- en trekspanning over de constructie. Bij de gewone liggerbrug werd de bovenkant samengedrukt en de onderkant uitgerekt waardoor deze begon te buigen. Bij de vakwerkbrug wordt de trekspanning van de onderkant overgebracht naar de spanten aan de bovenkant, waardoor de onderkant stijf bleef. Dit is belangrijk. Vooral als er zware lasten over de brug vervoerd werden.

- Laat de leerlingen bedenken hoe effectief een vakwerkbrug sterke wind kan weerstaan. De open constructie laat de wind gewoon door. Hierdoor wordt het effect van de windkracht (omgevingskrachten) verminderend.

- Onderzoek enkele beperkingen van dit ontwerp als de overspanning groter wordt. Vraag de leerlingen wat er zal gebeuren als ze meer en meer driehoeken toevoegen om de brug steviger en langer te maken. Wijs ze zondig op de effecten die ze in voorgaande lessen bestudeerd hebben.

Ze moeten antwoorden dat de DODE last van de brug groter zou worden totdat het eigen gewicht zo groot is dat het zichzelf niet meer kan dragen. Een langere brug houdt ook in dat de belasting door de levende last groter wordt omdat er meer verkeer op past.

- Laat de leerlingen over de voor- en nadelen van dit soort brug in hun werkschrift schrijven en daarbij de woorden dode- en levende last gebruiken.

Het idee uitbreiden

1. Vraag de leerlingen naar verschillen en overeenkomsten tussen de eenvoudige liggerbrug en de balkbrug met vakwerk-constructie.

De leerlingen kunnen antwoorden dat het allebei balkbruggen zijn met dezelfde basisonderdelen, maar dat de bruggen met het vakwerk van driehoeken sterker en langer zijn. Ze kunnen ook de materialen waarvan beide bruggen gemaakt zijn vergelijken.

2. Werken met tweetallen:
Laat de leerlingen een ontwerp voor een eigen brug met vakwerk maken en bouwen. Of het bouwen door een andere groep laten doen.
3. **Ontwerp taak** – Bouw een Balkbrug met vakwerk van minimaal 50 cm en dat het gewicht van een woordenboek kan dragen.
 - ⊗ Voeg twee groepen samen tot een ontwerp team
 - ⊗ Ze hebben 10 minuten voor het ontwerp en 20 minuten voor het bouwen. Ze mogen de inhoud van 2 sets gebruiken.
 - ⊗ Elke groep test hun brug. De andere groepen kijken toe. Laat elke groep:
 - (i) alle problemen bespreken die zij ook hadden en vertellen hoe ze deze overwonnen.
 - (ii) suggesties doen hoe het ontwerp te verbeteren.

Stimuleer het gebruik van de juiste vaktermen.

CHECKLIST WERKSCHRIFT:

- ✓ Tabel met gegevens(data) waarbij de brug instort met en zonder vakwerk-constructie.
- ✓ De volledige tabel waarbij 3 typen bruggen vergeleken worden.
- ✓ De relatie tussen de sterkte van de brug en het aantal driehoeken in de constructie.
- ✓ Voorwaarden voor een “eerlijk” onderzoek.
- ✓ Voor - en nadelen van balkbruggen met een vakwerkconstructie.





De Cantilever Brug:

Een balanceer nummer: de belangrijkste kenmerken van de Cantilever brug op een rijtje.



DOELSTELLINGEN

De Leerlingen:

1. Demonstreren de werking van de cantilever brug
2. Onderzoeken en beschrijven de krachten bij een enkelvoudige pijler constructie
3. Herkennen en begrijpen het verband tussen de diverse onderdelen van een cantilever brug.
4. Herkennen en beschrijven de toepassing van het cantilever principe in andere constructies.

MATERIALEN

Elk groepje van 2 leerlingen heeft nodig:

- KNEX-education bouwset Bruggen.
- gewichtenset o.i.d. (10 – 1000 gr.)
- 5(of 9) dezelfde boeken of houtblokken
- werkschrift

De leerkracht heeft nodig:

- 5x stokken van een meter
- 2 stoelen
- 2x 5-6 boeken in een stapeltje met een touw erom

WERKWIJZE

Introductie

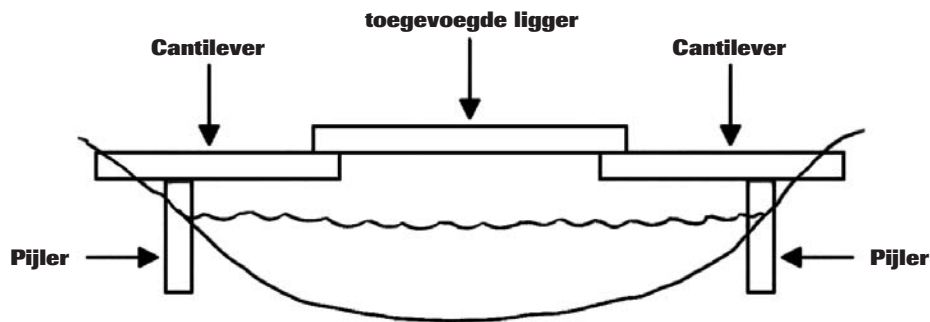
- Leg uit hoe, toen handel en verkeer tussen verschillende gebieden, uitbreidden en er nieuwe vormen van transport ontstonden, er een behoefte ontstond aan ontwerpers die bruggen konden bedenken die zwaardere lasten over grotere afstanden konden vervoeren. Breng in herinnering dat de BALK-brug met een raamwerk al een aantal problemen van ontwerpers had opgelost. Maar voor het overspannen van een wijde riviermond of delta niet voldeed.
- Vraag de klas naar het begrip riviermond.
- Vraag naar de problemen die ontwerpers tegenkomen als er een brug over een riviermond gebouwd moet worden.
- Laat de leerlingen riviermond of delta opzoeken op internet om te zien of ze erachter kunnen komen waarom de tot dusverre geleerde manieren van bruggen bouwen nu niet volstaan.
- Leg uit dat in sommige gevallen het aanleggen van een tunnel een oplossing is, maar niet altijd even praktisch. En alternatief is een CANTILEVER-brug. Dit type is niet nieuw – kleine houten cantilever-bruggen werden al meer dan 2000 jaar geleden in China en Tibet gebouwd – maar het bouwen van grote cantilever-bruggen, die ook zware transporten aankonden, werd pas mogelijk na de uitvinding van het staal aan het eind van de 19e eeuw.

De monding van een rivier waar deze in zee stroomt. Doorgaans het breedste deel van een rivieren is onderhevig aan eb en vloed.

Een brede waterstroom, vaak moerassig zodat het lastig is om er stevige constructies op te bouwen, grote schepen moeten de rivier kunnen opvaren, eb en vloed veroorzaken grote verschillen in de waterhoogte.

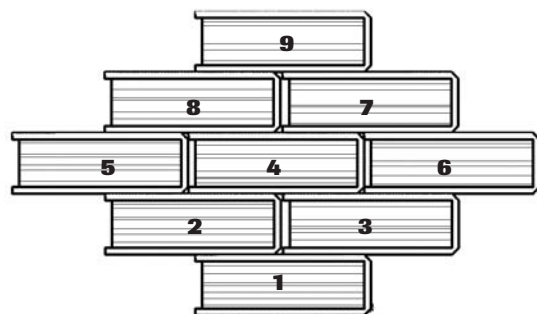
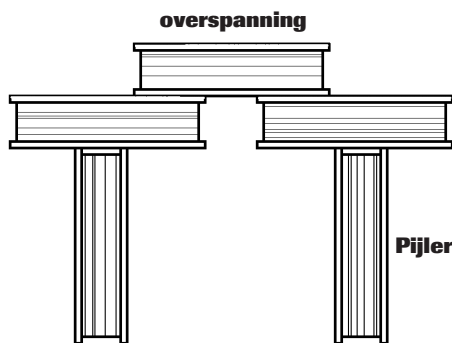
Wat is een cantilever?

- ⊙ Wijs de leerlingen erop dat de cantilever-brug eigenlijk een variatie is op de ligger- en balkbrug. Leg uit dat, in tegenstelling tot de ligger- en de balkbrug er niet twee pijlers nodig zijn maar slechts één. Dit type bruggen wordt doorgaans gemaakt van meerdere cantilevers achter elkaar en vaak wordt ook een extra stuk tussengevoegd, dat steunt op de cantilever.
- ⊙ Geef een voorbeeld van twee grote duikplanken tegenover elkaar bij een rivier. Deze kunnen elkaar rechtstreeks raken, maar er kan ook nog ene stuk tussen gezet worden.
- ⊙ Maak het principe duidelijk met een bordschets.



- ⊙ Laat de leerlingen dit nabouwen met boeken of blokken.
 - ⊙ Laat de leerlingen van 5 dezelfde boeken of blokken een cantilever bouwen. Twee rechtopstaande blokken zijn de pijlers. Leg op elke pijler een boek. Dit is de cantilever. Het ziet eruit als de letter T. Breng de cantilevers in evenwicht als er een boek over het gat gelegd wordt.
 - ⊙ Laat de leerlingen experimenteren met het dichter en verder van elkaar afschuiven van de pijlers.
 - ⊙ Er kan ook een cantilever gemaakt worden met 9 boeken, die horizontaal geplaatst zijn. Tijdens het bouwen ervaren de leerlingen dat er ondertussen ondersteund moet worden. Zonder de belasting erboven kantelen de boeken aan de zijkanten. Dit is de cantilever werking.

Cantilever



- ⊙ Laat de leerlingen hun bouwwerk vergelijken met de foto van de Forth-bridge op pagina 6 van het instructieboek. Deze lijken op elkaar. Waar zitten de cantilevers in deze brug?
- ⊙ Leg uit dat de leerlingen nu een model van een cantilever-brug gaan bouwen van K'NEX. Verdeel de klas in groepjes van 2-3 leerlingen.





Bouw Activiteit 1:

- Geef elke groep een K'NEX-bouwset Bruggen.
- Laat alleen stap 1 (het wegdek) van de cantilever-brug op pagina 6 bouwen. Elke leerling bouwt precies de helft van het wegdek.

Onderzoek activiteit 1:

Hoe breng je een cantilever in balans?

Stappen

1. Laat de leerlingen hun stuk van de brug horizontaal aan het eind vasthouden. Hierbij voelen ze de uitgeoefende krachten. Wat merken ze op?

Ze ondervinden dat het vrij moeilijk is om de brug horizontaal te houden. De zwaartekracht trekt het naar beneden. Het is onstabiel. Ze kunnen zeggen dat ze stevig krachten moeten zetten met hun vingers om het stuk horizontaal te houden.

2. Leg een niet te zwaar gewicht op het einde van de brug. Wat voelen ze nu?

Het is moeilijker het brugdeel horizontaal te houden.

3. Leg het stuk wegdek op een pijler van boek of blok zodat het zo veel mogelijk uitsteekt. (net zoals je het in je hand hield) leg nu gewicht op het gedeelte dat op het boek rust. Krijg je de het brugdeel in balans?

De leerlingen moeten merken dat het brugdeel niet precies in het midden hoeft te liggen als er gewicht op het korte eind rust.

4. Help de leerlingen te begrijpen dat de cantilever in balans moet zijn om los te kunnen staan – dit kan door:

- (i) de brug aan het korte eind te verlengen om een T-constructie te maken
- (ii) contragewicht toe te voegen of de brug op de oever te verankeren. De ankers dienen als tegenwicht zodat de overspanning langer kan worden.

(het uitvoeren van de volgende activiteiten is ter beoordeling van de leerkracht)

5. Laat de leerlingen weer kijken naar hun wegdek op de pijler en vraag naar manieren om de brug te versterken. Het plaatsen van meer pijlers is niet mogelijk.

Ze zullen willen versterken. U kunt een gesprek beginnen over het versterken en ondersteunen van constructies. Wijs ze op de technieken die ze bij de vorige bruggen geleerd hebben. De leerlingen moeten komen met het idee om driehoekige constructies aan te brengen.

6. Schrijf de ideeën op het bord en bespreek de diverse oplossingen om de cantilever te versterken. De cantilever kan versterkt worden met een raamwerk van driehoekige constructies zoals ze bij de balkbrug geleerd hebben.

7. Vat de les als volgt samen:
Een cantilever-brug bestaat meestal uit 2 brugdelen. Elk brugdeel wordt door één pijler ondersteund. De belasting van de cantilever-brug wordt via de pijlers uitgeoefend op de ondergrond. Elke pijler is stevig verankerd in de ondergrond en het wegdek op de pijler steekt aan beide kanten uit. Bij het cantilever systeem houdt het gewicht of verankering aan de landzijde het over het water stekende deel in evenwicht. Het in balans zijn van de krachten maakt het mogelijk dat het wegdek ver over het water uitsteekt met weinig ondersteuning.

Bouw Activiteit 2:

 Laat de leerlingen de stappen 2-6 uit het Instructieboek maken en hun brugmodel onderzoeken.

Onderzoek Activiteit 1:

Wat zijn de karakteristieke onderdelen en functies van een cantilever-brug?

Stappen

1. Laat de leerlingen verschillen en overeenkomsten met andere bruggen uitzoeken. Laat de waarnemingen in het werkschrift noteren.
2. Vraag de leerlingen waarom hun model brug aan de achterkant van de pijler uitsteekt.

De leerlingen moeten onderkennen dat deze uitsteken om de cantilever in balans te houden. Er ontstaat een T-model.
3. Laat de leerlingen een gewicht (last) op het midden van de brug plaatsen om daarmee de belasting door een trein te simuleren. Wat gebeurt er met de ondersteunende pijlers? Alle observaties moeten worden genoteerd.

Bij dit model moeten ze opmerken dat pijlers de neiging hebben aan de basis naar buiten te bewegen.
4. Hoe wordt het wegdek gesteund zodat het sterk en stijf genoeg is om de last te dragen?

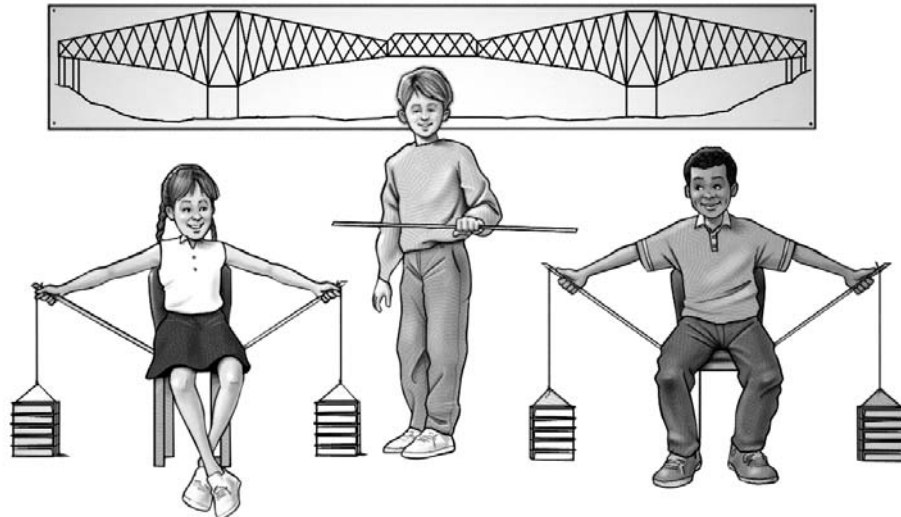
Er is een raamwerk van driehoeken.

(Voor oudere leerlingen)

5. Laat de leerlingen de demonstratie uitvoeren waarmee Sir Benjamin Baker de mensen overtuigde dat zijn ontwerp voor een cantilever-brug over de Firth of Forth zou werken. Kijk naar de tekeningen.

Uit oogpunt van veiligheid is het wellicht beter om niet een leerling op het middengedeelte te laten zitten.
- (a) (i) Maak twee contragewichten van een stapel boeken.
(ii) Zet twee stoelen op 2-3 meter afstand.
(iii) Zet de “contragewichten” op een halve meter afstand van de stoelen aan de buitenkant.
(iv) Zet twee leerlingen op de stoelen met een stok van een meter in elke hand. Het andere eind zit verankerd onder hun billen. De stokken wijzen schuin omhoog. Ze houden hun armen gestrekt opzij. Hun ruggen zo recht mogelijk.
(v) Maak de uiteinden van de buitenste stokken vast aan de stapeltjes boeken.
(vi) Laat een derde leerling een stok van een meter in het midden leggen als centrale overspanning.





- (b) Houd het K'NEX- model van de cantilever-brug omhoog en wijs op de overeenkomsten met de opstelling van de demonstratie. Leg uit dat de leerlingen de pijlers zijn en hun armen het bovengedeelte van de brug en dat de stokken fungeren als ondersteuning of raamwerk. De stapels boeken zijn de contra-gewichten of verankering om de cantilever in balans te houden. De derde leerling is de overspanning tussen de cantilevers.

- (c) Vraag de klas wat er gebeurt met de stokken die door de leerlingen vastgehouden worden.

*Ze moeten opmerken dat ze doorbuigen en naar beneden getrokken worden.. Ze voelen **compressie (duwspanning)**.*

- (d) Vraag aan leerlingen op de stoelen hoe hun armen voelen.

*Waarschijnlijk zullen ze zeggen dat het niet meevalt om ze lang gestrekt te houden. Hun armen worden uitgerekt. Ze voelen **trekspanning**.*

- (e) Vraag de klas wat ze zien aan de lichaamshouding van de leerlingen op de stoel na een paar minuten.

Waarschijnlijk zien ze dat hun medeleerlingen niet meer zo rechtop zitten. Wijs de klas erop dat dit komt door de krachten die ze ondervinden.

- (f) Wijs de leerlingen erop dat de twee krachten in balans zijn – het bovengedeelte van de cantilever constructie (de armen) staat onder trekspanning, maar dit wordt opgevangen door het onderste deel van de constructie (de lichamen en stokken) waar duwspanning optreedt.

(voor oudere leerlingen)

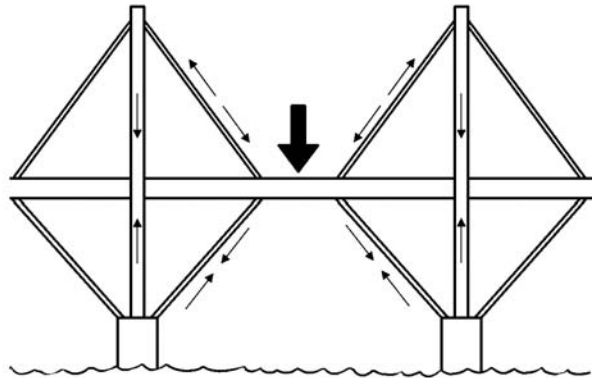
6. Laat de leerlingen hun eigen modellen onderzoeken en kijken wat er gebeurt als ze voorzichtig op de constructie duwen of er gewicht op zetten:

- (a) Welke delen van de brug staan onder duwspanning.

De pijlers/torens en de driehoeken aan de onderkant van het wegdek.

- (b) Welke delen van de brug staan onder trekspanning?

De spanten boven het wegdek als het gewicht/last naar beneden duwt.



7. Laat de leerlingen hun brugmodel onderzoeken en het midden aangeven. Zijn de beide kanten van de brug elkaars spiegelbeeld? Hoe noem je dit?

De delen zijn elkaars spiegelbeeld

Symmetrie of symmetrisch

Leg dit begrip verder uit omdat symmetrie veel voorkomt bij bruggen. Symmetrie helpt de krachten in balans te houden. Bij de bouw van een brug werken de duw- en trekspanning eerder samen dan dat ze elkaar tegenwerken.

8. Vraag elke groep of een cantileverbrug een stabiele of een instabiele constructie is. Laat de antwoorden beargumenteren.

Meerdere antwoorden zijn mogelijk

Het idee toepassen

- Evalueer het cantilever concept met de volgende vragen:

- Wat is het benodigde minimum aantal liggers bij een cantileverbrug?

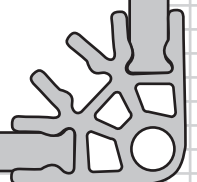
Twee – een vanaf ELKE kant van de rivier.

- Hoeveel pijlers heeft elke ligger nodig bij een cantileverbrug?

Eén – elke pijler draagt een helft van de brug.

- Hoe kan elke helft van een cantileverbrug op zichzelf staan.

Het gewicht moet in balans zijn. Dit houdt doorgaans in, het verlengen van de ligger of wegdek en dus et gewicht verdelen aan beide kanten van de pijler.





- ⊗ Waarom zijn de beide kanten van de brug symmetrisch?

Een symmetrisch ontwerp helpt om de krachten in balans te houden. Daarnaast is een symmetrische brug vaak mooier.

- ⊗ Laat de leerlingen een schets van de brug maken, de onderdelen benoemen en aantekeningen maken over de functies.
- (voor oudere leerlingen)
- ⊗ Laat de leerlingen de demonstratie van Baker beschrijven zoals deze in de klas werd uitgevoerd. Dit doen ze aan de hand van een tekening waarop behalve de benoemde onderdelen ook de krachten met verschillende kleuren zijn aangegeven.
 - ⊗ Laat de leerlingen in hun werkschriften een verhaal schrijven/werkstuk maken over symmetrie en balans.

Het Idee uitbreiden

- Ontwerp taak

Maak een ontwerp-team van twee groepen. Hun opdracht is om een cantilever-brug te bouwen die twee woordenboeken kan dragen op een overspanning van 60 cm. Ze hebben 10 minuten voor de planning en 30 minuten voor het bouwen. Ze mogen de inhoud van twee dozen gebruiken.

Wijs elke groep voordat ze beginnen op:

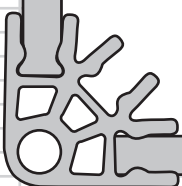
 - ⊗ Welke methode ze gaan gebruiken om de cantilever te ondersteunen – Waar wordt de grootste kracht uitgeoefend?

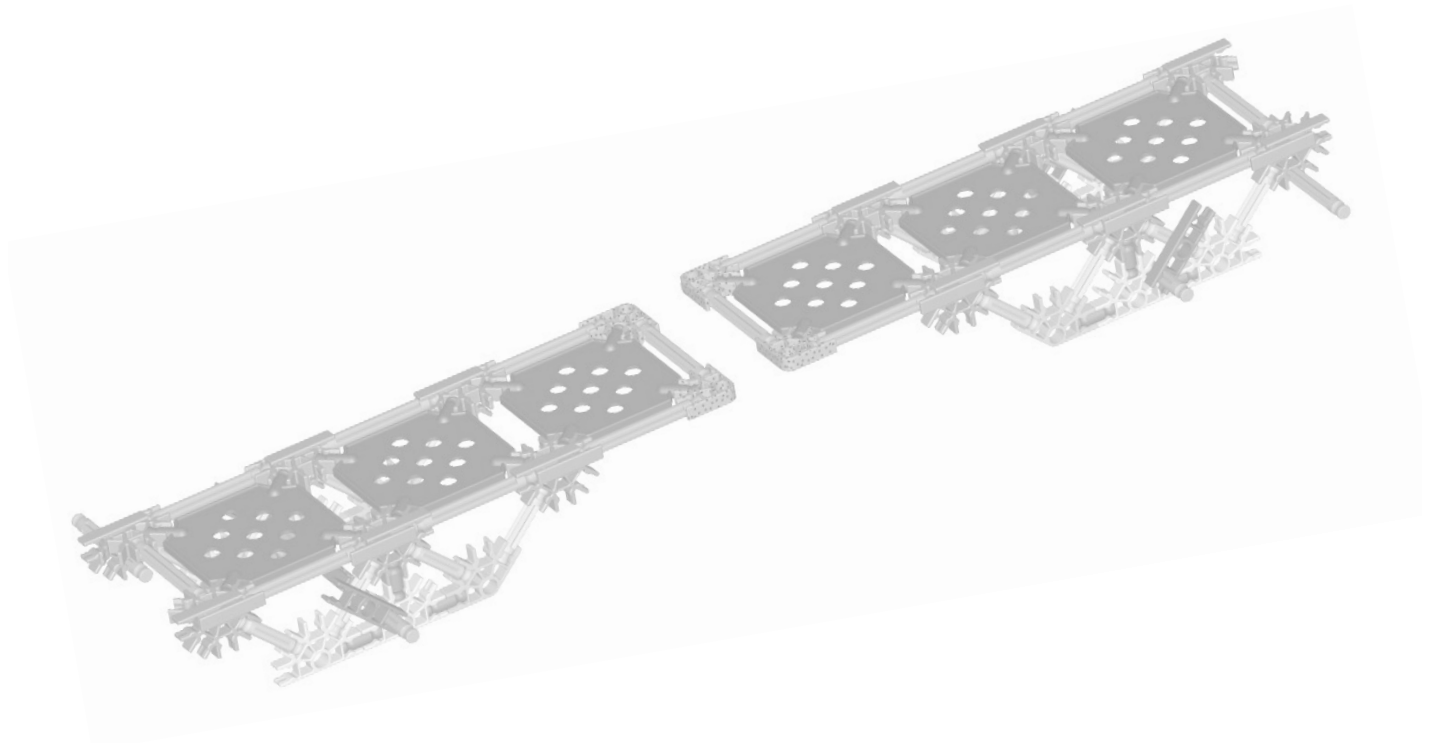
Elke groep test hun brug waarbij de andere groepen observeren. Stimuleer de groepen om hun ervaringen in het overwinnen van problemen uit te wisselen.

 - ⊗ Laat elkaar ook suggesties geven om ontwerpen te verbeteren.
 - ⊗ Stimuleer het gebruik van de juiste vaktermen.
- Laat de leerlingen een van de grootste cantileverbruggen in de wereld onderzoeken, de Forth Railway bridge. Deze overbrugt sinds 1890 de Firth of Forth bij Edinburgh in Schotland. Leg uit dat deze brug eens de langste brug ter wereld was.
- Laat de leerlingen op internet en in het documentatiecentrum zoeken naar constructies die gebruik maken van het cantilever principe. Overdekte stadions maken bijvoorbeeld vaak gebruik van cantilevers.

CHECKLIST VERSLAG

- ✓ Een tekening met benoemde onderdelen en beschrijving van de functies.
- ✓ Duw- en trekspanning in de constructie van de brug. (alleen oudere leerlingen)
- ✓ Beschrijving, met tekening en benoeming van de onderdelen van de demonstratie van Baker. (alleen oudere leerlingen)
- ✓ Vergelijking van symmetrie en balans.







De Bascule Brug:

Een brug die beweegt.



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. Bouwen een model van een brug met een bewegend onderdeel en demonstreren de werking.
2. Herkennen de beperkingen van een bascule-brug.
3. Leggen de werking van een bascule-brug uit.
4. Begrijpen en gebruiken de bij een bascule-brug passende vaktermen.

MATERIALEN

Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- K'NEX Education bouwset: bruggen met instructieboek.
- gewichtenset of andere gewichten (10-1000 gram)
- optioneel (klei)
- werkschriften

De leerkracht heeft nodig:

- foto's van bascule-bruggen
Bijvoorbeeld Tower Bridge
- foto's van zeilschepen met hoge masten of grote schepen (containerschepen/olietankers).

WERKWIJZE

Introductie

- Bespreek met de klas hoe een brug allerlei soorten verkeer – voetgangers, fietsers, andere voertuigen en treinen - in staat stelt om een rivier of kanaal over te steken.
- Laat de leerlingen kijken naar de Forth Rail bridge op pagina 6 van het Instructieboekje en wijs op een probleem voor een type transport dat grote hinder ondervindt van de brug. Breng de klas op het idee dat het voor grote en hoge schepen niet mogelijk is onder de brug door te varen. Dit is een oud probleem dat zich al voordeed in de tijd van de zeilvaart. Tegenwoordig zijn de schepen zo groot dat ze ook te hoog zijn om onder de brug te kunnen doorvaren.
- De leerlingen moeten begrijpen dat een cantilever-brug als de Forth-bridge heel hoog zou moeten zijn om grote schepen te kunnen laten passeren. Vraag wat voor problemen dit zou geven bij het ontwerpen en bouwen.

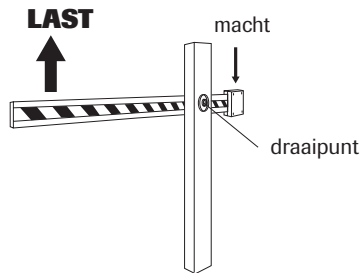
Laat een paar foto's van grote schepen door de leerlingen onderzoeken en de hoogte schatten.

Hogere kosten, meer ondersteuning voor de grote pijlers, een zwaardere brug die weer meer ondersteuning nodig heeft, etc.

○ Hoe los je dit probleem op?

De antwoorden zullen verschillen. Schrijf de oplossingen op het bord. Bespreek daarna de praktische haalbaarheid van de suggesties. Bijvoorbeeld: hoge schepen kunnen wel onder een hoge brug door varen, maar een hoge brug is niet altijd praktisch, vooral niet over een smalle rivier in een vlak gebied. Bespreek de mogelijkheid van een beweegbare brug en vraag hoe je deze zou kunnen maken.

Accepteer alle oplossingen. Bijvoorbeeld: de ligger gaat omhoog of draait. Laat de leerlingen denken aan de bruggen die in de Middeleeuwen bij de ingang van een kasteel lagen. Vraag dan hoe deze genoemd werden, werkten en gebruikt werden.



De leerlingen kennen waarschijnlijk de ophaalbrug die deel uitmaakt van het verdedigingssysteem van Middeleeuwse kastelen. In horizontale stand was het een brug over de slotgracht. In verticale stand vormden ze een extra hindernis voor aanvallers bij de hoofdingang. Met behulp van katrollen, hefboomen en kettingen kon de brug snel worden opgehaald en neergelaten.

○ Een moderne toepassing is de klep van een veerpont. Het gebruikte principe is hetzelfde. Er zit een gewicht aan het korte eind van de klep dat dient als tegenwicht.

○ Leg uit dat in deze les één type brug behandeld wordt – de BASCULE-BRUG. Leg uit dat bascule het Franse woord is voor wip. Schrijf het woord op het bord en laat dat overnemen in de werkschriften.

Laat de leerlingen naar de foto van de bascule-brug op pagina 8 in het Instructieboekje kijken.

Vraag ze naar het verschil met een ophaalbrug van een kasteel.

De brug bestaat uit twee delen die in het midden opengaan. Een kasteelbrug bestaat uit één stuk.

Vraag de leerlingen of de bascule brug ze doet denken aan een ander type brug dat ze eerder bestudeerd hebben. Wijs ze erop dat deze brug lijkt op de cantilever-brug met twee beweegbare armen.

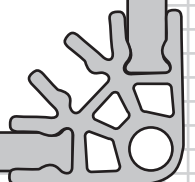
Leg uit dat bij de ligger/wegdek van de bascule-brug het gewicht wordt gecompenseerd door een contragewicht aan de korte kant van de brug. Het grote contragewicht verdwijnt in een opening in de pijler van de brug als deze naar open gaat – net als bij de ophaalbrug van een kasteel. Zonder contragewicht is het bijna onmogelijk om het gewicht van de brug en wegdek omhoog te krijgen.

○ Laat de leerlingen op internet foto's zoeken van bascule-bruggen, waar deze liggen, waarvoor ze gebruikt worden en hoe lang ze zijn.

Kijk ook op www.encyclopedoe.nl onder: bruggen.

Bouw Activiteit:

- Maak groepjes van 2 – 3 leerlingen en geef elke groep een set K'NEX-Bruggen.
- Laat de leerlingen de BASCULE BRUG van pagina 8 en 9 van het Instructieboekje bouwen.
- Laat een paar minuten de gebouwde brug onderzoeken.





Onderzoek activiteit 1: Hoe gaat een bascule brug open en dicht?

Stappen

1. Laat de leerlingen de verschillen beschrijven tussen deze en de andere bruggen die ze bestudeerd hebben.

De overspanning bestaat uit twee delen.

2. Wat zijn de overeenkomsten tussen deze en andere bestudeerde bruggen? Wijs zo nodig op de manier waarop elke helft van de brug wordt ondersteund.

De bascule brug lijkt op de cantilever-brug omdat elk deel aan het eind ondersteund wordt.

3. Vraag enkele leerlingen de werking van het model van de bascule-brug te beschrijven. Laat ze beginnen met de zin: "Om de K'NEX bascule brug te openen moet je eerst ..."

Er moet het volgende ter sprake komen: Oefen een kracht uit op de blauwe horizontale staven (hefbomen) aan beide einden van de brug. Omdat het K'NEX-model geen contragewicht heeft moet er kracht uitgeoefend worden om het wegdek omhoog te krijgen. Het wegdek draait om een andere blauwe staaf naar een verticale stand. Het brugdeel kan niet doordraaien omdat het wordt tegengehouden door de pijler. Om de brug weer te sluiten moet een opwaartse kracht worden uitgeoefend op de blauwe staven. De groene staven voorkomen verder doordraaien.

4. Laat de leerlingen de brug open en dicht doen met hun vingers. Vraag ze waar ze dit in eerdere lessen zijn tegengekomen.

Het wegdek gedraagt zich als een wip, behalve dat het draaipunt niet in het midden zit. Herinner ze aan de activiteiten met de set met de hefbomen.

5. Laat de leerlingen manieren verzinnen om de benodigde kracht voor het openen van de brug te meten. De ideeën moeten in hun werkschrift genoteerd worden en vervolgens uitgevoerd.

Sommige leerlingen zullen gewichten gebruiken, andere geven de voorkeur aan het met een unsters (trekveer) aan de blauwe staaf trekken.

(voor oudere leerlingen)

Onderzoek activiteit 2: Wat zijn de beperkingen van de bascule brug?

Stappen

1. Laat de sterkte van de brug met gewichten testen. Deze stellen een levende last voor die de brug passeert. Laat de gewichten op verschillende plaatsen neerzetten en dan opletten wat er met de pijlers en de brugdelen gebeurt. De test moet meerdere keren met steeds zwaardere gewichten uitgevoerd worden. Zie de tabel op de volgende pagina.

- (a) Waar zitten de sterkste en de zwakste delen van de brug?

De zwakste plekken zitten in het midden van de brugdelen en bij de pijlers. Een gewicht dat geplaatst is in het midden van het wegdek laat deze doorzakken en de pijlers naar buiten bewegen. De sterkste delen zitten aan de einden van het wegdek.

- (b) Hoe zullen de ontwerpers van de Tower Bridge dit probleem hebben opgelost? Denk hierbij aan sommige andere brugtypen die eerder bestudeerd zijn en de manieren die gebruikt werden om de bruggen te versterken.

Ze Installeerden ankers op de oevers en in de ondergrond zodat de pijlers niet meer konden bewegen en versterkten de onderkant van het brugdeel met een raamwerk van driehoeken.

- (c) Hoeveel gewicht kan er op het brugdeel geplaatst worden totdat de brug niet meer werkt?

Meerdere antwoorden mogelijk.

- (d) Wat constateren de leerlingen over de stabiliteit van hun model?

Meerdere leerlingen zullen vinden dat de brug niet erg stabiel is.

- (e) Hoe kan de constructie verbeterd worden?

De antwoorden zullen verschillen, maar de meeste willen de pijlers en de basis van het model versterken. Zodat de pijlers minder snel zullen verschuiven. Sommigen willen een zwaar gewicht op de basis zetten.

Tabel 1

Geplaatst gewicht = _____

Plaats van gewicht	tussen platen 1-2	midden plaat 2	tussen platen 2-3	midden van plaat 3	midden van de brug
Afstand tot tafelblad					

Tabel 2

Geplaatst gewicht = _____

Plaats van gewicht	tussen platen 1-2	midden plaat 2	tussen platen 2-3	midden van plaat 3	midden van de brug
Afstand tot tafelblad					





2. Laat de leerlingen twee zwarte platen van de ene helft van de brug halen en hiermee de andere helft van de brug verlengen. Doe dan nogmaals de test met het belasten van stap 5 en noteer de resultaten in het werkschrift.

NOOT: *Laat een leerling de basis vasthouden als de tests worden uitgevoerd. De leerlingen moet tot de conclusie komen dat er meer kracht nodig is om de brug omhoog te krijgen.*

Het Idee Toepassen

- Bespreek de werking van de brug en laat dit stap voor stap beschrijven door de leerlingen. Deel van de beschrijving is een tekening met benoemde onderdelen waarin duidelijk gemaakt wordt hoe de brug open en dicht gaat. Wijs ze op draai- of scharnierpunt en het midden van de brug. Laat ze nadenken over de vraag waar het contra-gewicht bij een echte brug zou zitten.
- Laat de leerlingen naar de foto op pagina 8 van het Instructieboekje kijken (en ook van de Tower Bridge) en een paar zinnen schrijven over de functie van de verschillende onderdelen in het ontwerp van een echte brug.

(voor oudere leerlingen)

- Laat de observaties van Onderzoek 2 nogmaals bekijken. Hoe de brug werd geopend en gesloten, hoe de brugdelen reageerden op belasting, hoeveel kracht er nodig was voor het openen en sluiten van de brugdelen van verschillende lengtes, en dan uitleggen waarom bascule-bridgen alleen maar korte brugdelen hebben. Laat de resultaten noteren.

De leerlingen moeten concluderen dat de brugdelen in het midden doorzakken als ze te lang zijn. Bovendien zijn ze moeilijker omhoog te krijgen of duurt het openen te lang.

Het Idee Uitbreiden

1. **Ontwerp taak 1: Het verminderen van de kracht die nodig is om de bascule-brug te openen.**

Laat twee groepen samenwerken bij de oplossing van het probleem.

Leg uit dat ze 10 minuten hebben voor de planning en 30-40 minuten voor de bouw.

Laat voor het bouwen van de brug een tweetal ideeën noteren in hun werkschrift en beargumenteren waarom ze voor de gebruikte oplossing kozen.

Stel een gewichtenset of modelleerlei beschikbaar als contra-gewicht.

Laat de leerlingen hun bevindingen noteren en tekenen. Hierbij moeten de juiste vaktermen gebruikt worden.

Elk team demonstreert de gebouwde brug voor de klas. De teams moeten hierbij aandacht besteden aan:




- de bespreking van de problemen en de gevonden oplossingen.
- Suggesties voor verdere verbeteringen.

2. **Ontwerp taak 2: Onderzoek naar de werking van een ophaalbrug van een kasteel.**

Ontwerp en bouw een ophaalbrug voor een kasteel. Gebruik daarbij de KNEX-set en andere geschikte materialen.

De leerlingen moet van tevoren een ontwerp maken.

Elk team moet de brug demonstreren voor de klas. Daarbij moeten ze aandacht besteden aan:

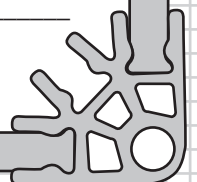
-  De bespreking van problemen en hoe ze die overwonnen.
-  Suggesties voor verdere verbeteringen.
-  Het nut van het aanbrengen van een systeem met contra-gewicht om de werking te verbeteren.

3. Laat de leerlingen andere typen beweegbare bruggen op internet of in het documentatiecentrum zoeken.

CHECKLIST VERSLAG:

- ✓ Gebruikte methode voor het meten van de krachten die nodig waren om de brug te openen.
- ✓ Beschrijving, inclusief gelabelde tekening, van de werking van een bascule-brug.
- ✓ Vergelijking van de bascule-brug met andere onderzochte bruggen.
- ✓ Meetresultaten van Onderzoek Activiteit 2: stap 1 met ingevulde tabel.
(alleen oudere leerlingen)
- ✓ Uitleg van de functie van de verschillende onderdelen van echte bascule-bruggen.
- ✓ Waarom bascule-bruggen korte brugdelen hebben. (alleen oudere leerlingen)

AANTEKENINGEN:





De Boog Brug:

Herkennen van de eigenschappen van de enkelvoudige boogbrug.



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. Herkennen en leggen de functie van de onderdelen van een boogbrug uit.
2. Bouwen en experimenteren met modellen van boog-bruggen om de sterkte van verschillende ontwerpen te vergelijken.
3. Begrijpen en gebruiken vaktermen in relatie tot boog-bruggen.
4. Herkennen de overdracht van krachten in boog-brug systemen.

MATERIALEN

Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- K'NEX bouwset Bruggen met Instructieboek
- werkschriften
- gewichtenset o.i.d.
- karton, blik, lijm, boeken(optioneel)

WERKWIJZE

Introductie

- Herinner de leerlingen aan hun eerdere onderzoeken en help ze om hun opgedane kennis over, hoe ontwerpers problemen bij de bouw van bruggen oplossen, te gebruiken in de nieuwe leersituatie. Onderdelen hiervan zijn:
 - kracht en stabiliteit in constructies
 - ontwerpstrategie om problemen met stabiliteit en constructies op te lossen
 - ontwerpstrategie voor het oplossen van problemen bij grote afstanden die overbrugd moeten worden.
- Leg uit dat deze les gaat over een type brug dat al duizenden jaren gebruikt wordt.
- Laat de leerlingen foto's zien van constructies waarbij bogen gebruikt worden. Bijvoorbeeld Romeinse aquaducten, Middeleeuwse bruggen over een rivier, spoorbruggen uit de 19e eeuw.
- Zie ook www.freefoto.com en www.encyclopedoe.nl onder bruggen.



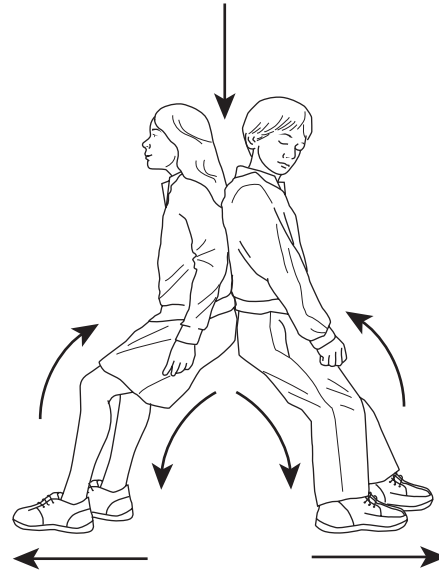
Pont du Gard, Frankrijk



Hoe sterk is een boog?

● Demonstreer met een groene K'NEX flexibele staaf hoe een boog gemaakt wordt voor het maken van stabiele constructies. Voor meer informatie zie: Sleutelbegrippen in dit boek of kijk bij www.encyclopedoe.nl onder bruggen/building big.

● Verdeel de klas in groepjes van 4 leerlingen. (even groot en zwaar werkt het best) en zeg dat ze zelf een boog worden. Zet ze rug aan rug en laat ze tegen elkaar aan leunen. De voeten steken een stuk uit aan de voorkant. Ze moeten hun knieën buigen. Hun benen vormen nu een boog. De andere leerlingen uit het groepje voorkomen dat de voeten wegglijden door hun voeten er dwars voor te zetten.



● Wissel de rollen zodat iedereen een keer deel van een boog is geweest.

● Vraag de leerlingen wat ze voelden bij hun rug, armen, benen, schouders en voeten.

● Waar voelden ze de sterkste kracht?

Op hun rug als ze tegen elkaar duwden.

● Wat zorgde ervoor dat hun voeten niet weggeleden?

Wrijving en de voeten van de "helper".

● Laat een foto zien van een stenen boog-brug en vergelijk die met de boog die ze zelf waren. Leg uit dat de steen in het midden van de boog bovenaan de SLUITSTEEN genoemd wordt. Deze zit op dezelfde plaats als waar hun ruggen tegen elkaar duwden. Alle andere stenen duwen of wrijven tegen deze steen. Net als het gewicht van de leerlingen tegen de bovenkant van hun rug duwde.



● Laat de leerlingen de vorm van de stenen beschrijven.

De stenen zijn wigvormig.



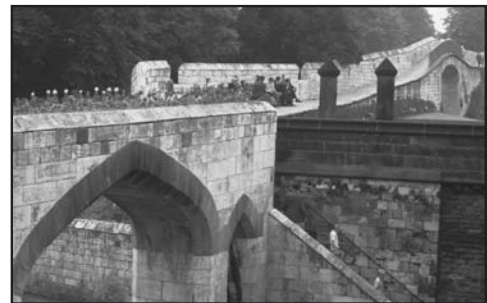


- Leg uit dat het deze vorm is die de boog zichzelf overeind houdt. De wig-vorm zorgt ervoor dat elke steen zich klemt tussen de stenen ernaast en daardoor niet valt.
- Maak een tekening van de wig-vormige stenen op het bord.
- Vraag de leerlingen waarom rechthoekige stenen wel of niet gebruikt kunnen worden.

Rechthoekige stenen glijden eerder van hun plaats, waardoor de brug instort. Als er wel rechthoekige stenen gebruikt worden wordt de ruimte ertussen ongelijk opgevuld met cement. Hierdoor ontstaat hetzelfde effect als bij de wig-vorm. De stabiliteit is verzekerd, evenals de snelheid van het bouwproces.

- Vraag de leerlingen of het voelde alsof hun voeten voorwaarts gleden toen ze hun boog vormden en hun gewicht naar beneden duwde. De boog blijft alleen staan als er sterke steunberen aan de einden van de boog staan om te voorkomen dat ze zijwaarts verschuiven. Wijs de steunberen aan op de foto van een brug – de plaats waar de bogen eindigen bij de oever of de rotsen. Schrijf het woord STEUNBEER of BRUGGENHOOFD op het bord.
- Vraag wat bij hun lichaamsboog fungeerde als steunbeer.
- Bespreek dat bogen niet alleen bij bruggen gebruikt worden maar ook in gebouwen omdat het een heel sterkte vorm is. Sommige Romeinse bruggen worden nog steeds gebruikt na 2000 jaar. Dat geldt ook voor sommige bruggen met meerdere bogen, zoals de Ponte Vecchio in Florence, Italië bijvoorbeeld.

De leerlingen die hun voeten tegenhielden.



- Leg uit dat de leerlingen nu zelf de stevigheid van boogvormige constructies gaan onderzoeken. Ze moeten hun bevindingen in hun werkschrift noteren.

Bouw Activiteit 1:

- Verdeel de klas in groepjes van 2 of 3 leerlingen en geef elke groep een K'NEX-set Bruggen
- Wijs voordat ze beginnen met bouwen eerst op de drie versies van de BOOG-BRUG op pagina 10-11 van het instructieboekje. Leg uit dat een boog een heel handige constructie kan zijn bij een brug. Vraag de klas naar de verschillen.
- Laat alle groepen beginnen met het bouwen van de stappen 1-4 van de brug met de boog aan de ONDERkant. Pagina 10 van het Instructieboekje.

Het wegdek van de brug kan over, onder of door de boog.

Bij de stappen 2,3,4 moet worden samengewerkt om het wegdek op de groene staven te klemmen.

Bouw Tip:

Bij stap 1 wordt aanbevolen om de leerlingen van links naar rechts te laten werken bij het met blauwe staven verbinden van de spanten aan de onder- en bovenkant. Dit werkt beter dan eerst de bogen van onder en bovenkant aan elkaar te zetten en dan pas met de blauwe staven te verbinden.

Onderzoek Activiteit 1: Hoe stabiel is een zelfstandig staande boogbrug?

Stappen

1. Stel de volgende vragen

(a) Wat gebeurt er met de boog als je op het midden duwt?

Het midden gaat naar beneden en de zijkanten bewegen naar buiten.

(b) Is dit een stabiele of instabiele constructie?

De leerlingen moeten merken dat dit enigszins instabiel is, hoewel antwoorden kunnen verschillen.

2. Laat de leerlingen weer naar de foto op pagina 10 kijken en vraag waar de boog tegen gebouwd is.

De rotswanden van de kloof.


3. Herinner de leerlingen aan de woorden die ze geleerd hebben waardoor de brug niet zijwaarts kon bewegen.

Steunbeer of bruggenhoofd

4. Leg uit dat steunberen gemaakt worden en dat bruggenhoofden vaak de wanden van een kloof of ravijn zijn. Ze voorkomen beide dat de zijkanten van een brug zijwaarts bewegen. Vraag de leerlingen wat het gevolg daar van is.

De boog wordt een stabiele constructie.

Bouw Activiteit 2:

 Verdeel de klas in groepen van 6 leerlingen. Laat elk tweetal een andere versie van de boog-brug bouwen en een serie onderzoeken uitvoeren. De resultaten worden vergeleken. Ze mogen zelf kiezen wie welke type bouwt.

 Geef ze tijd om te bouwen.

Onderzoek Activiteit 2: Hebben verschillen in het ontwerp invloed op de sterkte van een boog-brug?

NOOT: Laat de leerlingen veiligheidsbrillen dragen bij het testen van hun bruggen.



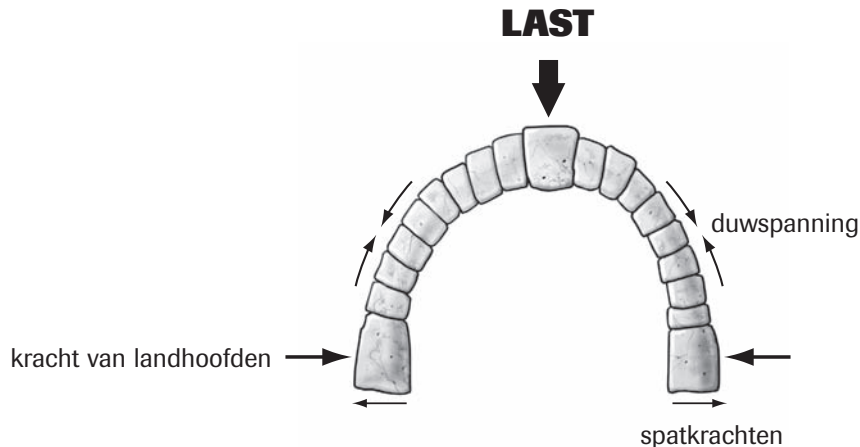


Stappen

1. Laat de klas de onderdelen van de boog-brug benoemen. Maak een bordtekening en laat de diverse onderdelen aanwijzen en benoemen. De volgende termen moeten daarbij gebruikt worden:

Sluitsteen, steunbeer, bruggenhoofd, wegdek, wig-vormen.

Vertel de leerlingen dat de meeste moderne boogbruggen van staal en beton gemaakt worden en derhalve geen echte sluitsteen meer hebben. Maar iedere brug heeft een punt in de boog waar vanuit de krachten zich straalsgewijs verdelen. U kunt de term vousoir invoeren: een echte boogbrug met wigvormige stenen die precies passen tussen de steunberen.



2. (a) Laat de teams een eerlijke test voor het meten van de sterkte van hun bruggen bedenken en de resultaten in een tabel noteren. Laat ze zelf de indeling van een tabel verzinnen..
- (b) Vraag of het aanbrengen van het wegdek invloed had op de sterkte.

De teams zullen waarschijnlijk besluiten om ergens last/gewicht op elk van de bruggen te plaatsen en het effect daarvan op het wegdek en de zijkanten bestuderen

De leerlingen moeten uitvinden dat de hele brug sterker en stabiel is geworden, maar er moet nog steeds kracht op de zijkanten uitgeoefend worden.

(voor oudere leerlingen)

3. Laat de leerlingen de volgende vragen in hun team bespreken en de antwoorden noteren in hun werkschriften.
 - (a) Hoe moet je het wegdek ondersteunen zodat het wegdek sterk en stevig genoeg is om zware lasten te kunnen dragen?

De antwoorden verschillen – maar verwijzen allemaal naar de versterking van het raamwerk.

- (b) Welke delen van de brug staan onder drukspanning?

De hele boogconstructie staat onder druk. U kunt de leerlingen uitleggen dat de gebogen vorm van de brug naar de buitenkant duwt tegen de steunberen of bruggenhoofd aan. Dit zit in de structuur van de boog ingebakken. Voor meer informatie zie www.encyclopedoe.nl bij Bruggen onder Building Big.

- (c) Welke delen van de brug staan onder trekspanning?

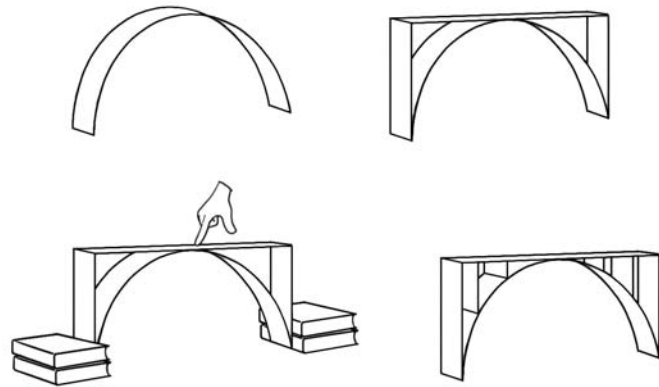
Het wegdek boven de boog.

Het Idee Toepassen

- Laat de leerlingen in hun werkschrift een duidelijke, gelabelde tekening maken van een boog-brug. De onderdelen en hun functie moeten daarbij beschreven worden.
- Bespreek klassikaal de resultaten van het onderzoek naar de drie verschillende bruggen. Help de leerlingen bij de uitleg van de verschillen die ze gevonden hebben.

Het Idee Uitbreiden

1. Laat de leerlingen voorbeelden van echte boogbruggen opzoeken op internet. Ze kunnen daarbij onderzoek doen naar lengte, plaats en functie.
2. De volgende activiteit stelt de leerlingen in staat om het concept van een boogbrug uit te proberen door er een te maken van karton. Het gebogen stuk kan gemaakt worden door een natte strook karton te laten drogen om een blik. Lijm dan het wegdek en de steunberen op hun plaats. Laat de leerlingen in elk stadium van de bouw op de onderdelen duwen, om te zien waaruit de brug kracht put.
3. De leerlingen kunnen experimenteren met verschillende maten stroken en een brug bouwen met meerdere bogen.
4. Laat de leerlingen aquaducten en viaducten onderzoeken. Ze kunnen zich afvragen waar en waarom deze daar gebouwd zijn en of ze tegenwoordig nog in gebruik zijn.



CHECKLIST VERSLAG:

- ✓ Gelabelde tekening van een boogbrug.
- ✓ Beschrijving van de belangrijkste onderdelen van de brug.
- ✓ Resultaten van het onderzoek naar de verschillen in sterkte van de 3 versies van de boog-brug.





De Balk- of liggerbrug met steunkabels/Hangbrug

Een onderzoek naar de kenmerken.



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. Bouwen een brugmodel.
2. Herkennen en beschrijven de onderdelen van een balkbrug met steunkabels.
3. Demonstreren en leggen het optreden van krachten bij dit type brug uit.

MATERIALEN

Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- set K'NEX bruggen met Instructieboekje
- gewichtenset 10 – 1000 gram
- paperclips
- werkschriften

u hebt nodig:

- grote rubberen band
- stuk schuimrubber
- touw
- emmer met gewichten
- karton, tafels, stoelen, tapijt, etc. (optioneel)

WERKWIJZE

Introductie

Leg uit dat de leerlingen zich in deze les gaan bezighouden met het bestuderen van de balkbrug met steunkabels. Laat een grote foto van de brug zien. Vraag de leerlingen naar verschillen en overeenkomsten met de andere bruggen die ze onderzocht hebben. Schrijf de antwoorden op het bord.

Zet twee stoelen op ongeveer 3 meter van elkaar en span een touw van de ene kant van de klas naar de andere waarbij het touw op de rug van de stoelen moet rusten.

Vraag hoe het touw gebruikt kan worden bij een brug.

De leerlingen kunnen zeggen dat je hangend aan het touw naar de overkant kunt komen of er een wandelpad of wegdek aan hangen.

Leg uit dat deze mogelijkheden een balkbrug met kabelondersteuning vormen. Laat ze nog eens naar de foto kijken.

Geef elke leerling een paperclip. Laat deze open buigen en hang de paperclip aan het touw. Vraag ze wat je daaraan zou kunnen hangen.

De leerlingen moeten opmerken dat je er een wegdek aan kunt hangen.

Laat vervolgens een wegdek van stroken karton aan de paperclips hangen.

BRUGGEN

⊗ Vraag de leerlingen wat er gebeurde toen ze het wegdek vastgemaakt hadden.

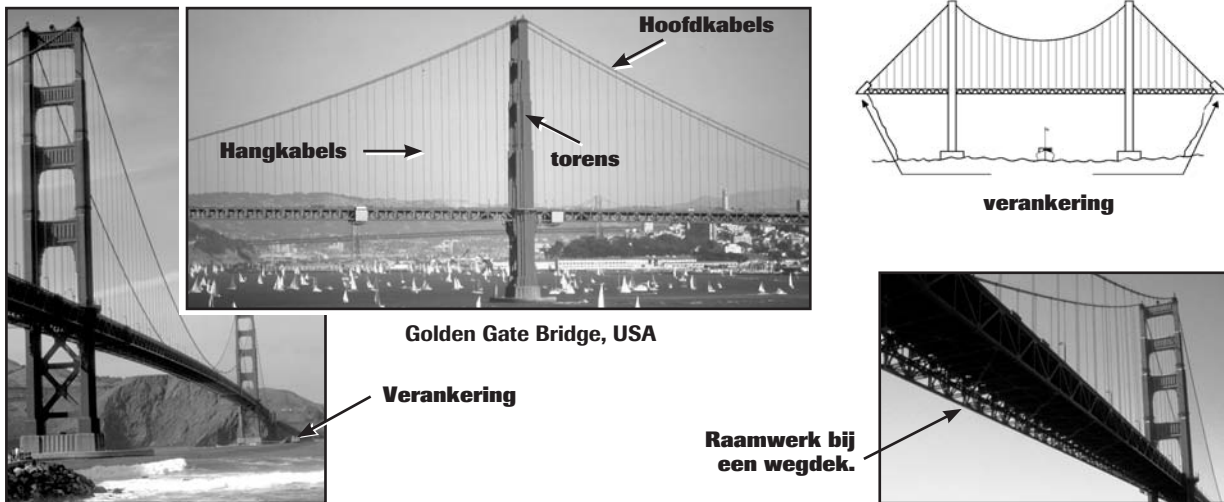
De brug zakte op de grond.

⊗ Vraag ze wat er moest gebeuren om de brug weer omhoog te krijgen.

De einden van het touw ergens aan vast maken

⊗ Zodra hun brug gezeurd is door het vastmaken van de kabeluiteinden wijst u op de foto van de echte brug, die u liet zien bij de introductie van de onderdelen van de hangbrug. De leerlingen kunnen de onderdelen beschrijven en u kunt zonnodig de vaktermen verbeteren. De vaktermen worden op het bord en in hun werkschriften geschreven.

⊗ Het touw functioneert als de hoofdkabels van de brug. De stoelen zijn de torens. De paperclips zijn de hangkabels waaraan het wegdek hangt. De einden van het touw zijn vastgemaakt aan de verankering om te voorkomen dat de torens scheef gaan hangen en de brug instort. Wijs er op dat het wegdek van deze soort brug in het echt versterkt kan zijn met een raamwerk-constructie.



Golden Gate Bridge, USA

Verankering

Raamwerk bij een wegdek.

⊗ Vraag 5 vrijwilligers om te komen demonstreren hoe de krachten bij een dergelijke brug werken.

⊗ Leg een tapijt op de vloer en zeg dat dit de rivier is die met een brug met steunkabels overbrugd moet worden.

⊗ Wijs op de tekening van pag. 63 en zeg dat de leerlingen die op de stoelen zitten, de torens zijn.

⊗ Vraag waar ze moeten zitten. In de rivier of op de oever.

De leerlingen moeten in de rivier zitten.

⊗ Zet de leerlingen op de stoelen en leg het touw over hun schouders. Vraag wat het touw voorstelt.

Het touw is de hoofdkabel van de brug.

⊗ Hang de emmer in het midden van het touw. Vraag de klas wat de emmer voorstelt. Geef zo nodig de aanwijzing dat er gewicht wordt toegevoegd.

Het gewicht van het wegdek.



- Vraag waar de verankering voor de kabels moet zitten.

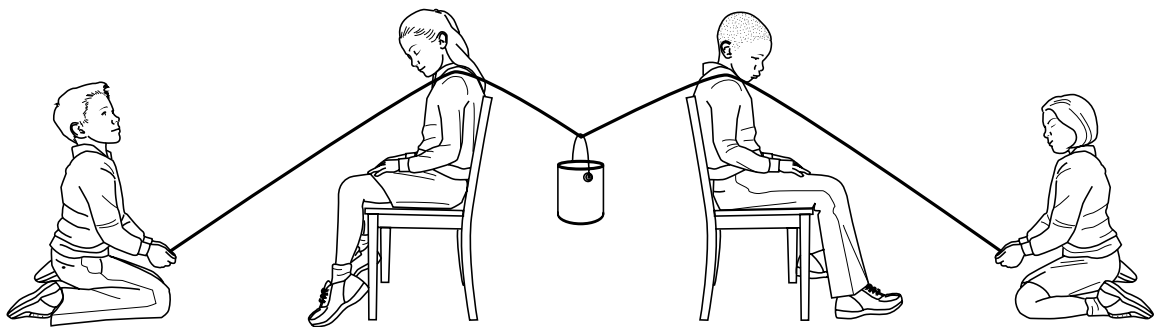
Bij het landhoofd.

- Laat twee leerlingen, die de rol van landhoofd spelen, aan weerszijden van de rivier zitten.
- Geef ze de uiteinden van het touw.
- Leg uit dat emmer verzwaard wordt en dat zij de emmer op zijn plaats moeten houden.
- Laat de nummer 5 meer gewicht in de emmer stoppen en laat de anderen hun ervaringen beschrijven. De leerlingen van het landhoofd ervaren dat ze nu harder moeten trekken en de zittende leerlingen vertellen dat er meer kracht op hun schouders wordt uitgeoefend.

- Vraag wat er gebeurt als een leerling het touw zou loslaten.

Touw en emmer zouden op de grond vallen.

- Laat de leerlingen hun ervaringen bij het rollenspel beschrijven.



- Maak een tekening van de demonstratie op het bord en bespreek hoe de onderdelen van de brug worden voorgesteld en de krachten werken.

Bespreek hoe:

- Het touw fungeert als een van de hoofdkabels.
 - De leerlingen die de kabels steunen zijn de torens/pijlers.
 - De leerlingen die het touw vasthouden zijn de verankering.
 - Het hengsel van de emmer is een van de hangkabels.
- Zet deze termen in de tekening en laat de leerlingen deze overnemen in hun werkschrift.

Laat naar de foto van de Golden Gate bridge op pagina 12 van het instructieboekje kijken en ook naar andere afbeeldingen van dit soort bruggen of deze op internet zoeken.

Benoem de belangrijkste onderdelen van de brug

Onderzoek waar dit soort bruggen staan.

Onderzoek het gebruik van deze bruggen en vergelijk de lengte met andere eerder onderzochte brugtypen.

Voor meer informatie zie www.encyclopedoe.nl met trefwoord: bruggen of andere sites met gratis afbeeldingen.

Bespreek een aantal gegevens die de leerlingen hebben gevonden. Ze moeten uitgevonden hebben dat een van de langste bruggen ter wereld een balkbrug met steunkabels is. Refereer ook aan eerdere onderzoeken van bruggen met betrekking tot sterkte en stabiliteit. En bespreek problemen die ontwerpers hebben moeten oplossen bij de bouw van lange bruggen van soms wel 2000 meter. Hoe kan zo'n lange brug ondersteund worden en toch stijf en sterk genoeg blijven. Noteer de suggesties.

Op basis van hun eerdere onderzoeken kunnen de leerlingen wijzen op het grote aantal ondersteunende dunne kabels. Ze hebben ontdekt dat de brug daardoor lichter van constructie is waardoor langere overspanningen gebouwd kunnen worden.

Bouw Activiteit

Verdeel de klas in groepjes van 2-3 leerlinegn en geef deze een set K'NEX-Bruggen.

Het onderzoek begint met het bouwen van het brugmodel op de pagina's 12 en 13 van het Instructieboekje.

Laat niet verder bouwen dan stap 4.

Onderzoek Activiteit 1: Is dit een stabiele constructie als er geen kabels gebruikt worden?

NOOT: laat de leerlingen veiligheidsbrillen dragen bij het testen van de bruggen.

Stappen

1. Laat de leerlingen een test voor stabiliteit bedenken met gebruik van het plaatsen van een gewicht in het midden van de brug.

2. Elke groep moet observeren wat er gebeurt en de volgende vragen beantwoorden:

Wat is het maximumgewicht dat de brug kon dragen?

Antwoorden zullen verschillen. Ze kunnen de gegevens noteren in een tabel.



- ⊗ Wat zijn de zwakste onderdelen van de brug?

De leerlingen zullen waarschijnlijk zeggen dat de hele constructie zwak is. Het wegdek zakt door in het midden en slingert over de volle lengte heen en weer: de torens bewegen en buigen naar het midden.

- ⊗ Hoe verklaar je de waarnemingen?

Onvoldoende steun in de constructie

- ⊗ Is deze constructie stabiel of instabiel?

De meeste leerlingen zullen antwoorden dat de constructie instabiel is.

3. Bespreek de resultaten en laat deze in hun werkschrift noteren.

Tabel

Stadium van de brug	toegevoegd gewicht	observaties
Geen kabels		
Kabels niet vastgemaakt		
Kabels vastgemaakt		

Bouw Activiteit vervolg

- ⊗ Elke groep maakt het model af met de stappen 5-7.

Onderzoek Activiteit 2: Wat is het effect van het bevestigen van de kabels op de sterkte en stabiliteit van de constructie?

Stappen

- Laat de leerlingen de onderdelen van de brug benoemen. Eventueel met behulp van de eerder gemaakte tekening.
- Laat ze naar de foto in het Instructieboek kijken en deze vergelijken met hun K'NEX-model. Vraag ze welke materialen in moderne bruggen van dit type gebruikt worden. (zie ook de sleutelbegrippen in deze gids voor aanvullende informatie.)

Wijs ze er zonnig op dat hun bruggen geen verankering hebben aan het eind van de kabels. Het model heeft ook geen kabel over de hele lengte van de brug. De torens van de echte brug zijn aanzienlijk hoger dan die in het model.

Vergelijkbare bruggen hebben kabels van gedraaid staaldraad en torens en een wegdek van beton.

3. Laat de leerlingen deze verschillen in gedachte houden en dan de brug op precies dezelfde manier weer testen. De vragen moeten beantwoord worden en hun observaties met betrekking tot de last genoteerd in een tabel.

(a) Is het vermogen van de brug om lasten te dragen toegenomen, hetzelfde gebleven of verminderd?

Het dragend vermogen is toegenomen.

(b) Kun je dit verklaren?

Er zijn steun- of hangkabels verbonden met de hoofdkabel toegevoegd. En die helpen het midden van het wegdek ondersteunen.

(c) Wat zie je aan de vorm van het wegdek nu er kabels aan bevestigd zijn?

Het wegdek buigt in het midden. Het krijgt de vorm van een boog omdat de kabels het omhoog trekken.

(d) Wat was de invloed van de kabels op de stabiliteit van de brug?

De sterkte en stabiliteit van de brug zijn toegenomen.

(voor oudere leerlingen)

4. Wijs de leerlingen erop dat het gewicht van wegdek en levende last door de hangkabels (die onder spanning staan) wordt overgebracht op de hoofdkabels die daardoor onder grote spanning staan. Deze spanning trekt aan de verankering en de kabels drukken op de torens. Deze geven de neerwaartse kracht weer door aan de fundering en ondergrond. Wijs er ook op door het ontwerp van de brug duw- en trekspanning in evenwicht zijn.

5. Vraag de leerlingen of de kabels bij een echte brug heen en weer kunnen bewegen of dat deze vast zitten.

Leg uit dat de kabels bij een echte brug op de toren rusten. Dit is omdat ze dan kunnen bewegen als het metaal van kabels en constructie uitzet en de trekkracht aan beide zijden van de toren verdeeld wordt bij een ongelijke belasting. Wijs de leerlingen erop dat dit een ander verschil is met hun model.

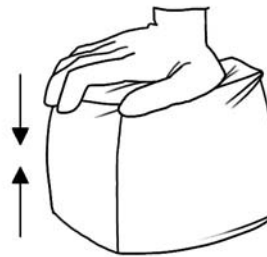
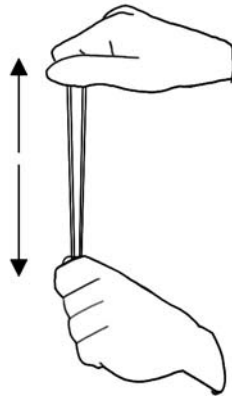
6. Laat ze nu aan de einden van de flexibele groene staven trekken en het draagvermogen van de brug opnieuw testen.

Ze moeten constateren dat het draagvermogen toeneemt als ze de groene staven vasthouden. Ze moeten zich realiseren dat zij de verankering zijn en dat dit soort bruggen heel efficiënt is als alle subsystemen goed werken.





7. Bespreek de resultaten door te vragen:
- Wat is de functie van de torens?
 - Wat is de functie van de kabels die over de torens liggen?
 - Waarom moeten deze kabels aan de einden verankerd worden?
 - Wat is de functie van de verticale kabels?
 - Hoe wordt het wegdek/rijvloer sterk en stijf gemaakt??



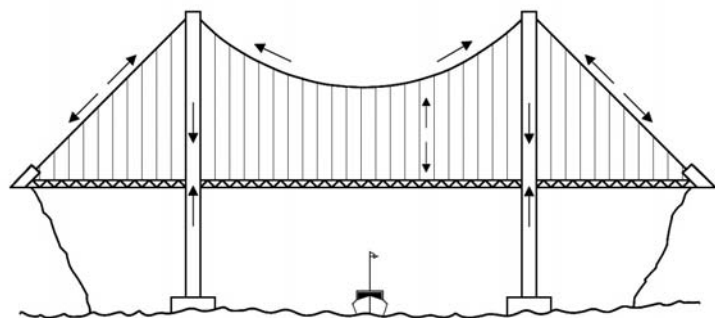
De torens dragen het totale gewicht van de brug. De hoofdkabels dragen het gewicht van het wegdek. Dit gewicht geeft spanning in de hoofdkabels. Om te voorkomen dat de hele constructie van de brug instort moeten deze aan de einden verankerd worden. Verticale steunkabels verbinden het wegdek met de hoofdkabels. Het wegdek is sterk en stijf gemaakt met een lichte boogvorm. Deze vorm wordt in model gehouden door de opwaartse kracht van de steunkabels.

(voor oudere leerlingen)

8. (a) Bekijk de manier waarop in de constructie van de brug de krachten in evenwicht gehouden worden om te voorkomen dat de brug instort. Vraag de leerlingen naar de twee krachten die in een brug optreden.
- (b) Laat de klas nadenken over de demonstratie en de beschrijving van de ervaringen die de deelnemers gaven. Naar aanleiding hiervan kunnen ze beschrijven waar duw- en trekspanningen voorkomen in een brug met steunkabels. Ze kunnen ook zelf op het midden van de brug duwen en kijken wat er gebeurt. U kunt eventueel helpen met een elastiekje en een stuk schuimrubber zoals op de tekeningen hierboven.

Duw- en trekspanning

Ze moeten uitleggen dat de torens onderhevig zijn aan duw-spanning omdat de kabels naar beneden duwen. In de hoofd- en steunkabels treedt trekspanning op omdat er voortdurend aan getrokken wordt. De krachten die optreden in het wegdek (dat gewoon aan de kabels hangt) zijn buigen en torsie(draaiing) door de levende last. De boogvorm van het wegdek vermindert de spanning in de onderkant van het wegdek.



Krachten in een hangbrug

Het idee toepassen

- Bespreek de bevindingen van de leerlingen over de brug.
- Laat de leerlingen een lijst maken van de functies van de onderdelen.
- Laat ook schrijven over de verschillen tussen een echte brug en hun model.
- Laat de leerlingen uitleggen hoe het aanbrengen van kabels effect heeft op sterkte en stabiliteit.
- Laat de leerlingen een tekening van de krachten in de brug maken met verschillende kleuren en de juiste vaktermen.

Het idee uitbreiden

1. Leg uit dat het, ondanks vele uren rekenwerk en grote inspanning van ontwerpers, toch nog wel eens mis gaat met het maken van bruggen.

Laat op internet het instorten van de Tacoma Narrows brug opzoeken.

Zie o.a.

http://eduspace.free.fr/bridging_europe/index.htm Deze website heeft ook een filmpje van de instorting.

Achtergrondinformatie voor de leerkracht:

Moderne bruggen zijn bestand tegen enig heen en weer zwaaien. Bij de Tacoma Narrow's Bridge stonden er na de bouw altijd veel mensen te kijken naar het zwaaien van deze brug bij een rustig windje. Maar in 1940 ging het mis omdat er bij wind van zo'n 60 km. per uur windhozen ontstonden door de vorm van het wegdek. Destijds werden bruggen nog niet getest in windtunnels. En uiteindelijk slingerde de brug zodanig dat deze instortte.

Tien jaar later werd de brug na uitgebreide testen herbouwd.

2. Laat de leerlingen een verhaal uitbeelden over het bouwen van een balkbrug met ondersteunende kabels. Het speelt zich af bij een brede, wild stromende rivier met hoge rotsige oevers. Laat de leerlingen tafels, stoelen en tapijt gebruiken als hulpmiddel. Het enige bouw materiaal is touw. Hoe kunnen ze een eenvoudige brug bouwen en wat zijn de te nemen stappen in het proces.

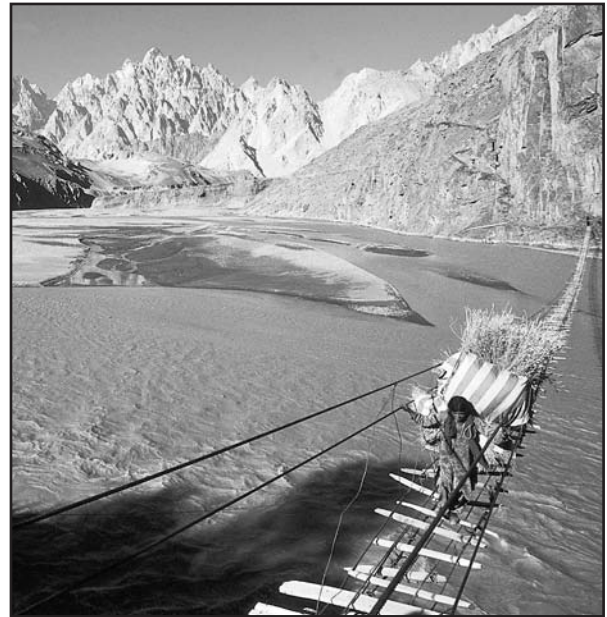
Een mogelijke oplossing kan zijn:

1. Zoek een goede plaats voor de brug, met bomen om de touwen aan vast te maken.
2. Maak meerdere touwen van lianen.





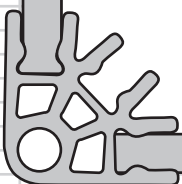
3. Knoop het ene eind aan een boom en schiet het andere eind aan een pijl uit een boog naar de overkant.
 4. Klim langs de oever naar beneden, zwem naar de overkant en maak het touw vast aan een boom.
 5. Ga hangend aan het touw terug en knoop meer touwen aan de brug vast.
 6. Knoop de touwen aan elkaar en knoop er hout tussen zodat je er gemakkelijk over kunt lopen. Maak ook houvast voor de armen.
3. Wijs de leerlingen er op dat, wat ze ook verzinnen, de stappen altijd in een bepaalde volgorde gedaan moeten worden.
 4. Laat ze onderzoeken hoe moderne bruggen gebouwd worden en van hun onderzoek verslag doen aan de klas. Hierbij moeten de volgende termen gebruikt worden: stroomlijn of windbestendigheid, torens of pijlers, steunkabels, hoofdkabels, voetpad, verankering.

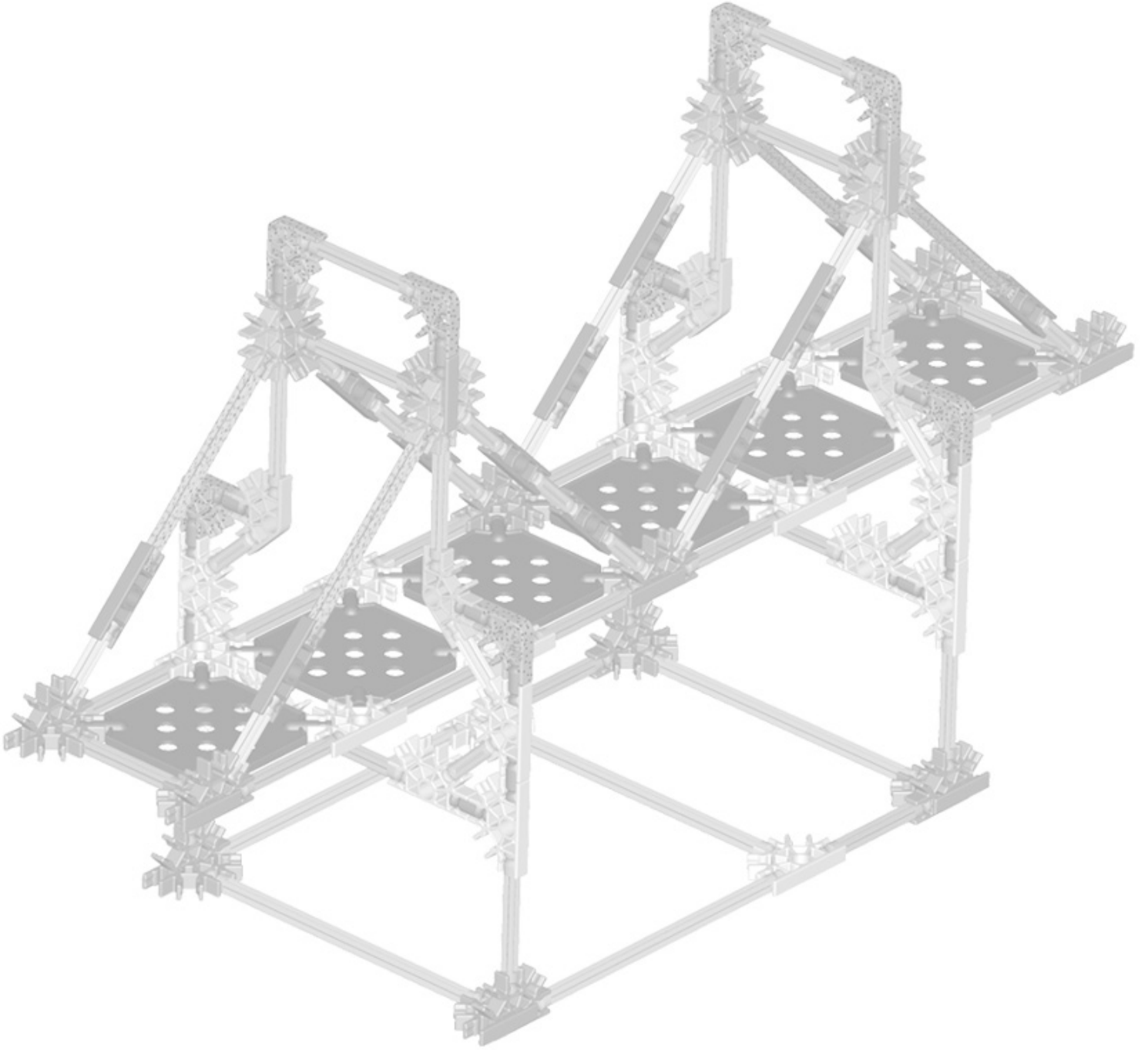


CHECKLIST WERKSCHRIFT

- ✓ Tekening van de brug met de benoemde belangrijkste onderdelen.
- ✓ Korte beschrijving van elk van de onderdelen.
- ✓ Het verschil tussen het K'NEX-model en een echte brug.
- ✓ Uitleg over het effect van de kabels op sterkte en stijfheid van de brug.
- ✓ Tekening van de werking van de krachten.
- ✓ Ingevuld werkblad 4.

NOOT: Bewaar, als het mogelijk is, een model van de brug zodat deze met de tuibrug van de volgende les vergeleken kan worden.







De Tui-brug:

Herkenning van de onderdelen van de tui-brug.



DOELSTELLINGEN

De leerlingen:

1. Bouwen en onderzoeken een model van een tui-brug.
2. Vergelijken en bestuderen de verschillen tussen een hangbrug en een tuibrug.
3. Gebruiken en begrijpen de bij tui-bridgen gebruikte vaktermen.

MATERIALEN

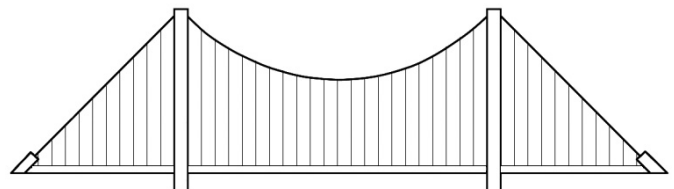
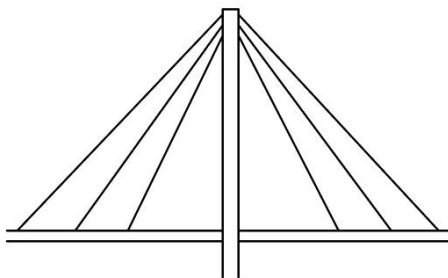
Elk groepje van 2-3 leerlingen heeft nodig:

- K'NEX set: bruggen
- scharen
- gewichtenset 10 -1000 gram o.i.d.
- touw of koord
- potlood en papier
- werkschriften

WERKWIJZE

Introductie

- Leg uit dat in deze les de tui-brug onderzocht wordt met behulp van een K'NEX-model. De leerlingen gaan ook informatie op internet zoeken.
- Maak een bordtekening van een tui-brug en een balk-brug met steunkabels / of kopieer de tekeningen op een werkblad en vraag de klas naar de verschillen in de brugtypen.
- Wat zijn de overeenkomsten en verschillen tussen de beide brugtypen?



Overeenkomst: het wegdek hangt aan kabels. De belasting wordt met torens/pijlers naar de fundering overgebracht.

Verschillen: Bij een balkbrug met steunkabels loopt er een kabel van toren naar toren en het wegdek hangt aan steunkabels die aan de hoofdkabel vast zitten. Tui-bridgen hebben meestal één toren. De kabels lopen rechtstreeks van de toren naar het wegdek. NOOT: sommige hele lange tui-bridgen hebben twee torens.

- ⊗ Leg de leerlingen uit dat er nog een verschil zit in de manier waarop ze gebouwd worden. Het wegdek van een balkbrug met steunkabels wordt pas gebouwd als de kabels er hangen. Bij een tui-brug, omdat daar ook een cantilever-element in zit, kan het wegdek vanuit de torens gebouwd worden. De kabels worden vastgemaakt zodra er weer een stuk af is.

Bouw Activiteit

- ⊗ Verdeel de klas in groepjes van 2-3 leerlingen en geef elke groep een set K'NEX Bruggen
- ⊗ Laat de leerlingen de tui-brug van pagina 14 uit het Instructieboekje bouwen.
- ⊗ **NOOT:** Er zijn twee paar handen nodig om het wegdek en de ondersteunende constructie vast te maken.
- ⊗ Laat de leerlingen hun bouwwerk een paar minuten onderzoeken.

Onderzoek Activiteit: Wat zijn de kenmerken van een tui-brug en wat zijn de overeenkomsten met andere bruggen?

Stappen

- Laat de klas foto's van echte tui-bruggen zien. De leerlingen moeten ook de tui-brug van pagina 14 uit het Instructieboekje bekijken. Vraag de leerlingen naar verschillen tussen de echte bruggen en hun model. Wijs de leerlingen erop dat ze deze moeten onthouden bij het onderzoek van hun model.

De antwoorden kunnen zijn: Hun model heeft één toren. Er zijn geen ondersteunende pijlers in de brugdelen naar de oevers. Echte bruggen hebben veel meer kabels.
- Vertel de klas dat de tui-brug een relatief nieuw ontwerp is – de eerste brug van dit type werd gebouwd in 1950. Het verenigt elementen van twee bruggen die al eerder bestudeerd zijn.
 - Vraag ze naar de naam van het brugtype waar deze brug op lijkt.

De balkbrug met steunkabels/hangbrug.
 - Vraag ook naar een ander brugtype waarop dit ontwerp is gebaseerd.

Wijs ze op de toren in het in balans zijn van de uitstekende brugdelen. Dit komt van de cantilever brug.
- Vraag de leerlingen wat er gebeurt als ze een gewicht op aan eind plaatsen of er op duwen.

Het K'NEX-model lijkt op een grote wip – het scharnierpunt zit in het midden. Als er een last aan het eind geplaatst wordt gaat het andere eind omhoog. Bij een echte brug zitten er ondersteunende pijlers. Kijk maar naar de foto's.
 - Doe hetzelfde in het midden.
 - Is dit een stabiele constructie?





4. (a) Waar zitten de kabels aan vast?

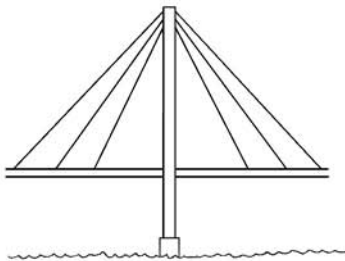
Aan de toren en wegdek.

- (b) Wat is het verschil met de balkbrug met steunkabels/hangbrug?

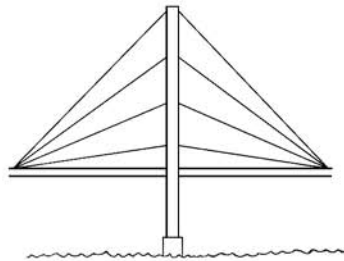
De kabels van de balkbrug met steunkabels moeten in de oever verankerd worden. Bij de tui-brug is dat niet nodig.

5. Onderzoek de vorm van de kabels in je model en bij de foto's van de echte bruggen. Welke vormen herken je hierin? Wat weet je van deze vormen?

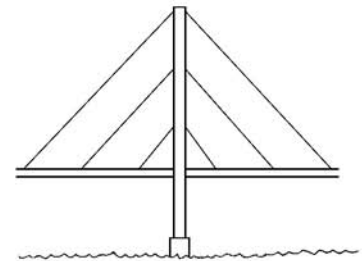
De leerlingen moet zien dat deze driehoekige vormen hebben, en zich herinneren dat dit een sterke vorm van constructie is. Dit biedt aanknopingspunten voor een klassengesprek over andere vormen. Neem de tekeningen hieronder over op het bord.



straalsgewijs



stervormig



harpvorm

(Mogelijk verder onderzoek bij de stappen van pag.15, afhankelijk van het niveau van de leerlingen)

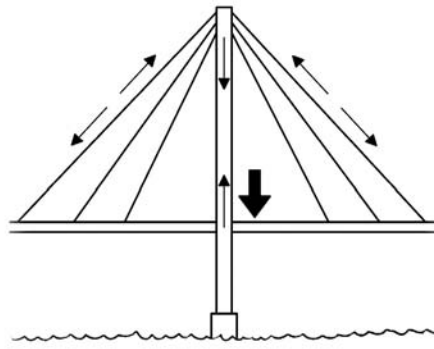
6. Laat om de werking van de krachten van de kabels te demonstreren, deze aan één kant verwijderen en een klein gewicht aan beide einden plaatsen.
7. (a) Bespreek met de leerlingen dat zowel bij de tui-brug als de balkbrug met steunkabels de constructie grotendeels gebaseerd is op het gebruik van kabels. Laat ze de duw- en trekspanning bij hun brugmodel aanwijzen.
- (b) Wat merken ze op bij de vorm van het wegdek?

Het eind zonder kabels zal instorten.

Ze moeten zien dat de toren en het wegdek blootstaan aan duwspanning als er levende last over de brug gaat en er trekspanning optreedt bij de tui-kabels. De spanning in de kabels is even sterk als het gewicht van het wegdek. De torens dragen het hele gewicht van de brug en er treedt duwspanning op.

Het wegdek is licht gebogen. Dit helpt om de spanning aan de onderkant van het wegdek op te vangen.

Krachten die optreden bij een tui-brug.



8. Refereer aan eerder onderzoek naar de sterkte en stabiliteit van brugconstructies en bespreek de mogelijke problemen die ontwerpers hebben moeten overwinnen bij de bouw van tui-bridgen. Wat zou er bijvoorbeeld gebeuren als het wegdek verlengd werd?

De constructie zou instabiel worden of instorten als de krachten niet in evenwicht waren.

Het Idee Uitbreiden.

- Laat de leerlingen met behulp van tekeningen en tekst de overeenkomsten en verschillen tussen de tui-brug en de balkbrug met steunkabels duidelijk maken.
- Bespreek nogmaals de kenmerkende eigenschappen van de hangbrug, eventueel met behulp van pagina 15 van het Instructieboekje aan de hand van de volgende vragen:

- Van welke twee soorten bruggen zijn tui-bridgen een combinatie?

Een combinatie van een cantilever met een brugdeel in balans en een hangbrug.

- Waar wordt dit type bruggen meestal gebruikt?

Doorgaans voor middellange overspanningen. Hoewel er tegenwoordig steeds meer bruggen achter elkaar gebouwd worden.

- Laat de leerlingen hun observaties van het brugmodel in hun werkschrift noteren. Daarbij maken ze gebruik van gelabelde tekeningen en de juiste vaktermen. De werkschriften moeten antwoorden bevatten van de volgende vragen:

- Wat is de functie van de toren(s)?

Zowel torens als kabels dragen de last van het wegdek en levende last.

- Wat is de functie van de tui-kabels?

(zonodig met gebruik van de stappen 6-8)

- Welke delen van de brug zijn onderhevig aan (i) duwspanning (ii) trekspanning?

*i. Toren en de bovenkant van het wegdek
ii. Kabels*

- Hoe is het wegdek sterk en stijf gemaakt.

Door het trekken van de tui-kabels wordt het licht gebogen. In en aan het wegdek zitten ook raamwerken voor sterkte en stijfheid.





Het Idee Uitbreiden

1. Laat de leerlingen de tui-brug met dubbele toren van pagina 15 van het Instructieboekje bouwen. Daarna moeten ze een vrij recent gebouwd exemplaar van een echte brug onderzoeken en een verslag maken en een antwoord op de vraag waarom de brug daar gebouwd is. Zouden de leerlingen hier zelf een hangbrug gebouwd hebben of gekozen voor een andere vorm? Laat de antwoorden toelichten.

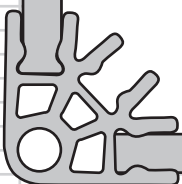
(Bijvoorbeeld Sunshine Skyway Bridge, Tampa, Florida of de tweede Severn Crossing Bridge, Engeland. Brug over de Sont tussen Denemarken en Zweden)

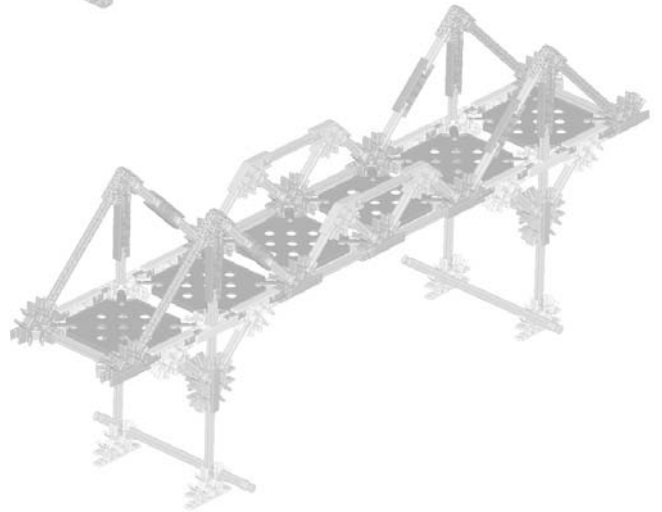
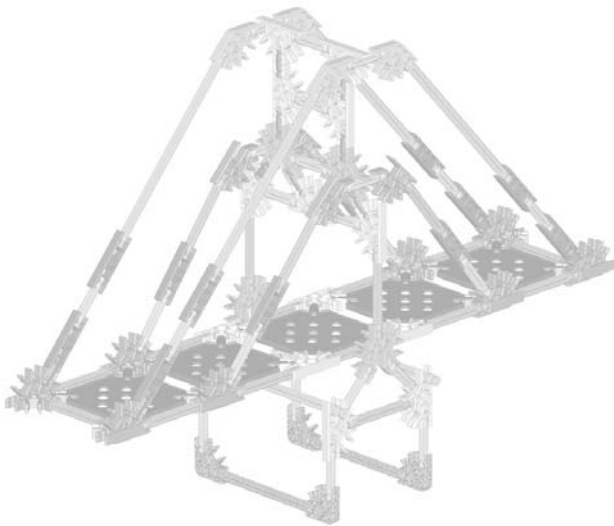
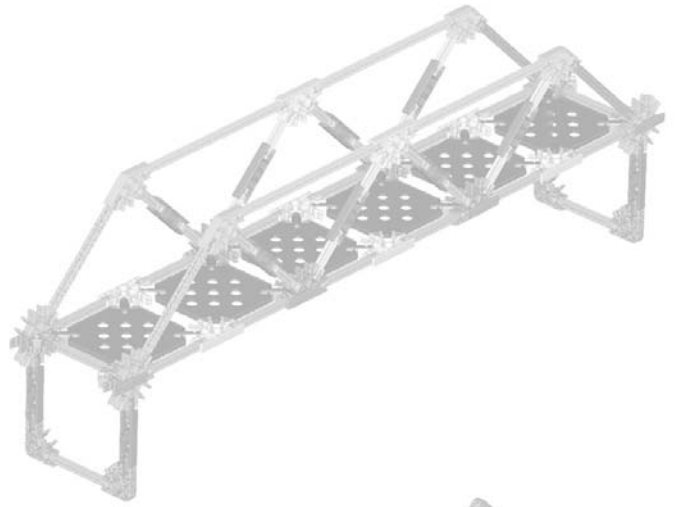
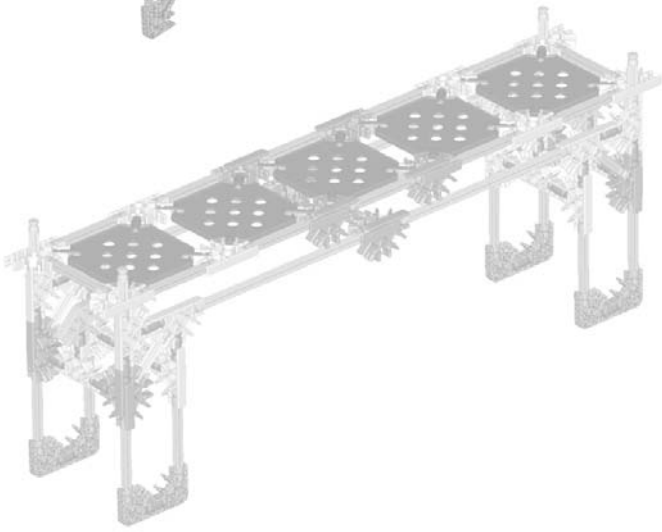
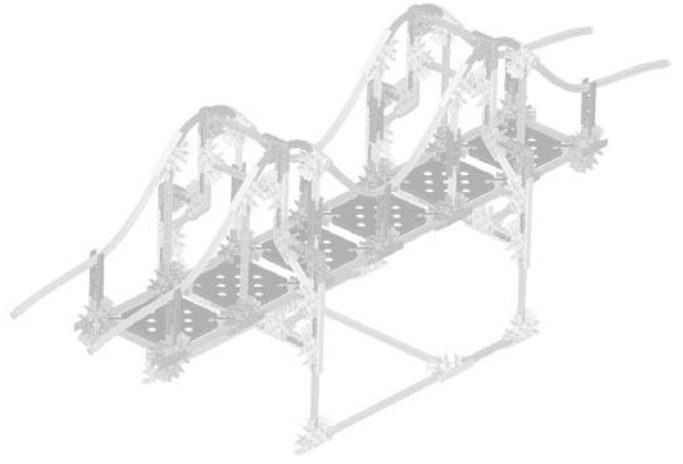
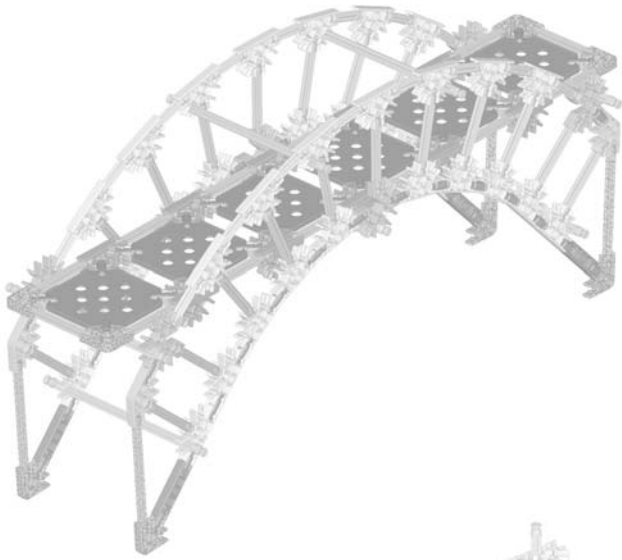
2. Onderzoek hoe de kabels bij een tui-brug gespannen zijn. Vergelijk de effecten waarmee rekening gehouden moet worden bij de bouw van een hangbrug en die van een typische tui-brug.

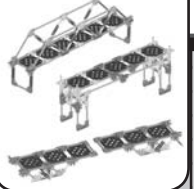
CHECKLIST WERKSCHRIFT:

- ✓ Overeenkomsten en verschillen tussen een balkbrug met steunkabels en een tui-brug.
- ✓ Karakteristieke kenmerken van een tui-brug.
- ✓ Functie van de onderdelen van de tui-brug.

AANTEKENINGEN:







Een Brug Ontwerpen:

Tijd en kosten factoren.



DOELSTELLINGEN

De Leerlingen:

1. De leerlingen ontwerpen en bouwen een brug om een serie criteria te ontwikkelen.
2. Berekenen de kostprijs van de materialen.
3. Concurreren met andere teams om de goedkoopste brug te maken binnen de afgesproken termijn.

MATERIALEN

Elk groepje van 4-6 leerlingen heeft nodig:

- | | |
|-----------------------------|-----------------|
| - 1 of 2 sets K'NEX Bruggen | - paperclips |
| - touw | - pijpenragers |
| - A4 papier | - rietjes |
| - potloden | - scharen |
| - plakband | - werkschriften |

WERKWIJZE

Introductie

- Nu de leerlingen hun onderzoek en studie van bruggen hebben afgerond zou het duidelijk moeten zijn dat ontwerpers niet alleen de plaats en het type brug moeten uitzoeken, maar de kosten en termijn zijn minstens zo belangrijk. Hoewel ze vanwege veiligheidsredenen niet kunnen bezuinigen op materiaalkosten moeten ze wel binnen hun begroting blijven. Ze moeten ook in gedachten houden dat niet altijd alle materialen voor de bouw verkrijgbaar zijn en dit heeft ook invloed op ontwerp en bouw. Het bouwen binnen de gestelde termijn is ook belangrijk – het niet halen van een deadline betekent hogere kosten en langere overlast voor het verkeer.
- Leg de leerlingen uit dat ze met 4-6 leerlingen een bouwmaatschappij vormen die een brug gaat ontwerpen waar specifieke vormen van transport gebruik van gaan maken. Elk team moet ook een naam verzinnen voor de bouwmaatschappij.

De ontwerp taak

- De opdracht is het maken van een brug die een kloof van 40 cm. kan overbruggen en in het midden 50 gram kan dragen. Ook moet de brug een wegdek hebben waar voertuigen gebruik van kunnen maken.

Spelregels

- De activiteit wordt in competitieverband uitgevoerd. De te gebruiken materialen zijn: A4-papier, paperclips, plakband of tape, pijpenragers, rietjes en touw. De bouwmaatschappij beslist zelf welke materialen ze willen gebruiken bij hun ontwerp.
- Het is niet toegestaan K'NEX-onderdelen te gebruiken in de brug, maar mogen deze wel gebruiken bij het uittesten van hun ideeën.
- De bouwmaatschappij krijgt 45 minuten ontwerptijd, waarin ze de benodigde materialen moeten uitkiezen. De beschikbare tijd voor de bouw van de brug is 45 minuten.

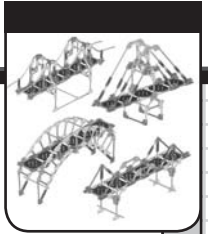
- De materialen zijn tegen de volgende prijzen verkrijgbaar bij materialen groothandel “Leerkracht”
- | | |
|---------------|--------------------|
| A4 papier | 5 euro per vel |
| Plakband/tape | 1 euro per 10 cm. |
| Paperclips | 0,50 euro per stuk |
| Rietjes | 1 euro per stuk |
| Pijpenragers | 2 euro per stuk |
| Touw | 1 euro per 10 cm. |
- De beste planners hebben aan het eind geen materiaal over. Overgebleven materialen kunnen geretourneerd worden naar de “Leerkracht”-winkel tegen de helft van de aankoopprijs. Materialen die aangeschaft moeten worden na de eerste bestelling kosten dan dubbel zo veel.
- De bouwmaatschappijen zorgen ook voor een naam van hun brug.

De Winnaar

- De winnaar is de bouwmaatschappij die de goedkoopste brug bouwt binnen de termijn en voldoet aan de belastingstest met 50 gram.

Ontwerp en Bouw Activiteit

- Wijs de leerlingen erop dat planning en testen de sleutel zijn tot een succesvolle deelname aan de brug competitie. Stimuleer de leerlingen materialen te gebruiken die niet bij de “Leerkracht”-winkel in het assortiment zitten.
- Laat de bouwmaatschappijen aantekeningen maken van al hun ideeën en besluitvorming. Ze moeten ook aantekeningen maken van hun argumentatie.
- Stimuleer de werknemers van de bouwmaatschappij om gezamenlijke beslissingen te nemen en elkaar te helpen als ze de deadline naderen. Vertel ze ook dat u let op teamwork, waarbij iedereen de kans moet hebben aan het constructieproces bij te dragen. Er moet voor iedereen in het team een rol zijn weggelegd.
- Herinner de bouwmaatschappijen eraan om hun werkschriften als logboek te gebruiken om de kosten in de hand te houden. Een overzichtelijke manier om overzicht te houden is het maken van tabellen met de kosten per stuk voor elke materiaalsoort, het aantal gebruikte onderdelen en de totale kosten van de brug. De opgevoerde bedragen moeten nauwkeurig gecontroleerd worden.
- Bij de evaluatie van het ontwerp moeten de volgende vragen beantwoord worden:
 - Hoe maken we de brug stabiel?
 - Hoe maken we de brug sterker?
 - Wat zijn de zwakke plekken in het ontwerp?
 - Hoe kunnen we die verbeteren?
- Laat elk bouwbedrijf haar brug nogmaals testen om er zeker van te zijn dat er een gewicht van 50 gram gebruikt is.
- Controleer kosten en tijd van elke groep en beloon de groep die het beste volaan heeft aan de voorwaarden van kosten, tijd, sterkte van de brug en samenwerking met een bouwcontract. (Maak eventueel een officieel uitzienend document)



Het Idee Toepassen

- ⊙ Om de competitie compleet te maken vraagt u de leerlingen om:
 - ⊙ De problemen en oplossingen die ze tegenkwamen te bespreken met elkaar.
 - ⊙ Te beschrijven hoe ze hun ontwerp verbeterd hadden – wat waren de zwakke punten en hoe werden deze verbeterd?
 - ⊙ Uitleggen hoe ze hun brug kunnen versterken en tegelijkertijd minder materiaal gebruiken.

AANTEKENINGEN:

