



# STRUCTURAL ENGINEERING

## BRIDGES & SKYSCRAPERS

**EXPERIMENTS**



# 7410

323 PCS

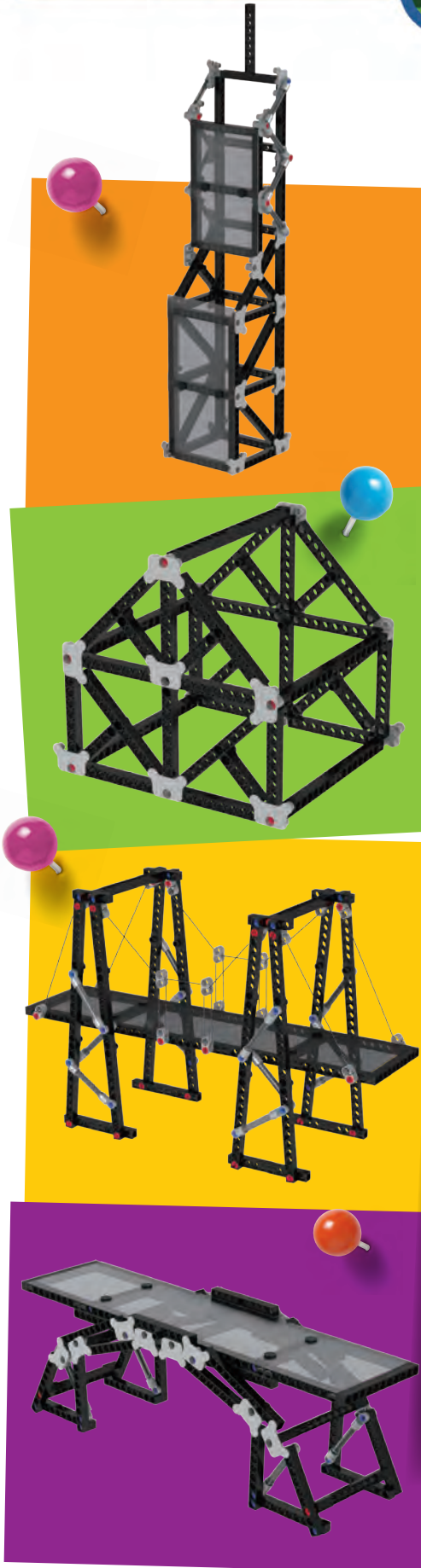
8+

**EXAMINE STRUCTURAL ELEMENTS AND  
FORCES ACTING ON THEM**



**25** **MODELS  
TO BUILD**

## > > Inhoudsopgave



Inhoudsopgave.....	1
Bouwtips .....	2
Onderdelen lijst.....	3
<b>Wat zijn bouwtechnieken .....</b>	<b>4</b>
Vierkant en verstevigd vierkant.....	5
<b>Vectoren, Krachten en Krachtmomenten.....</b>	<b>6</b>
Driehoek en een eenvoudige vakwerkligger.....	8
Huisgeraamte .....	9
Modern huis .....	10
Balkbrug .....	14
Verstevigde balkbrug .....	15
Vakwerkbrug.....	16
<b>Last .....</b>	<b>18</b>
Compressie kubus .....	19
Verstevigde kubus en tetraëder .....	20
<b>Bouwelementen: Zoulen, Balken en Platen.....</b>	<b>21</b>
Wolkenkrabber versie 1.....	22
Wolkenkrabber versie 2 .....	24
Zuivere boogbrug .....	26
Boogbrug met trekband .....	29
Tensegrity .....	31
<b>Bouwelementen: Kettinglijnen, Kabels, Bogen en Schalen..</b>	<b>32</b>
Elektriciteitsmast .....	33
Hangbrug .....	37
Tuikabelbrug .....	41
<b>Soorten bruggen .....</b>	<b>44</b>
<b>Wolkenkrabber ontwerp .....</b>	<b>45</b>
<b>Belangrijke informatie.....</b>	<b>In de achterkaft</b>

### TIP!

Bovenaan elke modelbouw pagina vind je een balk:

»» Deze geeft aan hoe moeilijk het model te bouwen is:



Gemakkelijk



Gemiddeld

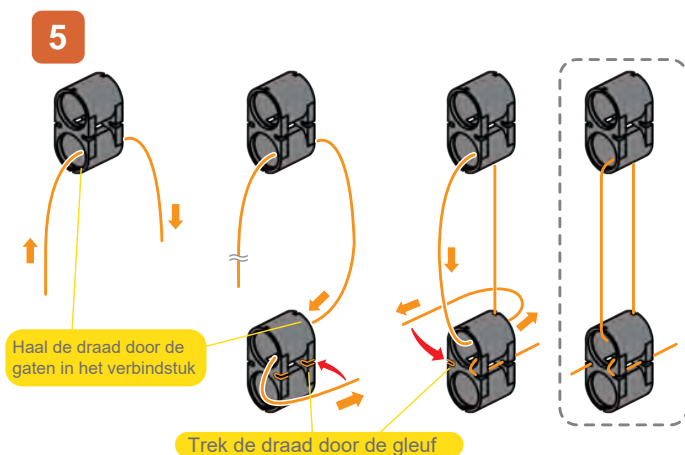
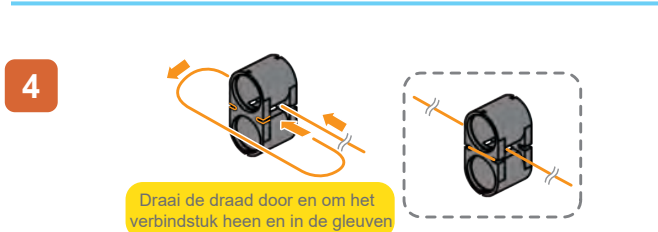
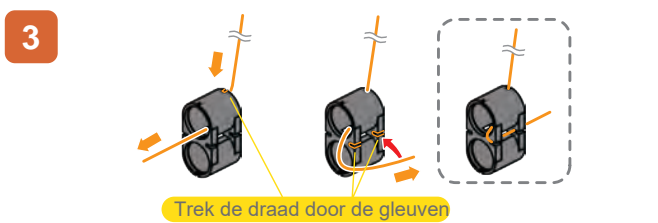
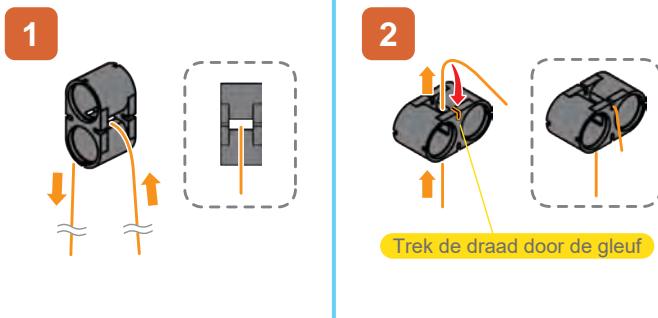


Moeilijk

## >> Bouwtips

### Draad verbindstuk

Sommige modellen in deze set maken gebruik van draad verbindstukken om draden aan andere onderdelen vast te maken. Deze diagrammen laten vijf verschillende manieren zien om het draad door de verbindstukken te halen.



### Pin en koppelstuk

Bekijk de onderdelen zorgvuldig. De rode lange pin, blauwe korte pin en het koppelstuk lijken in eerste instantie erg op elkaar. Wanneer je een model bouwt is het belangrijk dat je de juiste gebruikt. De blauwe pin is korter dan de rode pinnen. Het koppelstuk maakt het mogelijk om andere onderdelen te laten draaien.



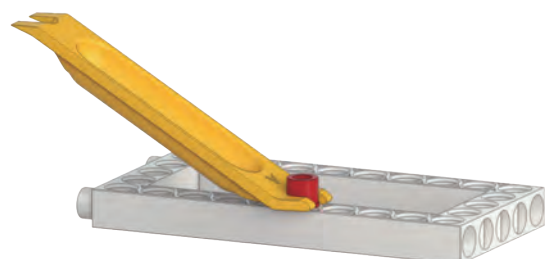
### Assen

Het bouwsysteem bevat assen met verschillende lengtes. In deze set worden de assen gebruikt als stangen. Assen kunnen worden verbonden met andere assen door middel van het as verbindstuk. Wanneer je een model bouwt is het belangrijk dat je de juiste assen gebruikt en dat het verbindstuk juist is geplaatst.

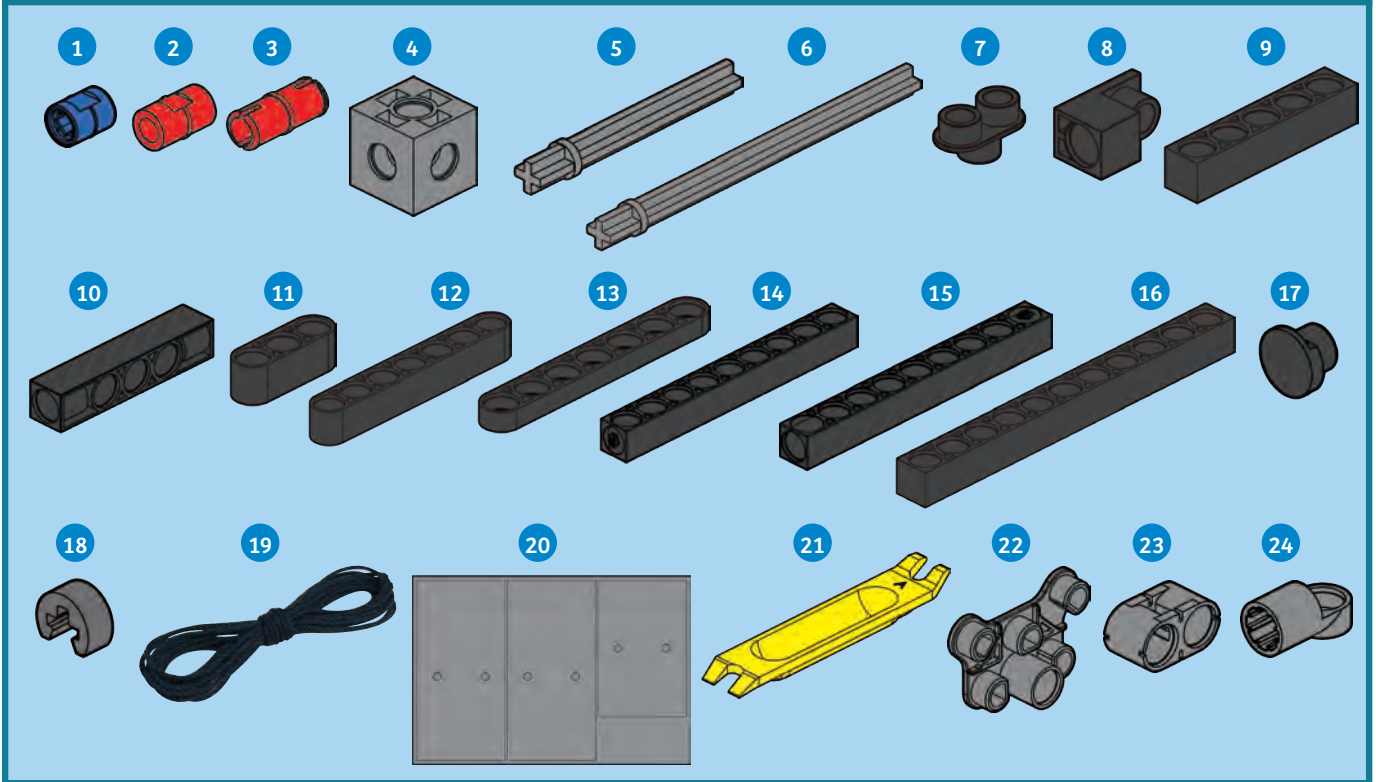


### Pin/as verwijderaar

Als je het model weer uit elkaar haalt, heb je de pin/as verwijderaar nodig. Gebruik het smalle uiteinde om pinnen te verwijderen. Het brede uiteinde kan gebruikt worden om onderdelen los te wrikken.



## Onderdelen overzicht:



## Onderdelenlijst:

✓	Nr.	Omschrijving	Aantal	Artikelnr.
<input type="checkbox"/>	1	Pin klein	40	7344-W10-C2B
<input type="checkbox"/>	2	Pin	20	7061-W10-C1R
<input type="checkbox"/>	3	Koppelstuk	32	1156-W10-A1R
<input type="checkbox"/>	4	Kubus 6 gaten	8	880-W10-N1S1
<input type="checkbox"/>	5	As 60mm	12	7413-W10-M1S
<input type="checkbox"/>	6	As 100mm	4	7413-W10-L2S
<input type="checkbox"/>	7	Verbinding 1-2	16	7061-W10-G1D
<input type="checkbox"/>	8	Omvormer 90 graden rechts	14	7061-W10-J2D
<input type="checkbox"/>	9	Staaft 5 gaten	12	7413-W10-K2D
<input type="checkbox"/>	10	Staaft 3-2 gaten	10	7413-W10-K3D
<input type="checkbox"/>	11	Ronde staaft 3 gaten	2	7404-W10-C1D
<input type="checkbox"/>	12	Ronde staaft 7 gaten	2	7404-W10-C2D
<input type="checkbox"/>	13	Platte ronde staaft 7 gaten	2	7404-W10-C3D
<input type="checkbox"/>	14	Staaft 9 gaten	24	7407-W10-C1D
<input type="checkbox"/>	15	Staaft 9 gaten voorkant dicht	13	7407-W10-C2D
<input type="checkbox"/>	16	Staaft 11 gaten	11	7413-W10-P1D
<input type="checkbox"/>	17	Kleine knop	8	7061-W10-W1D
<input type="checkbox"/>	18	Tandwielklem	9	3620-W10-A1D
<input type="checkbox"/>	19	Draad 400cm	2	R39#7410
<input type="checkbox"/>	20	Voorgesneden plastic vel	1	K41#7410
<input type="checkbox"/>	21	Pin/as verwijderaar	1	7061-W10-B1Y
<input type="checkbox"/>	22	6 gaten verbindstuk	24	7410-W10-A1S
<input type="checkbox"/>	23	Draad verbindstuk	24	7410-W10-B1S
<input type="checkbox"/>	24	As stang verbindstuk	32	7410-W10-C1S

Om dit model te bouwen heb je ook nodig:  
schaar, liniaal of meetlint

### Knip de draad in de juiste lengte

Je moet de twee 400 cm zwarte draden in de volgende lengtes knippen. De specifieke lengte die nodig is voor het bouwen van een model wordt aangegeven bij de bouwvoorbeelden.

20 cm x 4

24 cm x 4

38 cm x 8



# Wat zijn bouwtechnieken?

Bouwtechnici passen natuurwetten en empirische kennis toe om complexe constructiesystemen te bouwen. Empirische kennis is simpelweg de informatie die je leert wanneer je naar resultaten van experimenten kijkt om voorvallen te observeren. Technici bouwen complexe structuren door middel van het combineren van eenvoudige onderdelen, ook wel bouwelementen genoemd. Deze elementen hebben goed beschreven fysieke eigenschappen, zodat ingenieurs kunnen voorspellen hoe ze samen kunnen werken in het eindproduct. Met deze set leer je over sommige bouwelementen en gebruik je ze om constructies te bouwen.



Als mensen denken aan bouwtechnieken, dan denken ze vaak aan het ontwerp van gebouwen, torens, dammen en bruggen. Maar deze ingenieurs zijn ook betrokken bij het ontwerpen van satellieten, vliegtuigen, schepen en medische voorwerpen zoals stents. Dezelfde natuurwetten zijn van toepassing bij het ontwerp van alle vormen en maten.



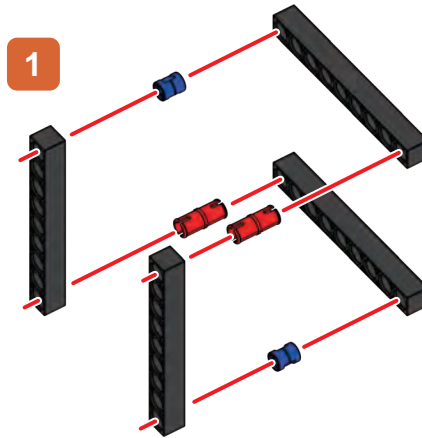
## Wat is een ontwerp?

Ingenieurs gebruiken vaak het woord "ontwerp" om te omschrijven wat ze doen. Een ontwerp is een volgorde van stappen die genomen worden om een functionerend product of proces. Deze ontwerpstappen zijn iteratief, dat wil zeggen dat de stappen meerdere keren worden herhaald zodat het elke keer verbeterd kan worden, totdat de optimale uitkomst is behaald.



## Vierkant

Om te beginnen bouwen we wat eenvoudige modellen en doen we experimenten om te laten zien hoe het verbinden van bouwelementen op verschillende manieren de kracht en stabiliteit van de constructie beïnvloedt.



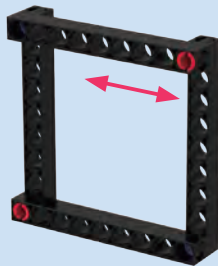
Klaar!

### EXPERIMENT 1

#### Stabiliteit van een vorm

##### Zo doe je het

Houd een hoek van het model in je hand en probeer de vorm aan te passen door de tegenovergestelde hoek te bewegen. Vervormt het model?

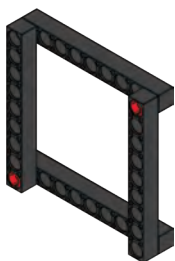


#### Wat gebeurt er?

Wanneer je op een hoek van een vierkant duwt, oefen je **kracht** uit, of **last**, op de constructie. Het doel van een ingenieur is om stabiliteit te verkrijgen in een constructie onder verschillende lasten. Alle constructies vervormen een beetje als er lasten worden uitgeoefend. Bij een **stabiele** constructie zijn de **vervormingen** maar klein en krachten in de constructie zelf zorgen ervoor dat het weer in de originele vorm terug gaat als de lasten zijn verwijderd.

Bij een **onstabiele** constructie is de vervorming groot en wordt groter naarmate de lasten toenemen. Een onstabiele constructie heeft niet de interne krachten die nodig zijn om de constructie in de originele vorm te behouden. Is het vierkant stabiel of onstabiel?

## Verstevigd vierkant

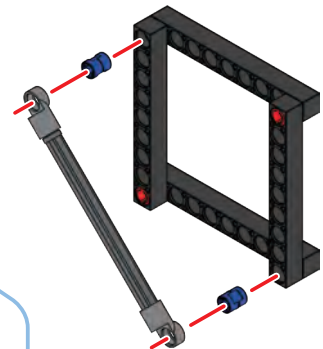


1 Start met het model van experiment 1



2

3

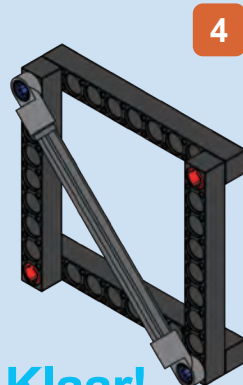


### EXPERIMENT 2

#### Verstevigd vierkant

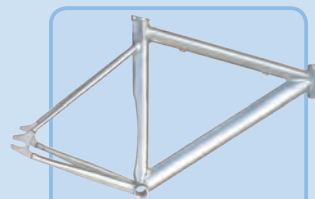
##### Zo doe je het

Herhaal experiment 1 met het verstevigde vierkant. Hoe reageert dit vierkant op de last die je uitoefent?



Klaar!

4



Het frame van een fiets gebruikt een soortgelijke vorm!

#### Wat gebeurt er?

Je hebt het vierkant stabiel gemaakt door de stang toe te voegen bij twee hoekpunten. Als je op de hoek duwt voel je het model een klein beetje bewegen. Als je stopt met duwen keert het model terug in de originele vorm.

Bestudeer dit

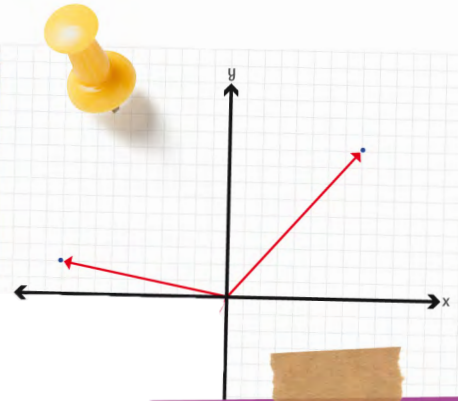


# Vectoren, Krachten en Krachtmomenten.

Om te begrijpen wat een constructie stabiel maakt, moet je het begrip vectoren, krachten en krachtmomenten kennen.

## Vectoren

Een hoeveelheid die alleen een eenheid van grootte omschrijft, wordt een **scalair** genoemd. Bijvoorbeeld als je wilt omschrijven hoeveel een object weegt, gebruik je de eenheid kilogram (kg). In de natuurkunde wordt een ander handig concept gebruikt, de **vector**. Een vector is een hoeveelheid die de **grootte** en **richting** aangeeft van de kracht. Twee belangrijke voorbeelden van vectoren zijn **snelheid** en **acceleratie**. Snelheid beschrijft hoe snel een object beweegt en in welke richting. Als je op je fiets rijdt en vijf kilometer per uur gaat in noordelijke richting, is dat je snelheid. Acceleratie is een maatstaf van hoe de snelheid van een object verandert. Een object, zoals een auto, accelereert wanneer het optrekt, afremt, of van richting verandert.



Vectoren worden weergegeven met pijlen. De punt van de pijl geeft de richting aan van de vector en de lengte van de lijn geeft de grootte van de kracht aan. Hoe langer een vector hoe groter de kracht.

Een belangrijk onderdeel van bouwtechnieken is het rekenen hoe krachten en krachtmomenten de constructie beïnvloeden. Een fout in de berekening kan als gevolg hebben dat de constructie niet werkt of neervalt.

## Krachten

Een kracht is een interactie tussen voorwerpen. Er zijn drie natuurwetten die omschrijven hoe krachten zich gedragen, genaamd de **Wetten van Newton**.



### De eerste wet van Newton....

...Geeft aan dat een voorwerp in een staat van rust is of met een constante snelheid beweegt, tenzij er een resulterende kracht wordt uitgeoefend. Dit wordt de traagheidswet genoemd en is versimpeld naar: "Een voorwerp in beweging blijft in beweging en een voorwerp in staat van rust blijft in staat van rust."

Bestuur dit 

$$F = ma$$



Meer **kracht**... Meer **acceleratie**



(Voor dezelfde **massa**)

## De tweede wet van Newton...

...geeft aan dat de som van de krachten op een object gelijk is aan de massa ( $m$ ) maal de acceleratie ( $a$ ) van het object, dus

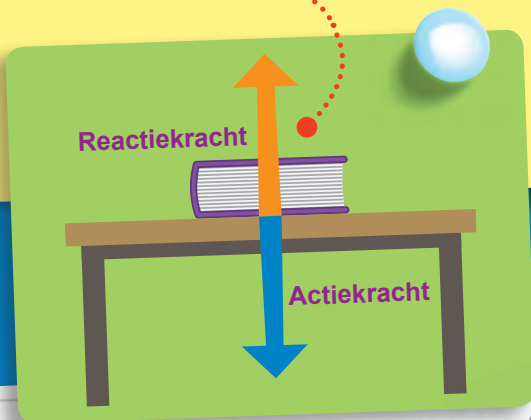
$$F = m \times a$$

De acceleratie en kracht zijn vectoren, dus beide kunnen veranderen als de grootte of de richting verandert.



## De derde wet van Newton...

...geeft aan dat wanneer een kracht wordt uitgeoefend op een object, het object een kracht uitoefent van dezelfde grootte maar in tegenovergestelde richting. Bij bouwtechnieken worden deze krachten **reactiekrachten** genoemd. Deze vinden vaak plaats bij verbindingen of ondersteuning.



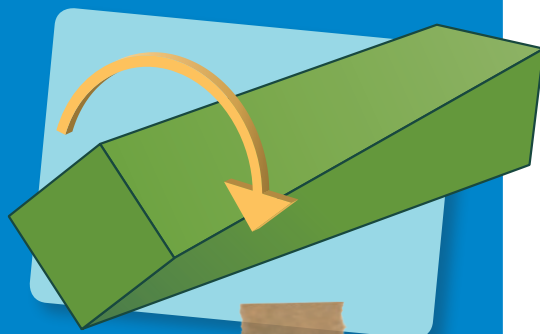
Bijvoorbeeld alle objecten hebben een gewicht, omdat de zwaartekracht wordt uitgeoefend op een object. Als een boek op een tafel ligt, genereert het boek een kracht die op de tafel wordt gedrukt door het gewicht van het boek. De tafel duwt met een tegenovergestelde gelijke kracht op het boek. Als er geen reactiekracht zou zijn, zou het boek door de tafel heen vallen!

## Krachtmoment

Een kracht kan een object laten bewegen. Dit hangt af van waar de kracht op het object wordt uitgeoefend. De kracht kan het object ook laten roteren. Als je op het uiteinde van een moersleutel duwt, zorgt de kracht ervoor dat **de bout** gaat draaien. Het krachtmoment is een maatstaf die weergeeft wat de kracht is die een voorwerp laat draaien, rond een specifiek referentiepunt. Een **krachtmoment** wordt berekend door de kracht te vermenigvuldigen met de afstand tussen het punt waar de kracht wordt uitgeoefend en het referentiepunt:

$$M = F \times d$$

Je kan het krachtmoment vergroten door de kracht of de afstand tussen de kracht en rotatiepunt te vergroten.



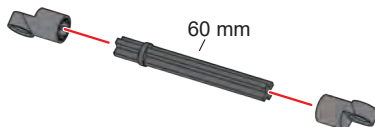
*Een krachtmoment is ook een vector, maar wordt weergegeven met een gebogen pijl. De richting van de pijl (met de klok mee of tegen de klok in) geeft de richting van het krachtmoment aan en de lengte geeft de grootte van de kracht weer.*



## Driehoek



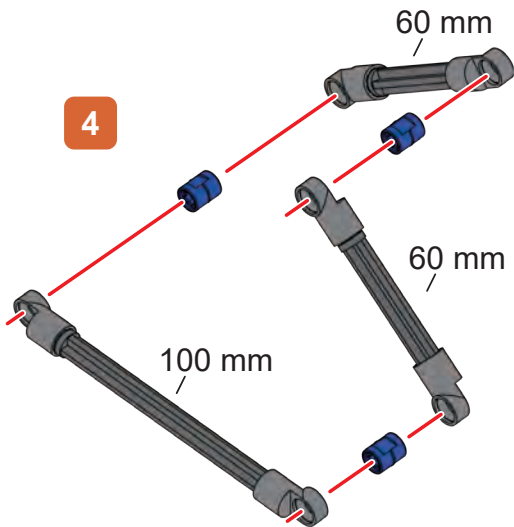
1



2



3



4

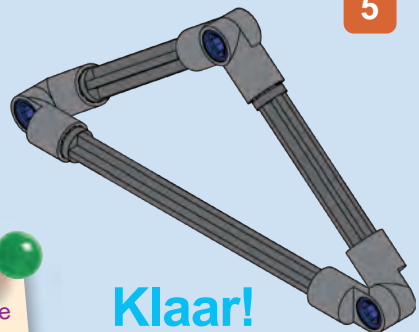
## EXPERIMENT 3

### Minimum aan materialen

#### Zo doe je het

Herhaal experiment 1 met de driehoek. Hoe doet de driehoek het in vergelijking met het vierkant en het verstevigde vierkant.

De driehoek is de meest eenvoudige geometrische vorm die stabiel is.

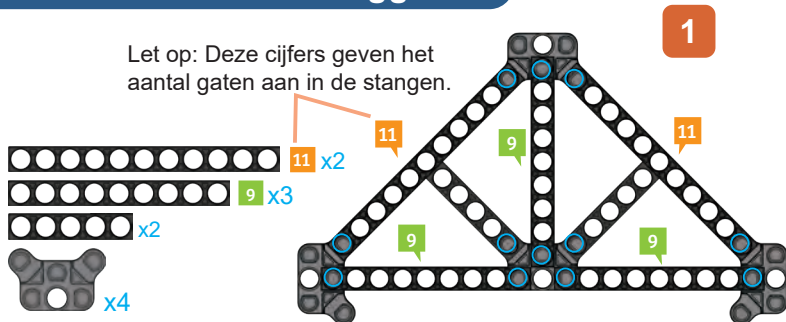


5

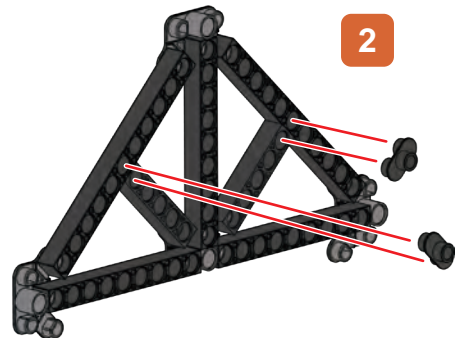
Klaar!

## Eenvoudige vakwerkligger

Let op: Deze cijfers geven het aantal gaten aan in de stangen.



1



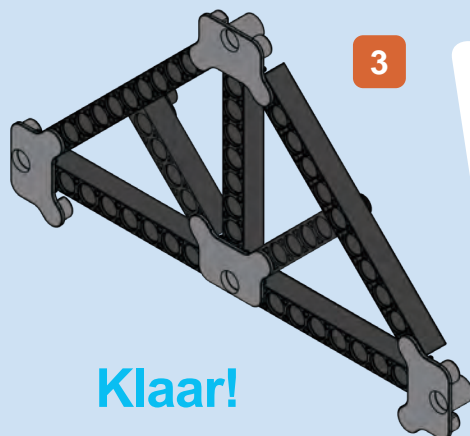
2

## EXPERIMENT 4

### Eenvoudige vakwerkligger

#### Zo doe je het

Trek en duw aan de hoeken van de constructie. Kijk hoe het reageert op deze krachten. Vergelijk het met de voorgaande experimenten.



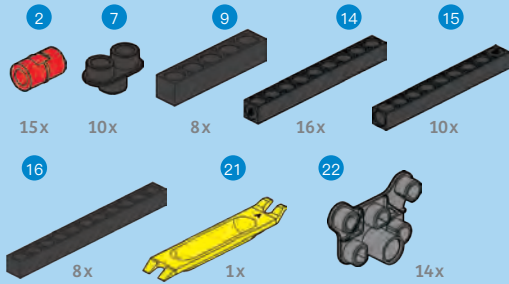
3

Klaar!

### Wat gebeurt er?

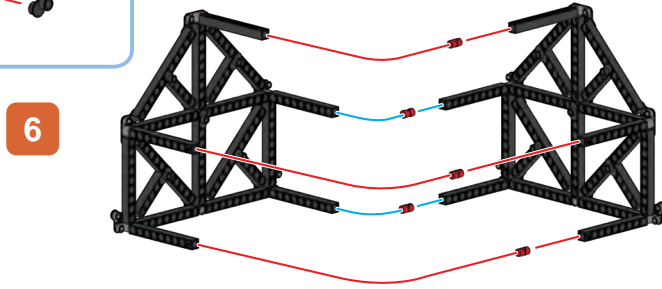
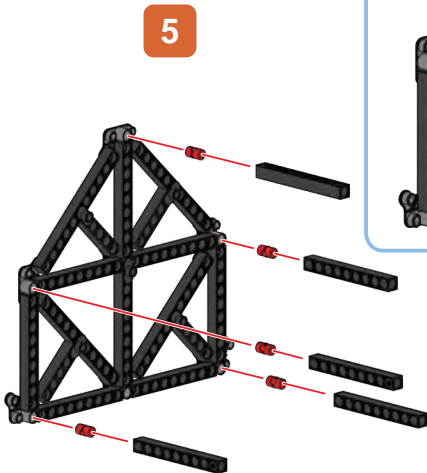
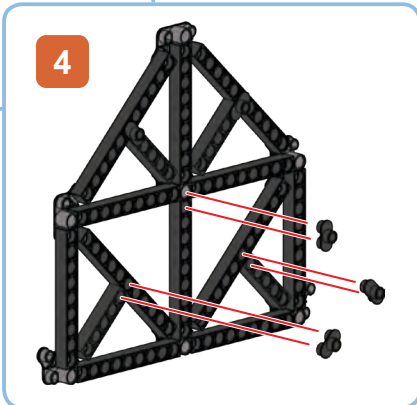
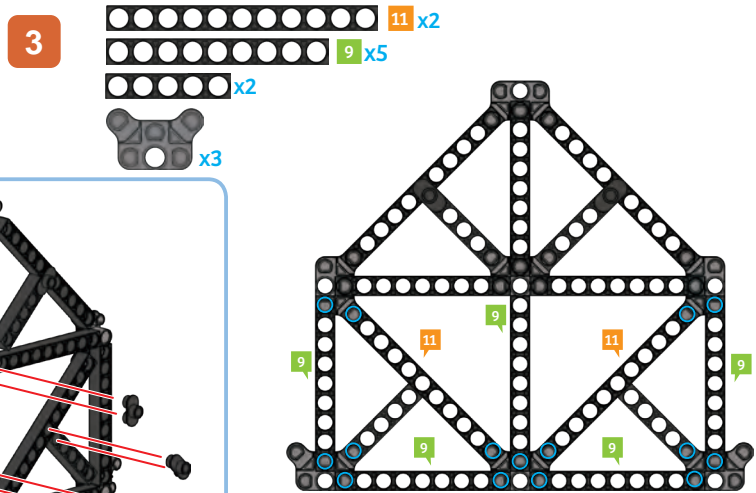
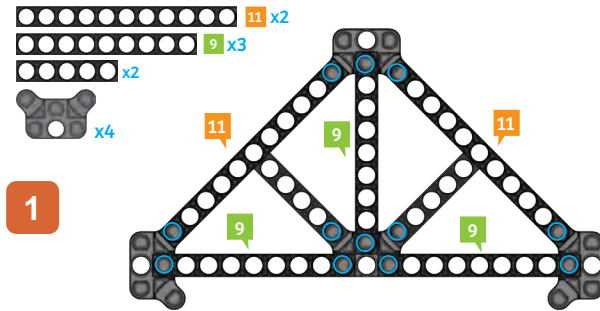
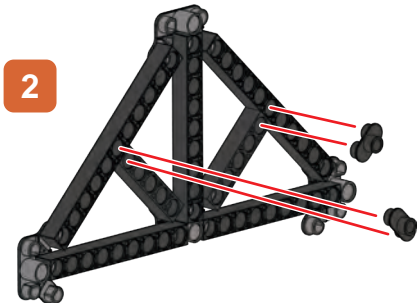
Ingenieurs verbinden vaak eenvoudige constructies om een meer complexe constructie te bouwen. In dit voorbeeld worden vier driehoeken gecombineerd om een **vakwerkligger** te bouwen. Deze gebruikt een relatief kleine hoeveelheid materiaal en heeft een relatief grote stabiliteit.

### Benodigde onderdelen



We gaan nu wat complexere modellen bouwen door gebruik te maken van de eenvoudige constructies die je eerder hebt gebouwd.

Herhaal stappen 1 tot 6 tweemaal.



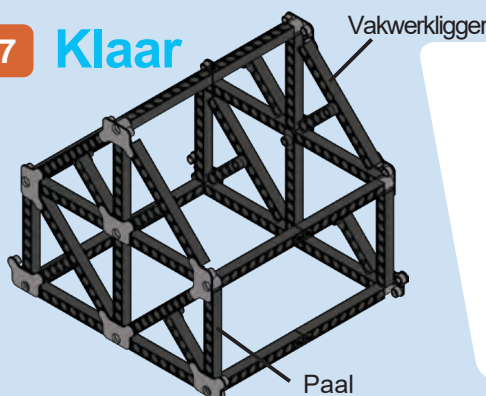
### EXPERIMENT 5

### 7 Klaar

### Sneeuw op het dak

#### Zo doe je het

Open een zwaar boek in het midden en plaats het over het dak van het huis geraamte. Wat gebeurt er met het huis?

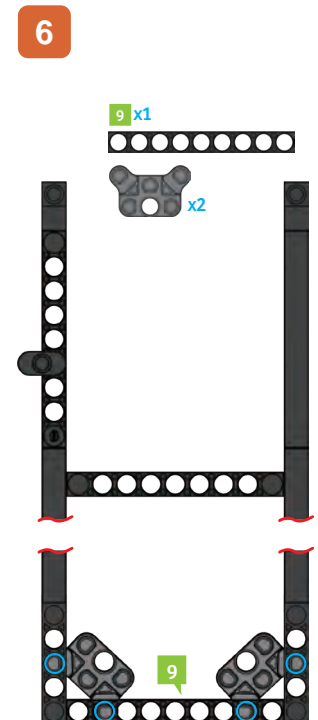
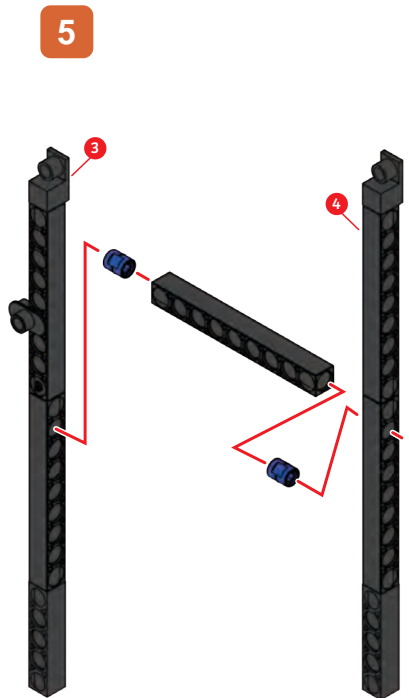
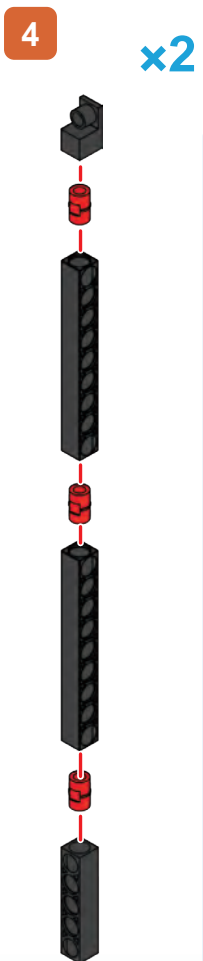
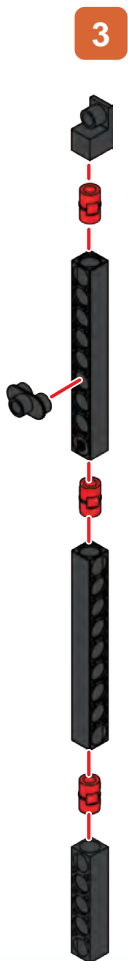
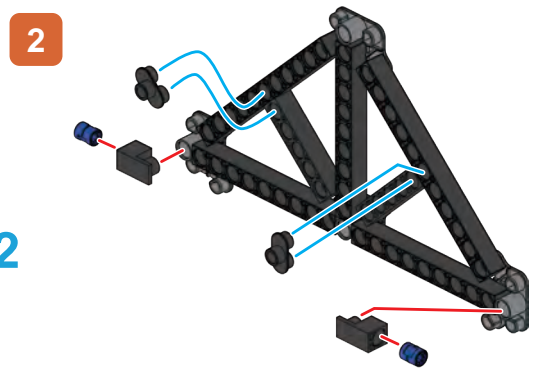
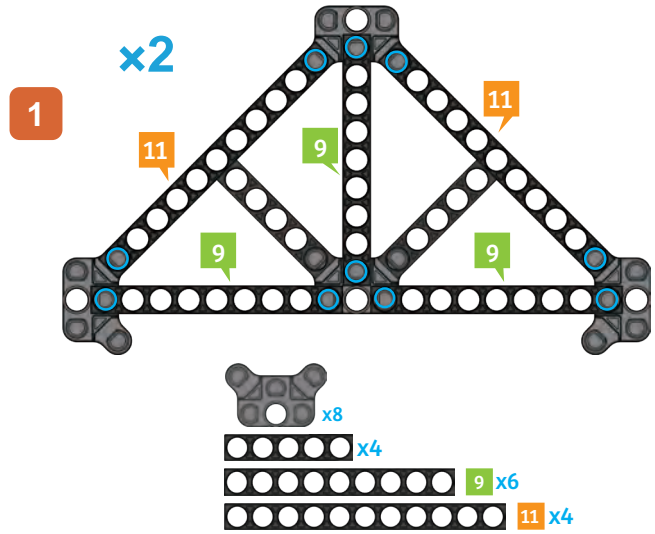
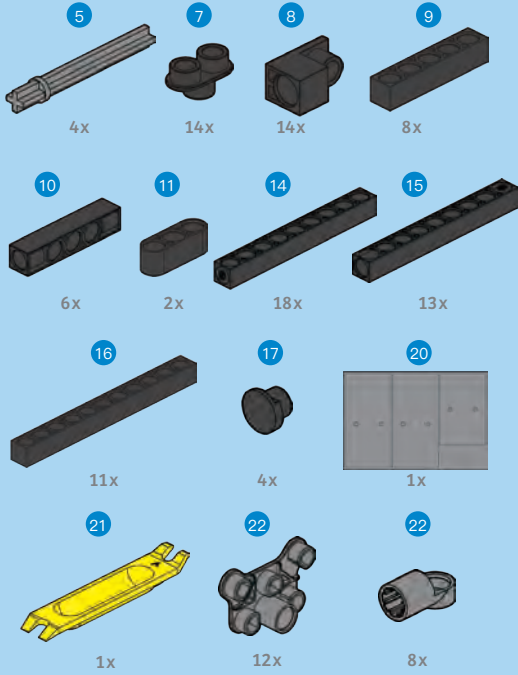


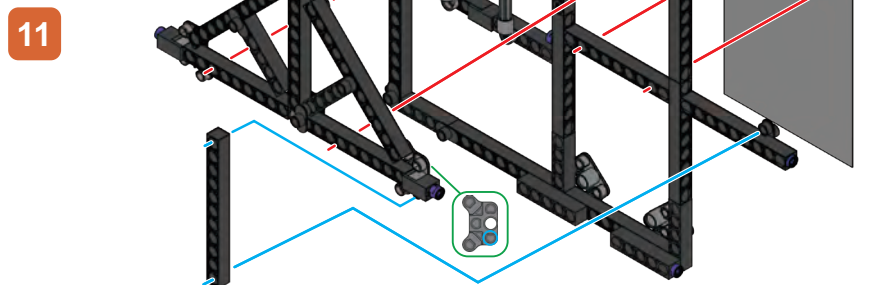
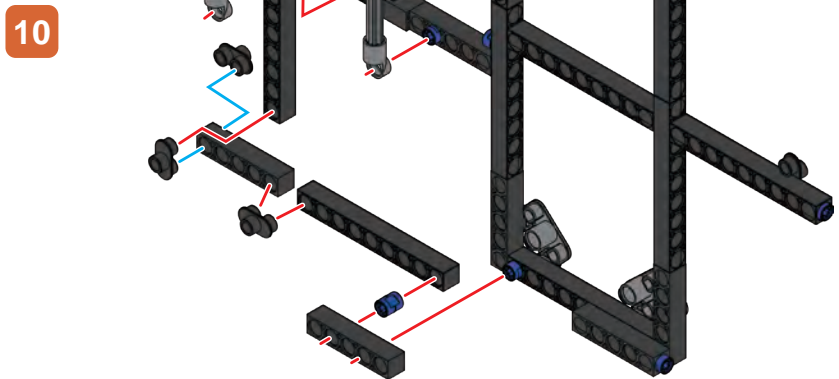
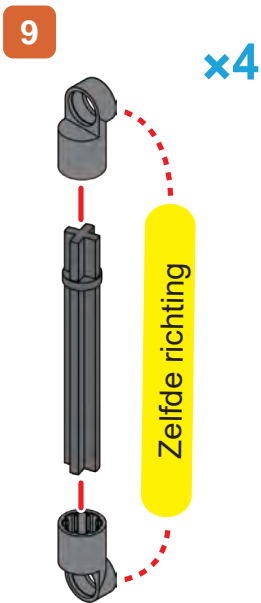
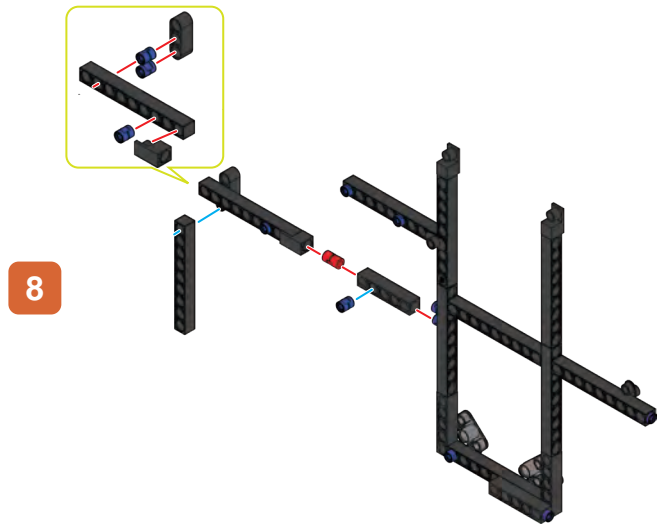
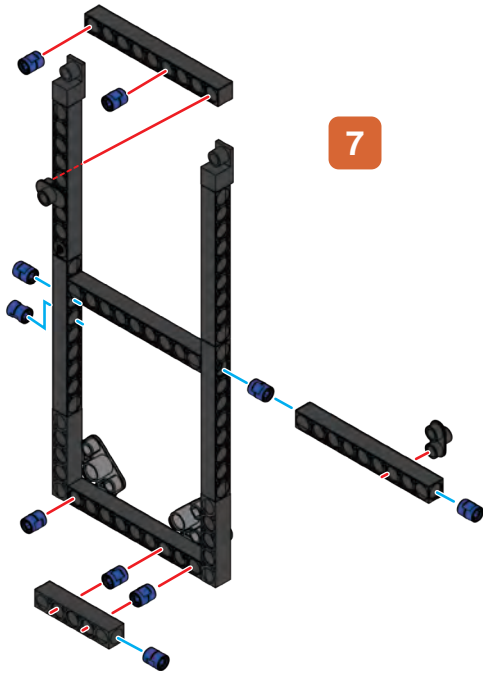
### Wat gebeurt er?

Vakwerkliggers worden gebruikt om het dak van het huis te ondersteunen. Het dak draagt de last over naar de palen van het geraamte. De palen dragen de last weer over naar het oppervlak waar het huis op staat, die het weer terug duwt.

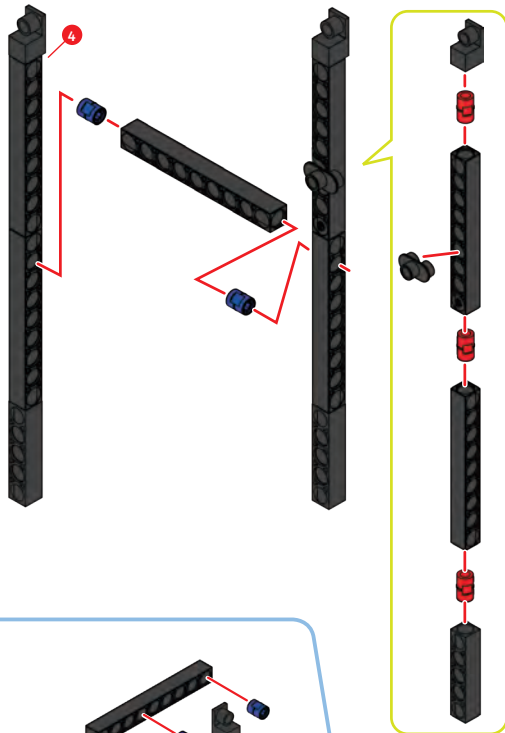
## Modern huis

### Benodigde onderdelen

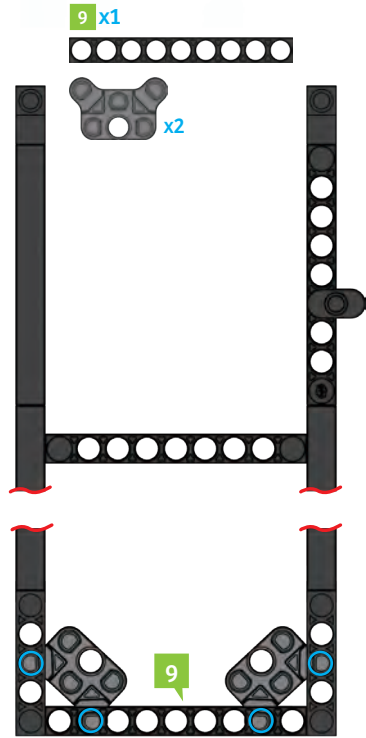




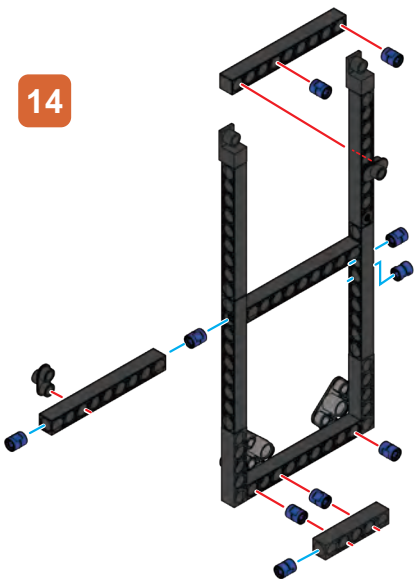
12



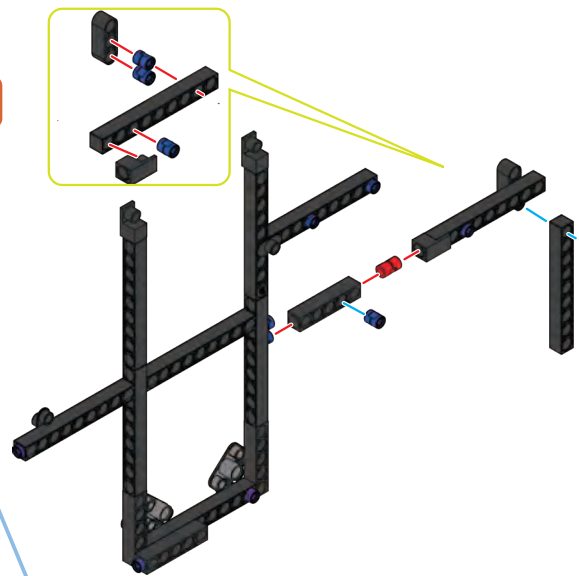
13



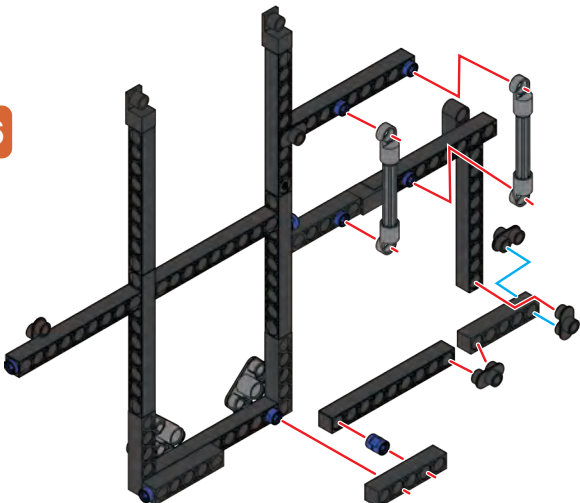
14



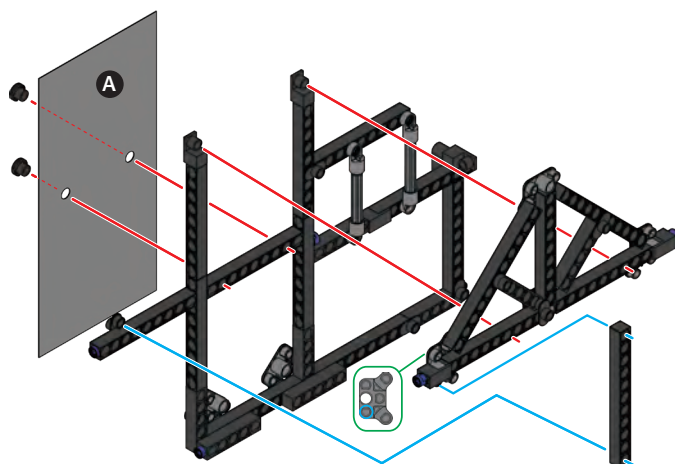
15



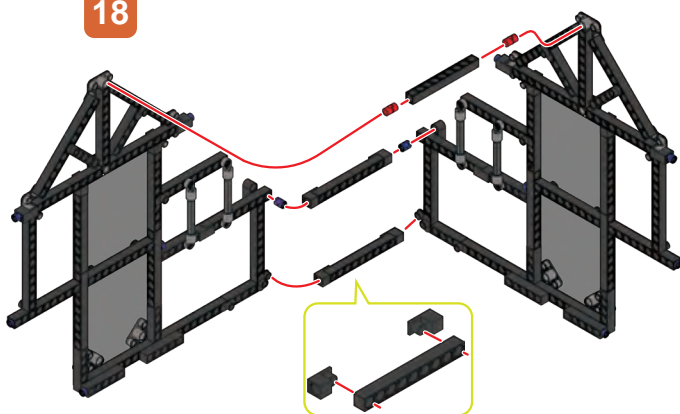
16



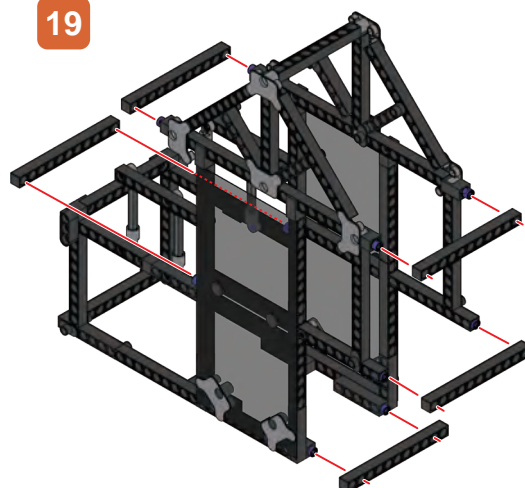
17



18



19



## EXPERIMENT 6

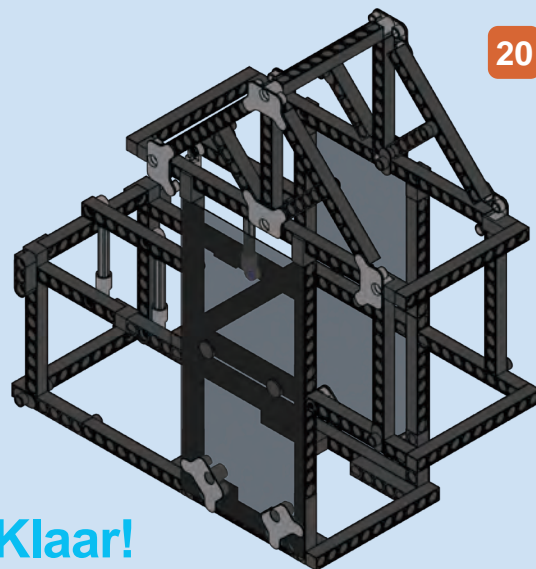
### Ontwerp uitdaging: Huis

#### Zo doe je het

Gebruik makend van alleen de onderdelen van deze set, ontwerp en bouw je je eigen huis. Denk na over de kamers in het huis. Hoeveel zijn er nodig. Hoe wordt je beperkt in de ruimte en materialen die je hebt? Wat heb je nodig om het huis veilig en comfortabel te maken voor de inwoners?

Dit zijn een paar vragen die ingenieurs en architecten zich afvragen wanneer ze een huis ontwerpen en bouwen.

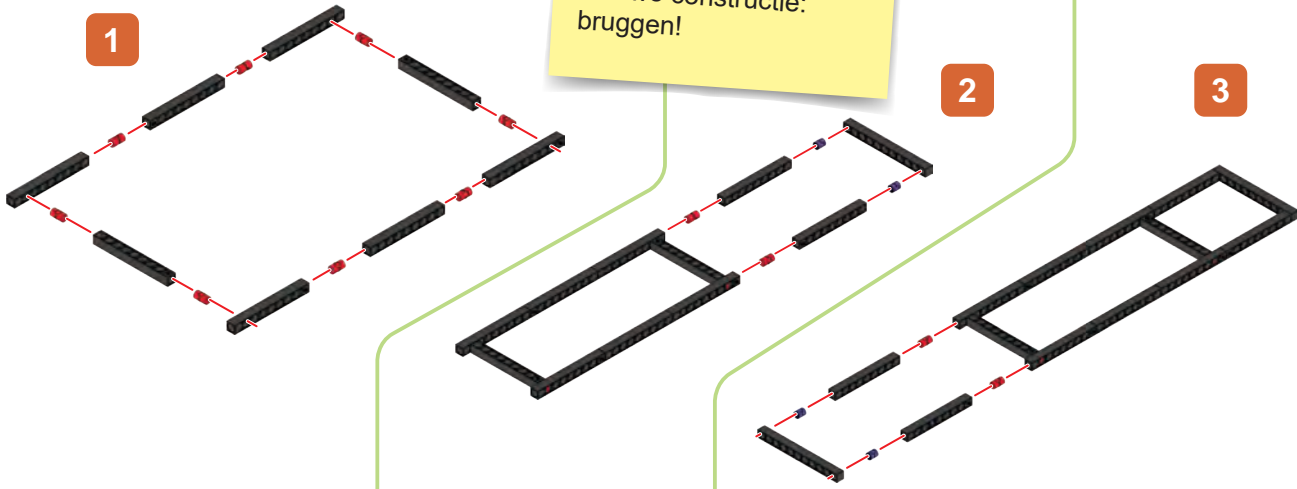
20



Klaar!

## Balkbrug

Pas toe wat je al hebt geleerd bij andere type constructies voor een nieuwe constructie: bruggen!



### EXPERIMENT 7

## Buiging

### Zo doe je het

Zet twee stoelen neer zoals weergegeven. Leg de balkbrug zo neer dat het de afstand van de twee stoelen overbrugt. Hang een gewicht in het midden van de brug met een touw. Gebruik een liniaal om de **doorbuiging** te meten. Dit is de afstand die de brug is vervormd door de last van het gewicht. Verander het gewicht en meet het opnieuw.



### Wat gebeurt?

Als je het gewicht aan de balkbrug hangt, zorgt de kracht van het gewicht dat de brug **doorbuigt**, omdat de brug alleen wordt ondersteund door de twee stoelen aan de uiteinden. Het midden van de brug wijkt af naar beneden omdat het materiaal van de brug niet sterk of rigide genoeg is om de last tegen te gaan.

Kan jij manieren bedenken om de brug te verstevigen zodat het minder afwijkt?

## Bouwontwerp:

### Bruikbaarheid en materiaal eigenschappen

Bouwtechnici moeten de bruikbaarheid van alle constructies die ze ontwerpen inschatten.

**Bruikbaarheid** is het vermogen van een constructie om de functie te verwezenlijken. Ingenieurs moeten niet alleen overwegen of de constructie blijft staan, maar ook of het aan alle vereisten kan voldoen van de gebruikers of bewoners over de gehele tijdspanne. De constructie mag bijvoorbeeld niet te veel trillen zodat het niet comfortabel wordt voor de gebruikers.

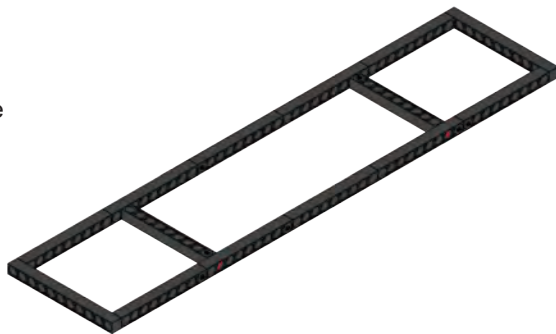
Naast het begrijpen van krachten en krachtmomenten moet een ingenieur de eigenschappen van de materialen begrijpen.

Materiaal **eigenschappen** zijn kwantitatieve maatstaven hoe verschillende materialen reageren op verschillende krachten en krachtmomenten. Materiaal eigenschappen staan de ingenieurs toe om de voor en nadelen van verschillende materialen te beoordelen.

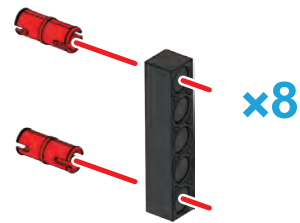
## ● ● ● Verstevigde balkbrug

1

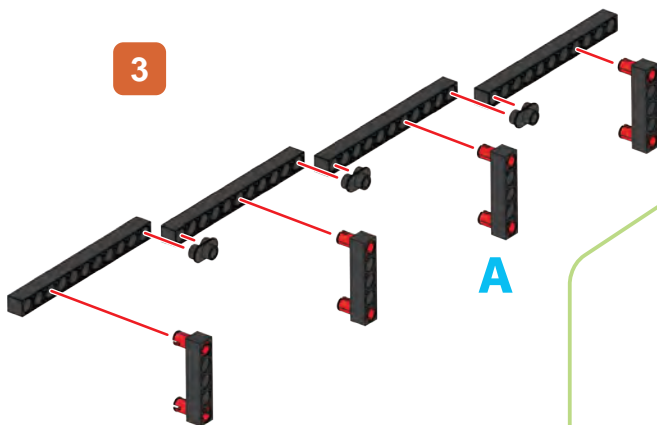
Start met de balkbrug



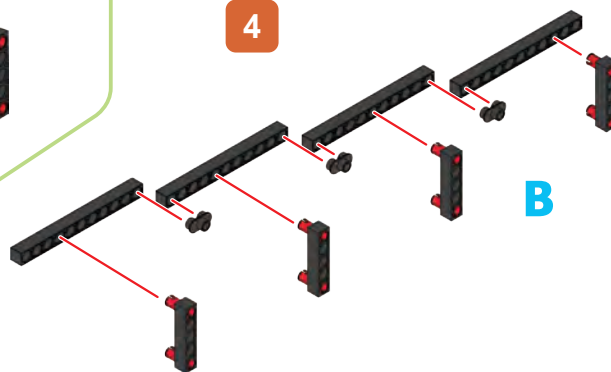
2



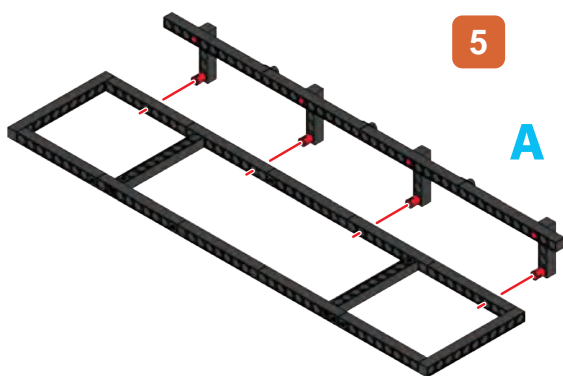
3



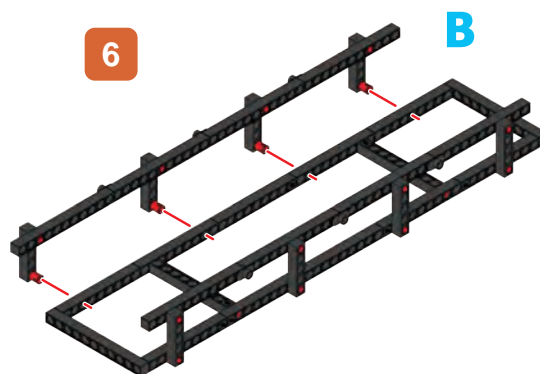
4



5



6



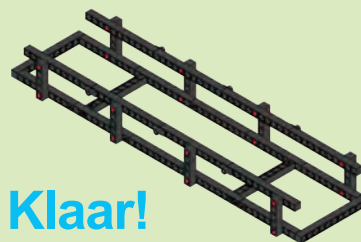
### EXPERIMENT 8

## Stuur de verstevigingen

### Zo doe je het

Plaats de verstevigde balkbrug tussen de twee stoelen zoals in het vorige experiment. Hang een gewicht aan de brug. Gebruik een liniaal om de afwijking van de brug te meten. Vergelijk de doorbuiging met de resultaten van het vorige experiment, met hetzelfde gewicht.

7



Klaar!

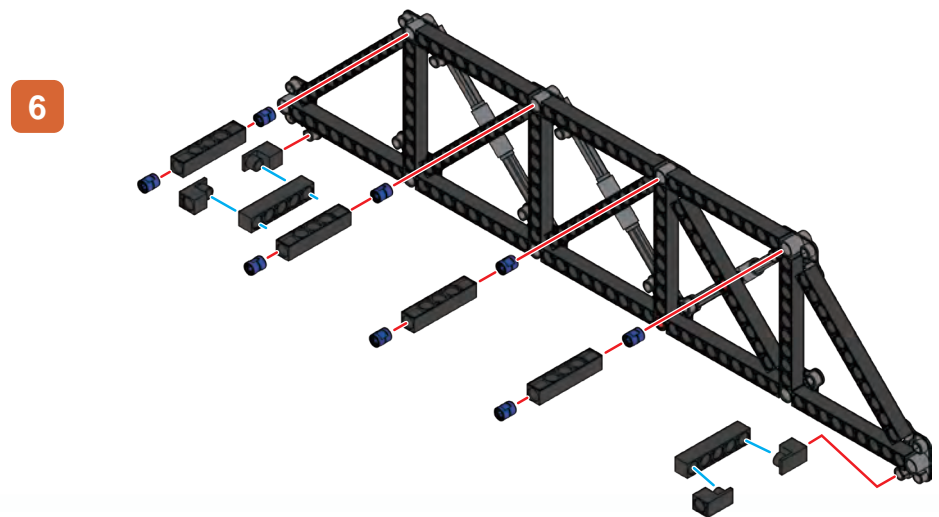
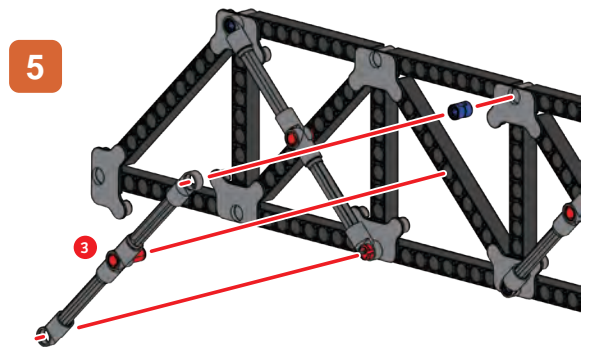
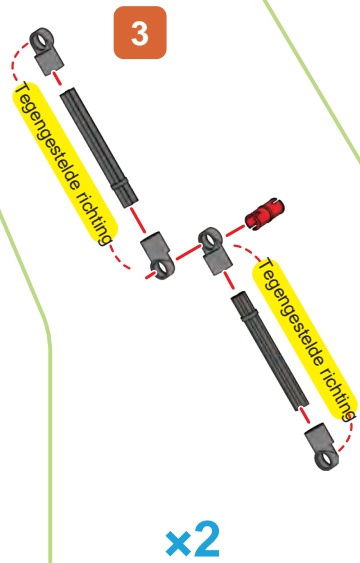
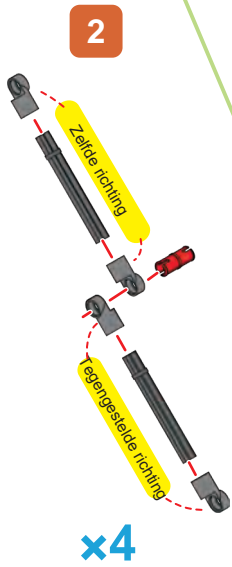
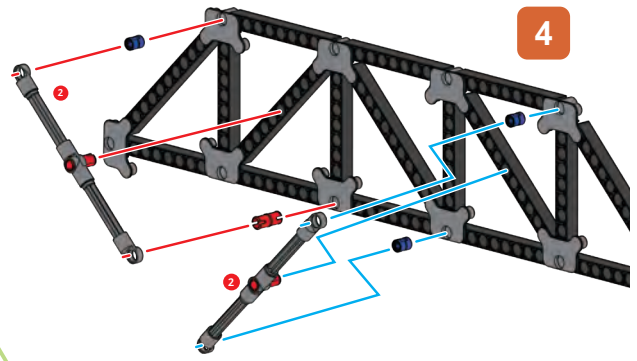
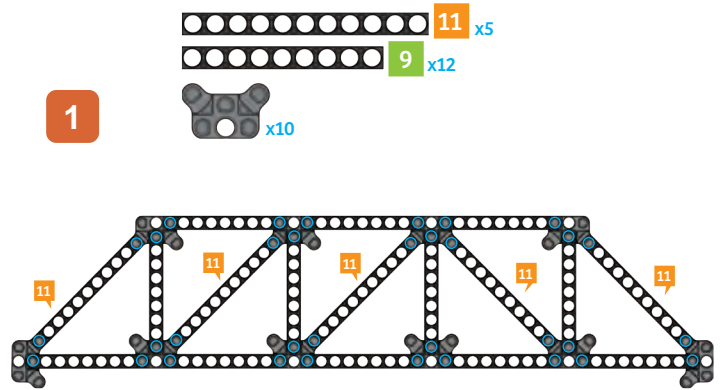
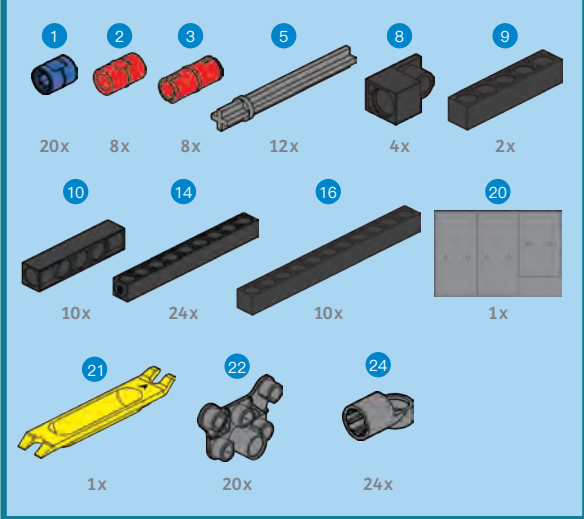
**Wat gebeurt er?**

Omdat de brug is versterkt met extra stangen aan de zijkanten, is de doorbuiging verminderd.

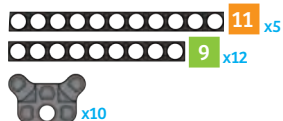
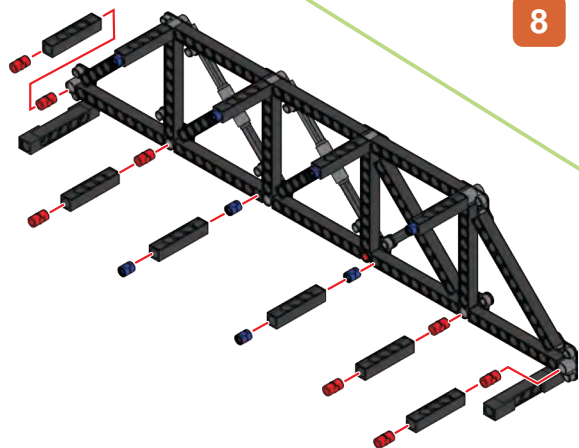


## Vakwerkbrug

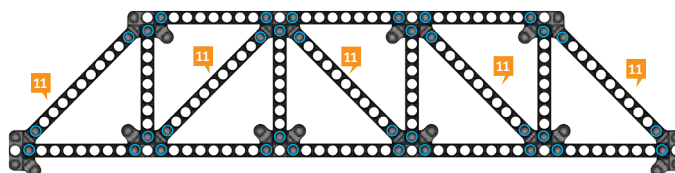
### Benodigde onderdelen



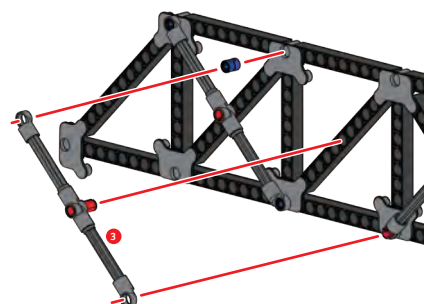
7



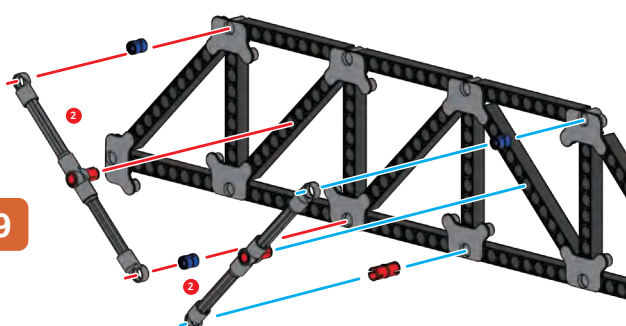
8



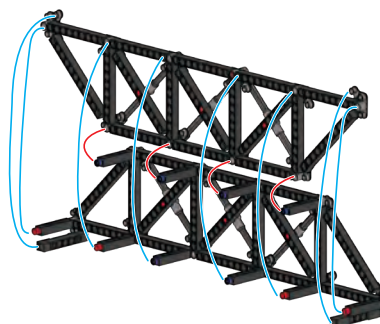
10



9



11



## EXPERIMENT 9

### Bouwbeperkingen

#### Zo doe je het

Herhaal experiment 7. Vergelijk de doorbuiging bij de verschillende bruggen. Welke brug is het sterkst?

Een zeer belangrijke taak van een ingenieur is het herkennen en begrijpen van beperkingen om een oplossing te vinden. Een ingenieur moet balanceren tussen veel verschillende compromissen. Sommige compromissen die ingenieurs tegenkomen zijn: De beschikbaarheid van middelen, kosten, productiviteit, tijd, kwaliteit en veiligheid.

12

#### Wat gebeurt er?

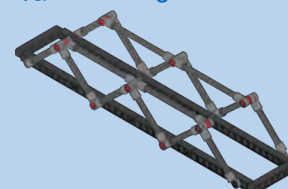
Het toevoegen van de vakwerkliggers zorgt er voor dat de brug veel minder doorbuigt onder dezelfde last. De vakwerkliggers verdelen de krachten over de brug op een manier dat het midden van de brug veel minder doorbuigt. Sommige stangen in de brug staan onder druk en andere onder spanning. Elke stang en verbinding moeten sterk genoeg zijn om de krachten te kunnen dragen. Lees over druk en spanning op de volgende pagina.

Klaar!



#### Bonusexperiment

Kan je deze andere vakwerkbrug bouwen?

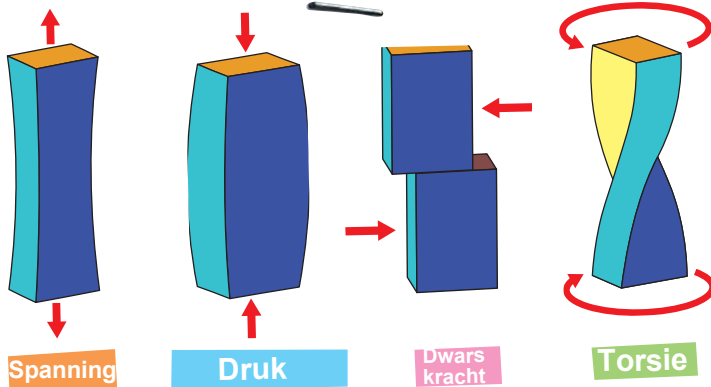


Bestuur dit



# Last

Een ander belangrijk aspect wanneer je een constructie bouwt, is het begrijpen hoe **last** de constructie beïnvloedt. Lasten zijn krachten, vervormingen of versnellingen die worden uitgeoefend op een onderdeel van een constructie.



Technici gebruiken vaak vier verschillende termen, die omschrijven hoe last een constructie kan beïnvloeden. Spanning, druk, dwarskracht en torsie

**Spanning** is een kracht die objecten uit elkaar trekt (of rekt)

**Druk** is een kracht die op een object duwt (of indrukt)

**Dwarskracht** is een kracht die zorgt dat parallelle interne oppervlakken in objecten over elkaar heen schuiven. (Je vindt een voorbeeld van dwarskracht op de volgende pagina)

**Torsie** is een kracht die een object laat draaien door een krachtmoment.

## Wist je dat...

...**verhard glas**, dat in smartphones wordt gebruikt, wordt versterkt door het te bewerken met hitte en chemische stoffen, om druk te creëren aan de buitenkant van het glas en spanning aan de binnenkant. Dit zorgt ervoor dat het glas externe lasten kan weerstaan zonder te breken.

Een constructie, zoals een gebouw, bestaat uit veel onderdelen zoals muren, vloeren, balken en plafonds. Een ingenieur groepeerd onderdelen van een constructie in een aantal categorieën gebaseerd op de fysieke eigenschappen. In deze set kijken we hoe **zuilen, balken, platen, vakwerkliggers, kettinglijnen, bogen, kabels** en **schalen** werken in een constructie.

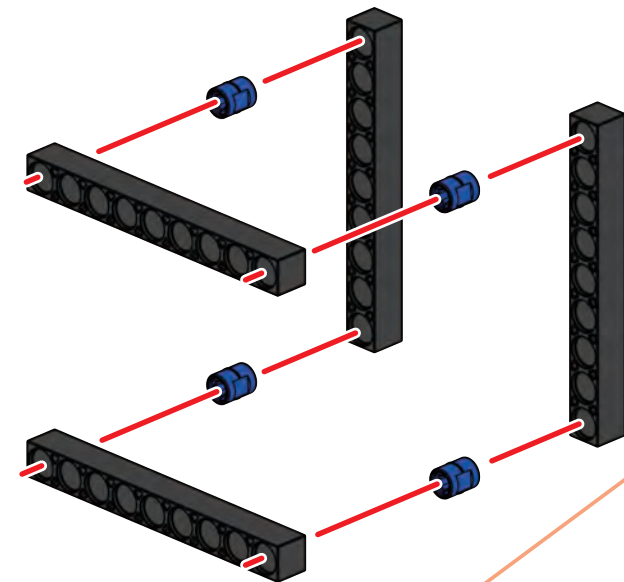
Net zo belangrijk als welke onderdelen je gebruikt tijdens het bouwen, is de manier van verbinden van deze onderdelen. Een gebouw is zo ontworpen dat het veilig de lasten overdraagt door de onderdelen naar de grond. Er zijn drie verschillende types verbindstukken die gebruikt worden bij gebouwen: **rollen, pennen** en **vaste steunen**.

Bijvoorbeeld **rolsteunen** worden gebruikt bij bruggen. De brug kan op deze manier bewegen als het uitzet of krimpt door verandering van de temperatuur.



Nu bouwen we modellen om te onderzoeken hoe bouwelementen de druk verwerken.

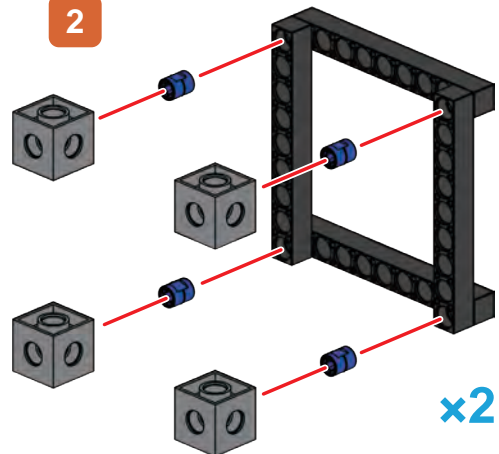
1



x4

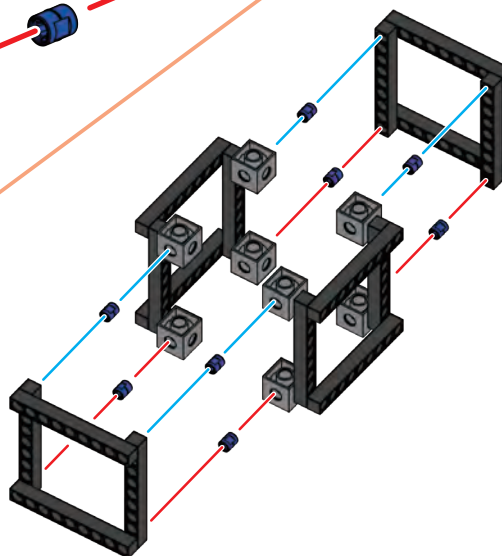
Compressie kubus

2



x2

3



## EXPERIMENT 10

### Zuilen en balken

#### Zo doe je het

Plaats één hand boven op de kubus en één onderaan. Duw je handen samen, waardoor je de kubus indrukt. Wat zie je dat er gebeurt?

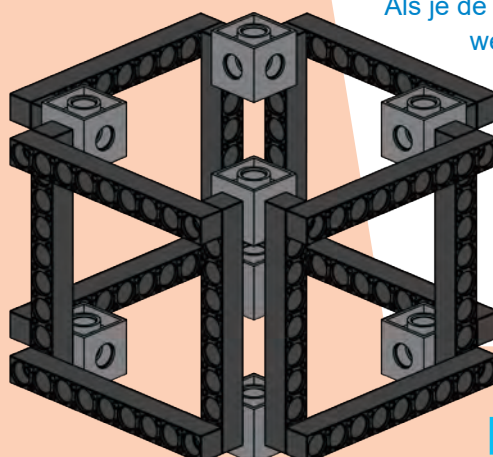
Daarna, houd je de kubus in één hand en schuif je de bovenkant van de kubus rond in een zijdelingse beweging.

4

#### Wat gebeurt er?

Als je de kubus indrukt houdt de kubus weerstand tegen zonder te buigen. Maar wanneer de kubus zijdelings wordt bewogen is het onstabiel.

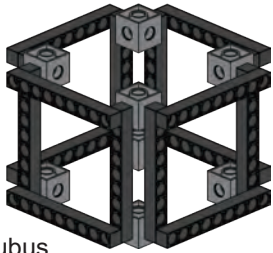
Deze kubus bestaat uit twee bouwelementen: zuilen en balken.



Klaar!

## Verstevigde kubus

1



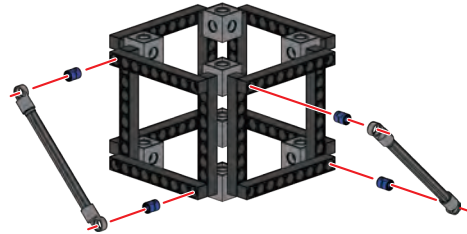
Start met de kubus.

2

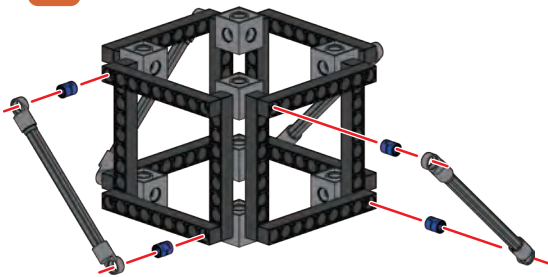


x4

3



4



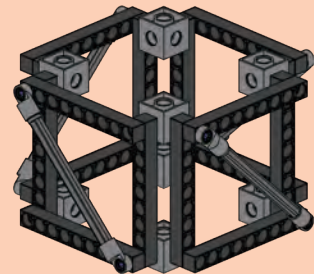
### EXPERIMENT 11

5

Klaar!

#### Zo doe je het

Herhaal experiment 10 met de verstevigde kubus. Welk effect hebben de diagonale balken op het ontwerp?



## Tetraëder

1



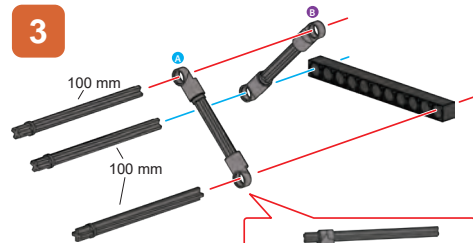
x2

2

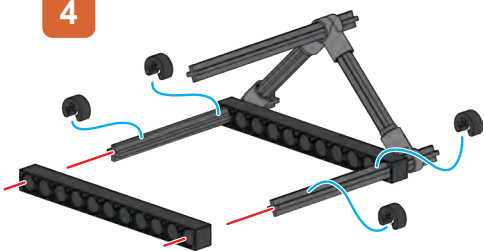


x2

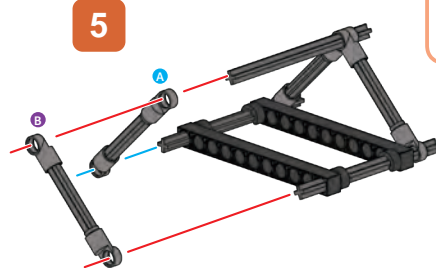
3



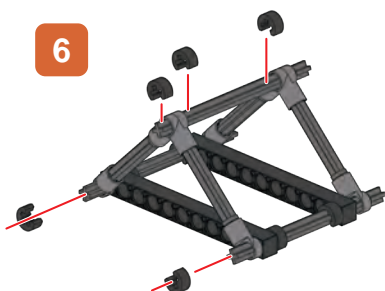
4



5



6



### EXPERIMENT 12

7

#### Zo doe je het

Gebruik beide handen om de hoeken van de tetraëder in te duwen, te trekken of te draaien. Wat zie je dat er gebeurt?

Klaar!



Bestuur dit



## Bouwelementen: Zuilen, Balken en Platen

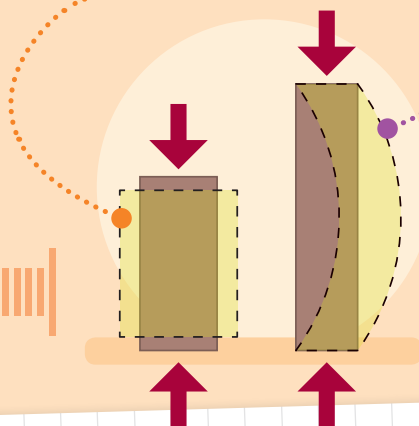
### Zuilen

**Zuilen** zijn elementen die de krachten verticaal overdragen, door druk. Zoals je in experiment 10 zag, zijn zuilen sterk in het weerstaan van verticale krachten, maar zwak bij horizontale krachten. Als zuilen onder **druk** komen te staan, worden ze korter en wijder.



Waarom worden deze zuilen in dit gebouw niet korter en wijder? De reden is dat deze veranderingen vaak heel klein zijn, aangezien deze materialen erg stijf zijn.

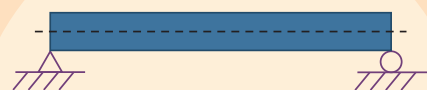
Bouwtechnici proberen het vallen van de zuilen te voorkomen door een fenomeen genaamd **knik**. **Knik** is wanneer een bouwelement begint te buigen door de grote druk. Dit defect kan ervoor zorgen dat het element de last helemaal niet meer kan dragen.



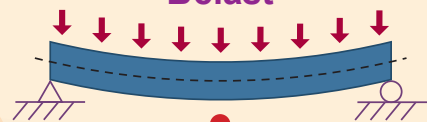
### Balken

Balken zijn bouwelementen die horizontale lasten kunnen weerstaan maar geen verticale lasten. Bij de balkbrug in experiment 7 zag je dat als verticale krachten op de balken neerkomen, er een **buiging** ontstaat.

Geen last



Belast



### Platen

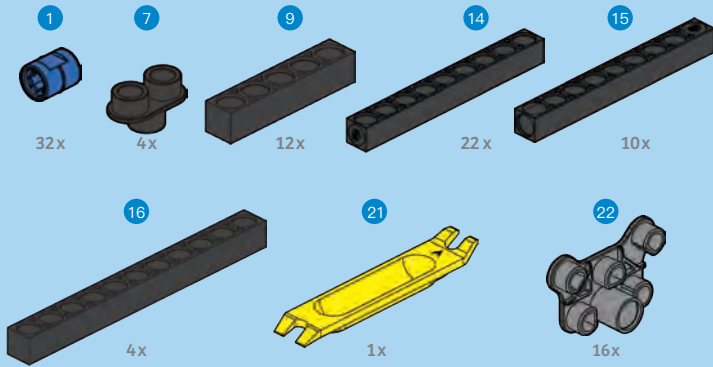
Een plaat is een vast bouwelement met een dikte die relatief erg klein is vergeleken met zijn andere dimensies. Lasten die worden uitgeoefend op een plaat staan vaak loodrecht op de plaat. Het voorgesneden plastic vel is een voorbeeld van een plaat.



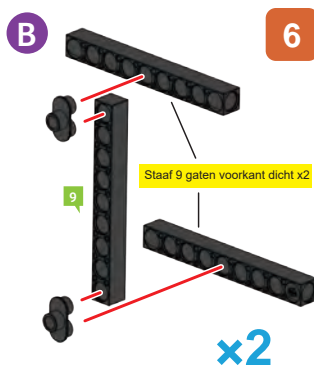
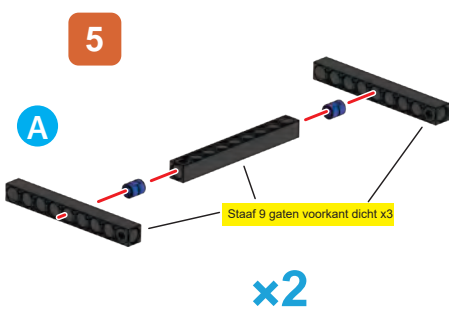
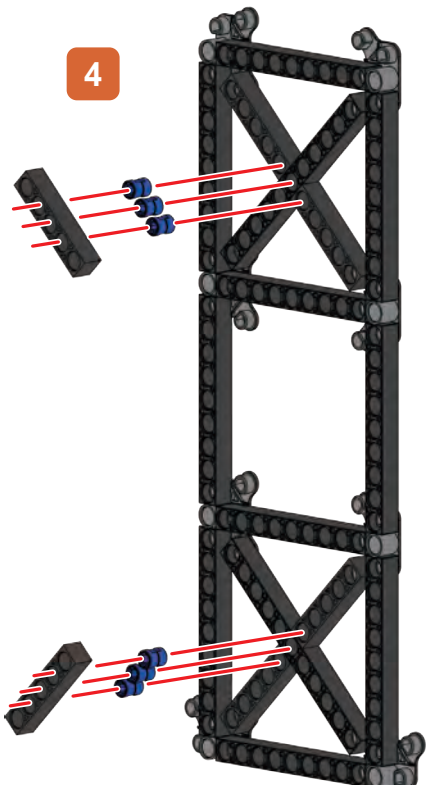
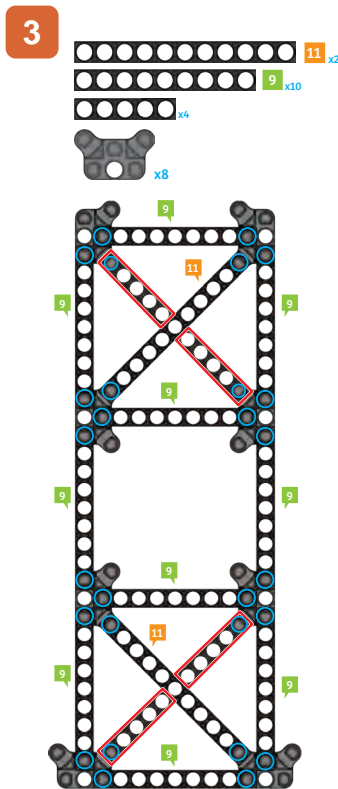
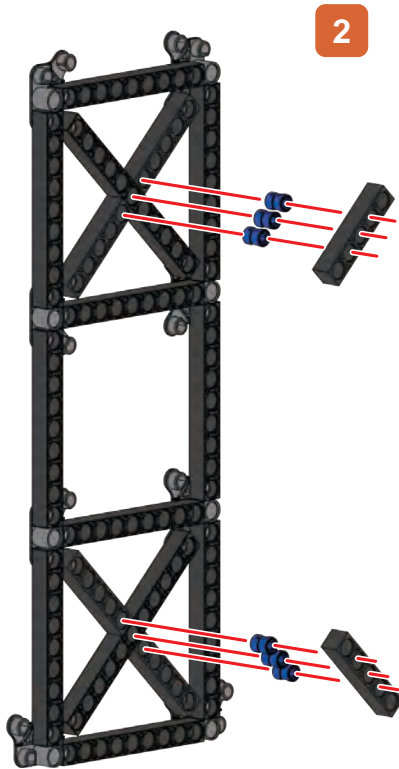
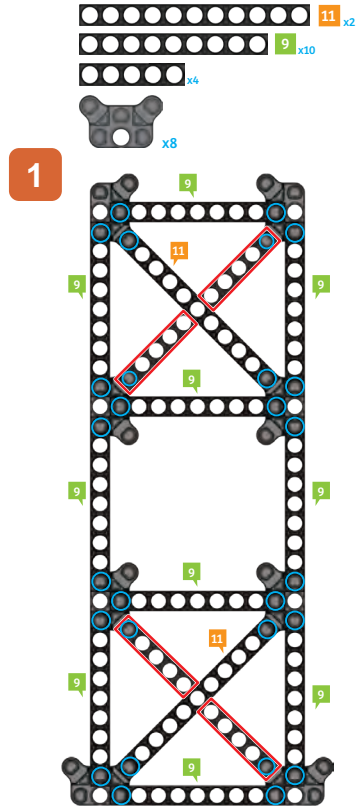
Als een balk buiging ervaart, is de bovenkant van de stang onder druk en de onderkant onder spanning.

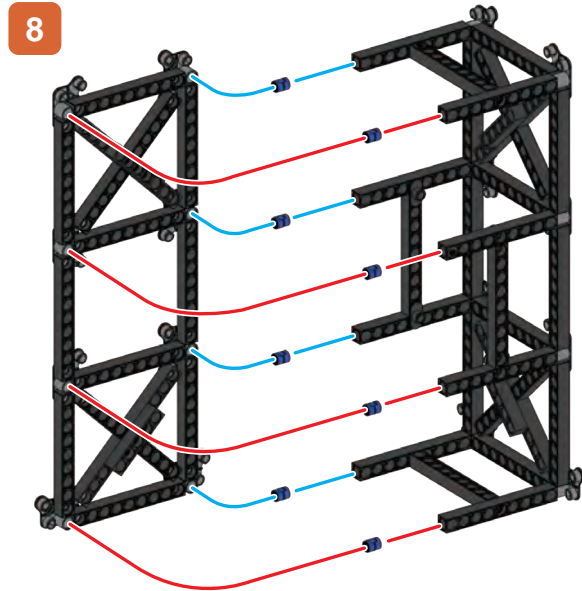
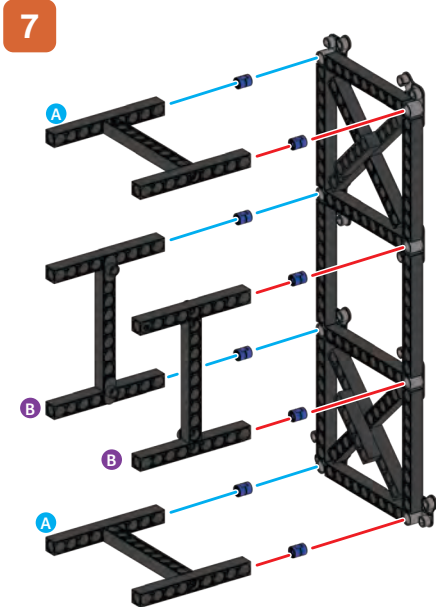
## ●●● Wolkenkrabber versie 1

### Parts Needed



We gaan wolkenkrabbers bouwen. Kan je de bouwelementen herkennen die gebruikt worden?





## EXPERIMENT 13

### Aardbeving!

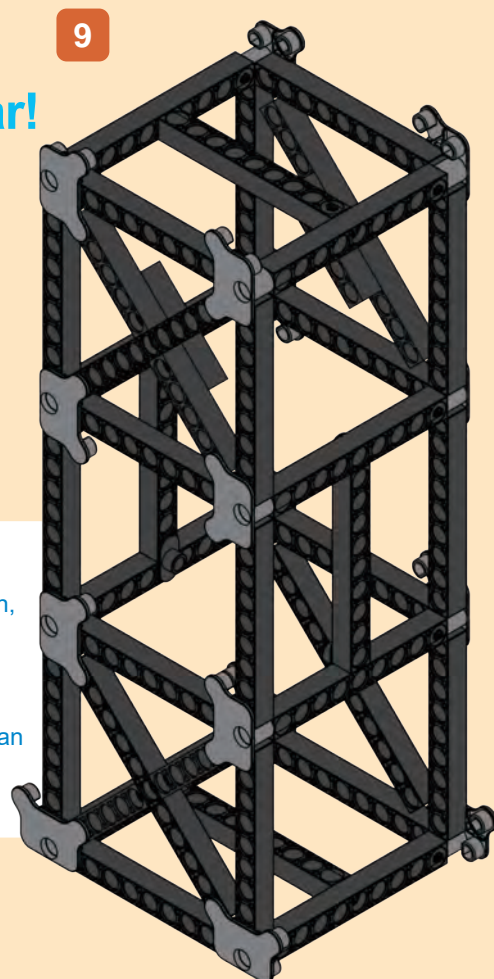
#### Zo doe je het

Plaats de wolkenkrabber op een vel papier of karton. Schuif het karton heen en weer over de tafel. Wat zie je dat er gebeurt met de wolkenkrabber?

#### Wat gebeurt er?

Aardbevingen zorgen ervoor dat de grond gaat bewegen, net zoals het vel papier bij het experiment. Dit zorgt ervoor dat gebouwen kunnen omvallen, verschuiven of gaan draaien. Een wijde fundering kan dit helpen te voorkomen. Een flexibele constructie, dat een beetje kan buigen in plaats van dat het afbreekt, kan voorkomen dat een gebouw instort gedurende een aardbeving.

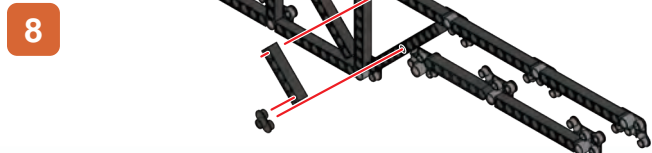
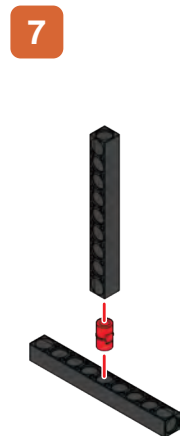
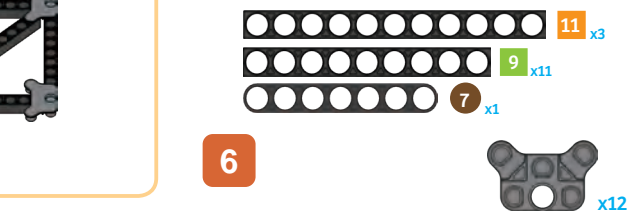
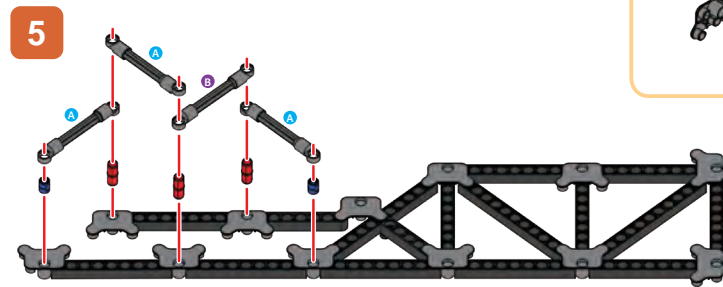
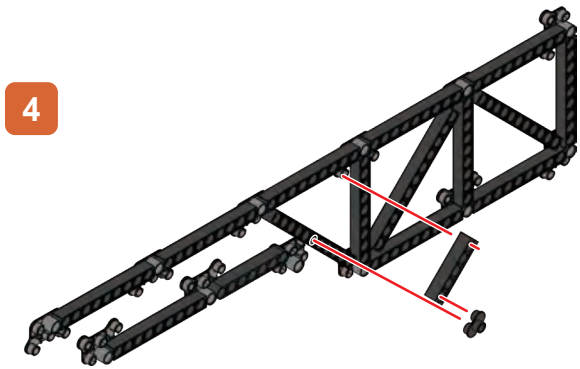
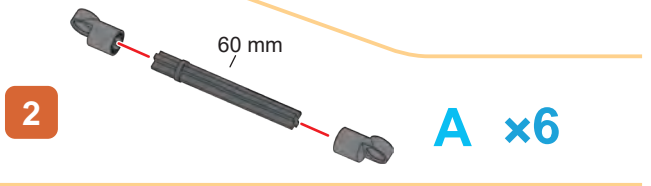
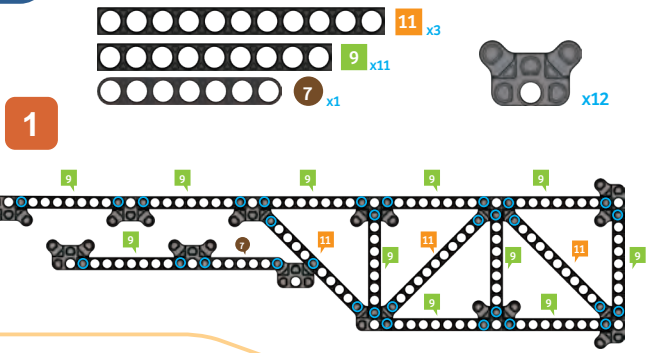
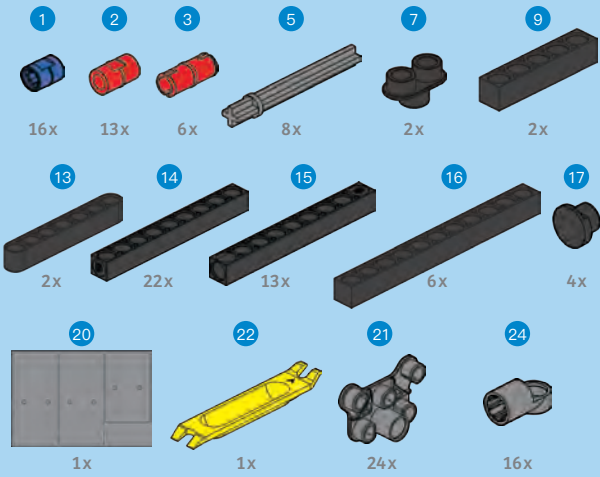
### Klaar!

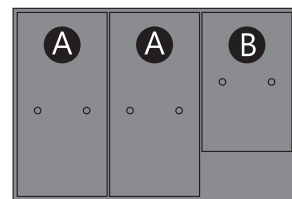
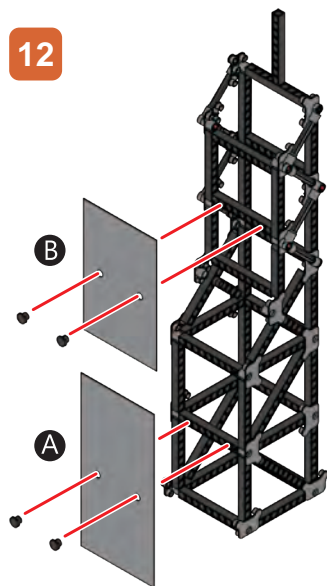
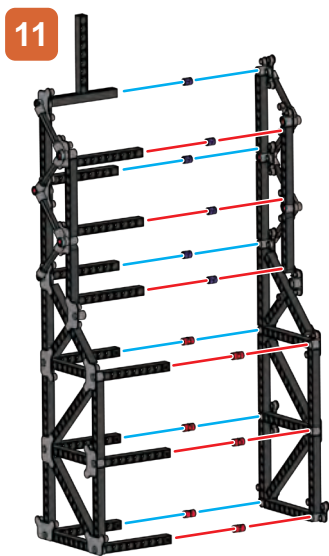
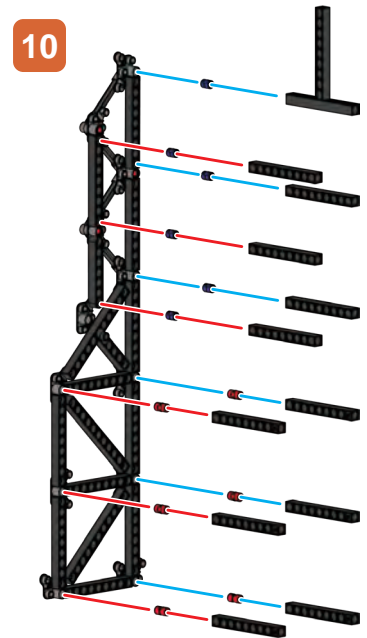
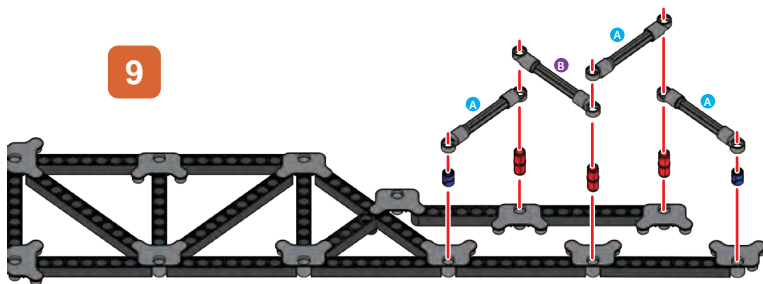




## ●●● Wolkenkrabber versie 2

### Benodigde onderdelen





## EXPERIMENT 14

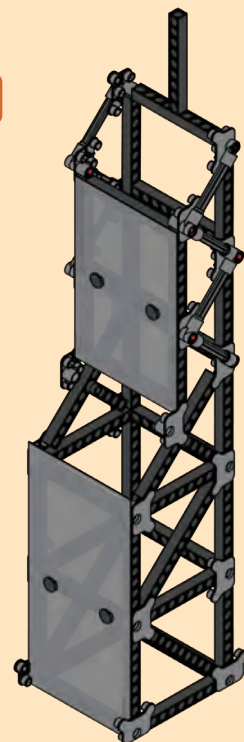
### Ontwerp uitdaging: Wolkenkrabbers

#### Zo doe je het

Bouw de hoogste wolkenkrabber, zo mogelijk met alleen de materialen uit deze set. De wolkenkrabber moet op zichzelf kunnen staan. Je kan de uitdaging moeilijker maken door vereisten toe te voegen, zoals dat het gebouw de lucht van een föhn moet kunnen weerstaan of het schudden van de tafel of een bepaald gewicht dragen.

Een aantal beperkingen omtrent wolkenkrabbers die je in je achterhoofd moet houden zijn de beschikbaarheid van materialen, hoogte, gewicht van de wolkenkrabber en de bewoners, locatie, tijd, kosten en de sterkte en stabiliteit die nodig is om aardbevingen en harde wind te weerstaan.

13



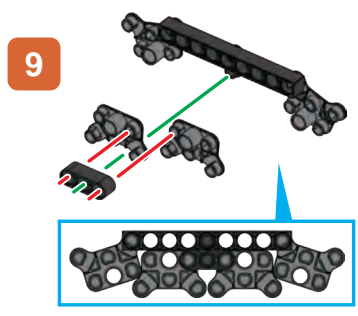
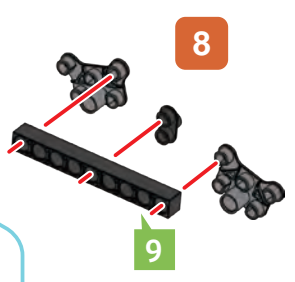
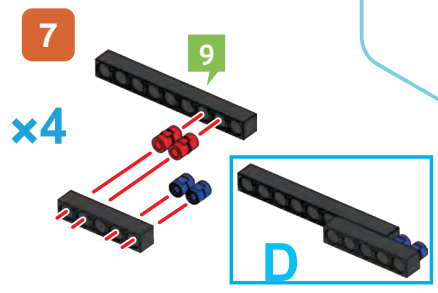
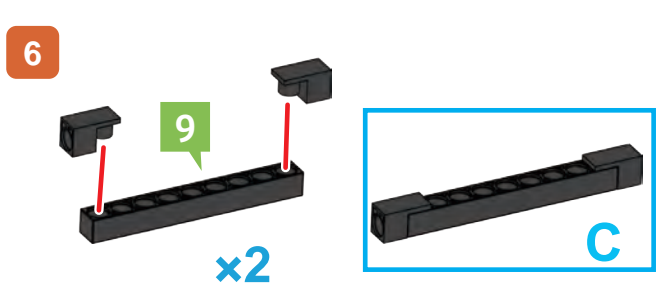
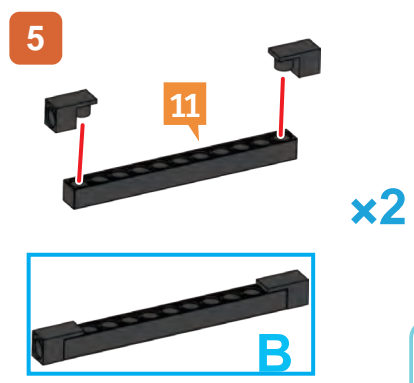
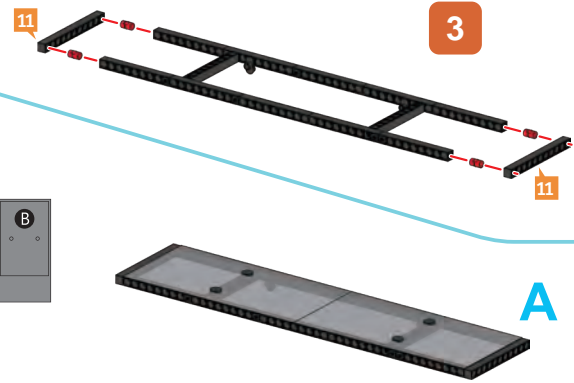
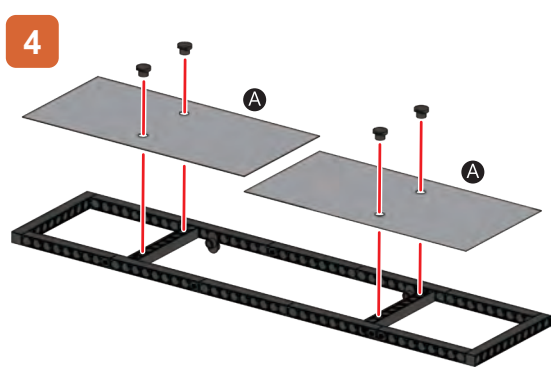
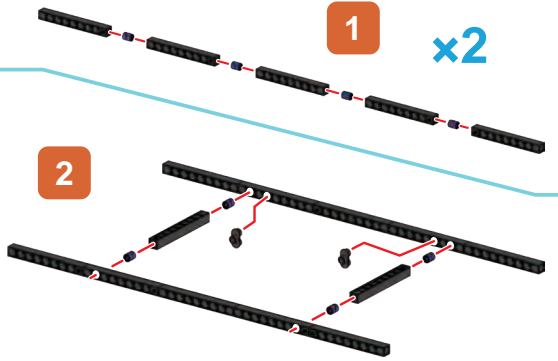
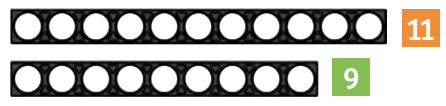
**Klaar!**

## Zuivere boogbrug

Laten we nu boogbruggen gaan bouwen. Waar denk je dat de druk op komt te staan bij de brug?

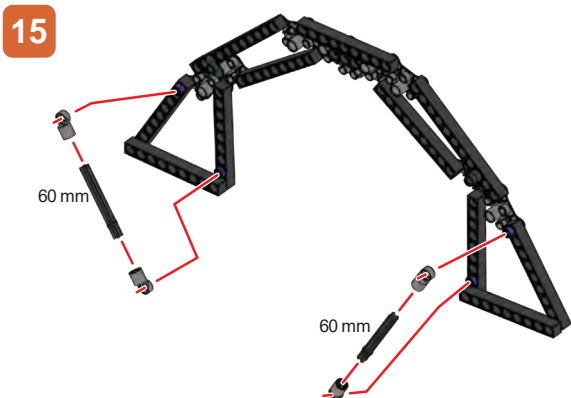
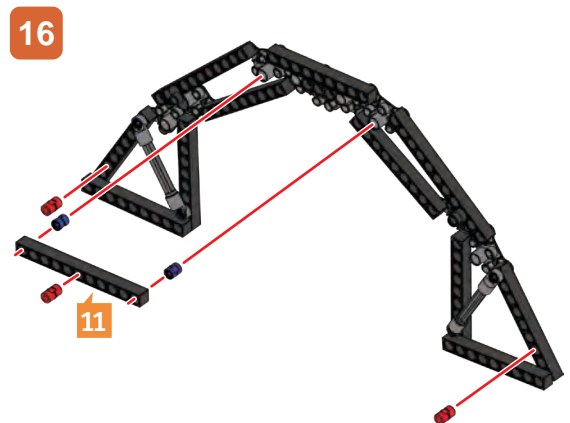
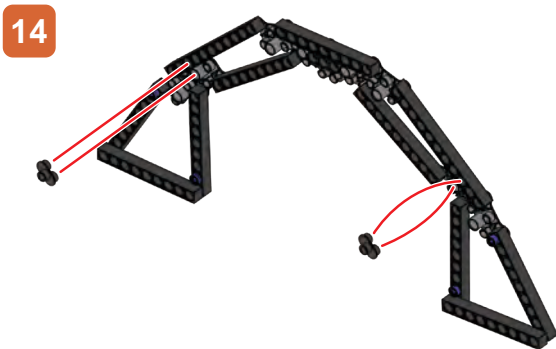
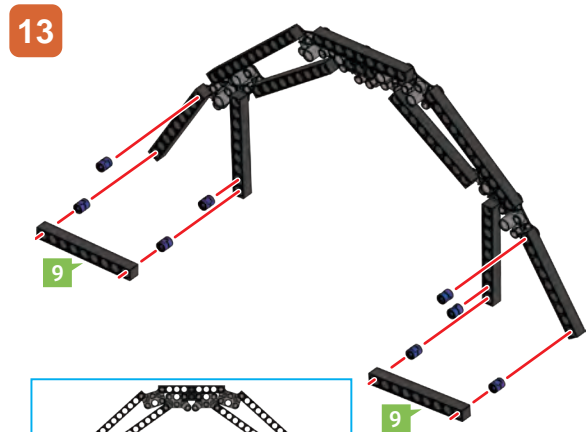
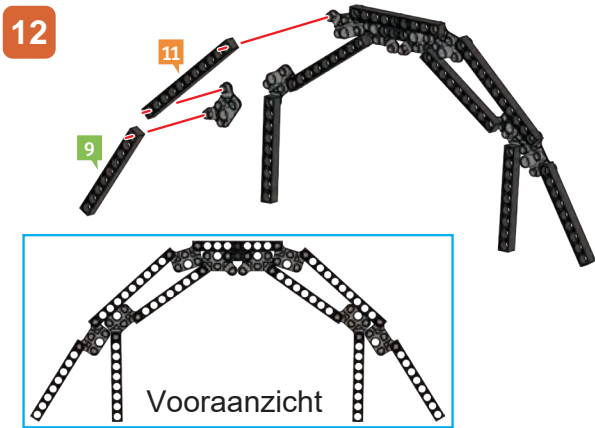
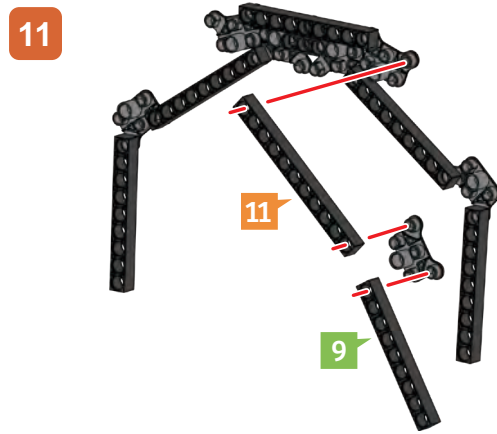
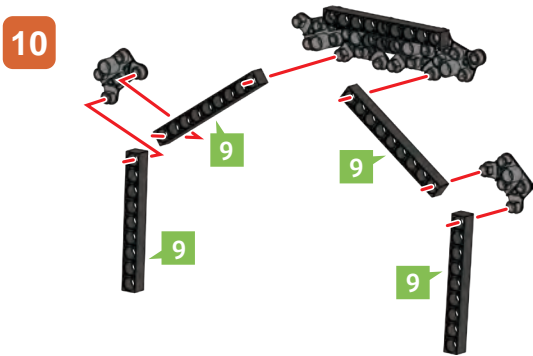
### Benodigde onderdelen

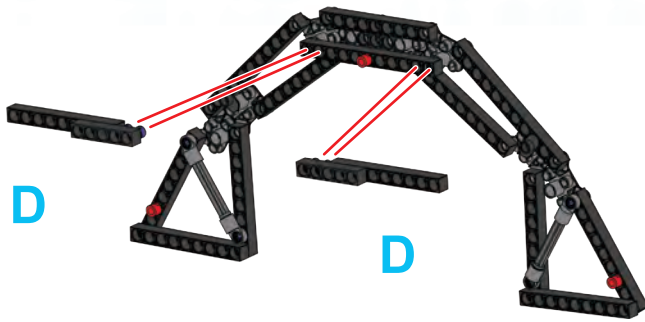
1	2	5	7	8	9
40x	18x	4x	10x	8x	4x
11	14	15	16	17	
2x	24x	13x	10x	4x	
20	21	22	24		
1x	1x	16x	8x		



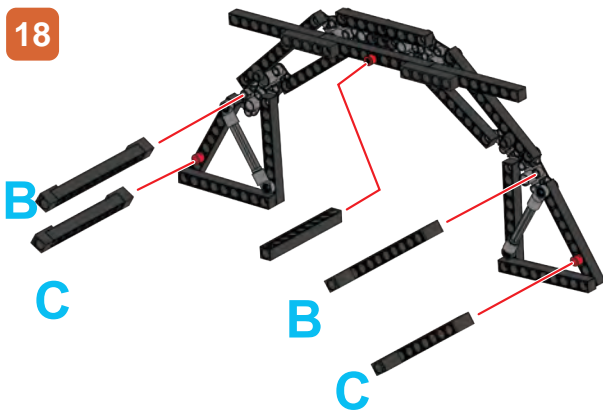
Herhaal stappen 8 tot 18 tweemaal.

## Zuivere boogbrug

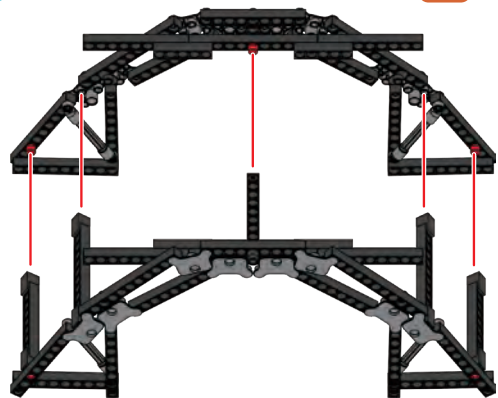




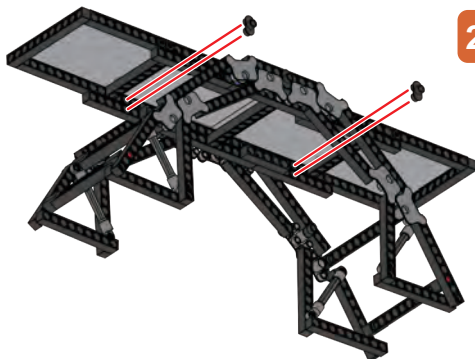
17



18



19



20



21

## EXPERIMENT 15

### Bogen

#### Zo doen je het

Plaats je handen aan de onderkant van de boog. Laat een vriend of familielid een boek plaatsen op de bovenkant van de boogbrug. Wat zie je dat er gebeurt als een boek op de brug wordt gelegd?



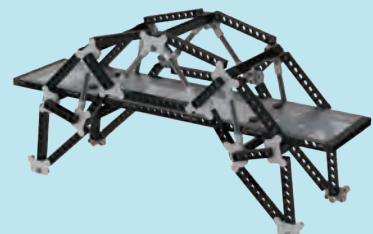
22

Klaar!

#### Wat gebeurt er?

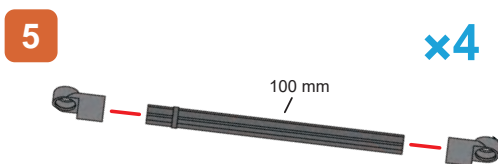
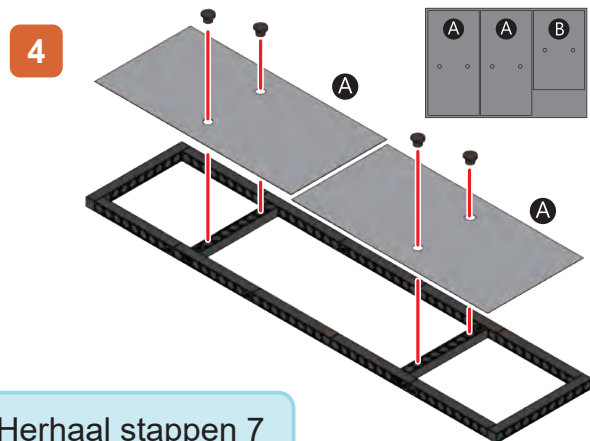
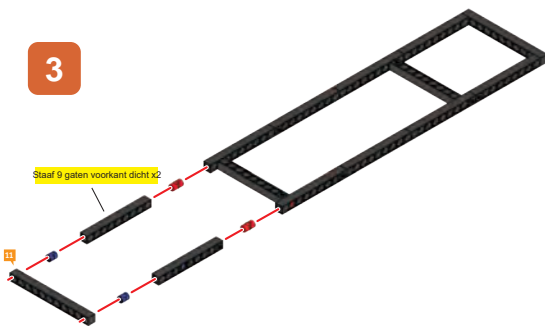
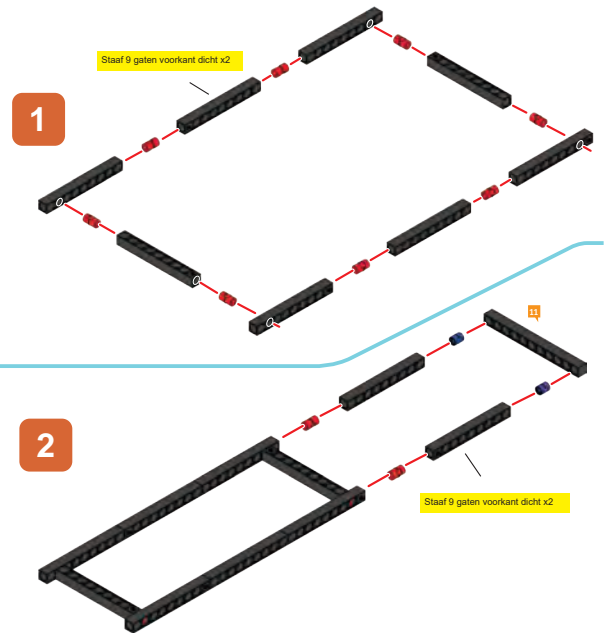
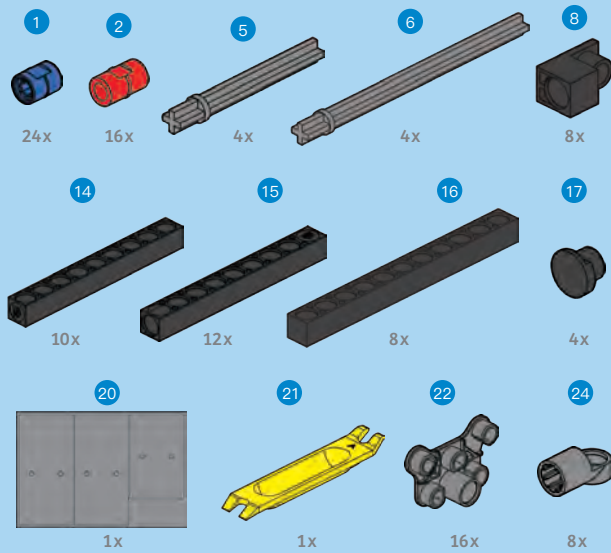
Een boog transformeert krachten die op de bovenkant van de brug worden gedruwd naar krachten die de onderkant naar buiten duwen. Er moeten interne of externe constructies gebouwd worden om de kracht op de onderkant te neutraliseren, anders stort de brug in.

**Bonus experiment**  
Kan je deze boogbrug bouwen?

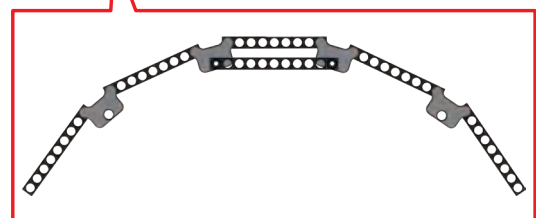
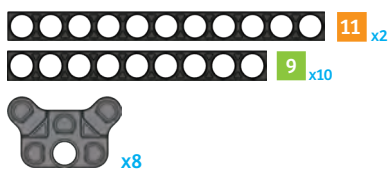
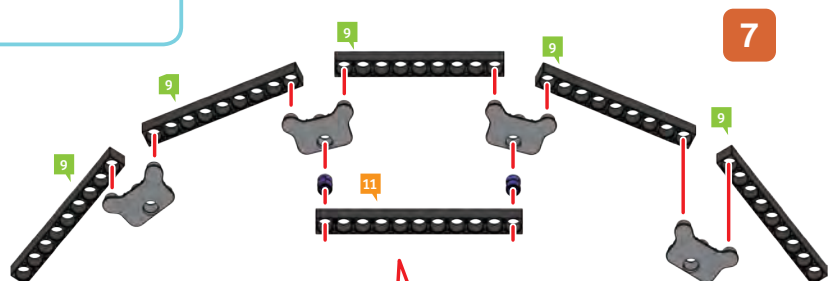
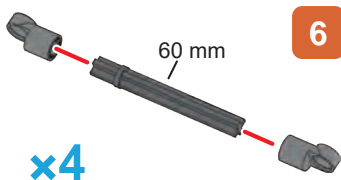


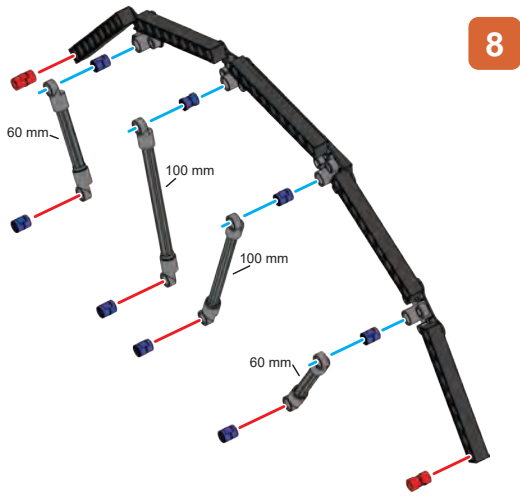
## Boogbrug met trekband

### Benodigde onderdelen

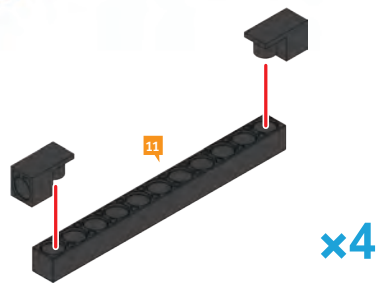


Herhaal stappen 7 en 8 tweemaal



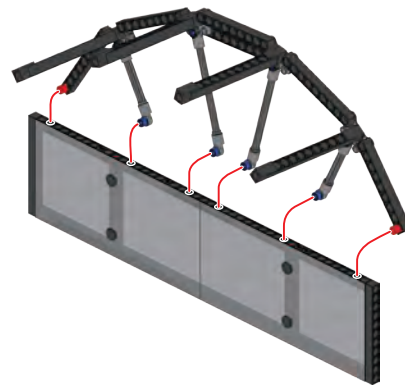


8

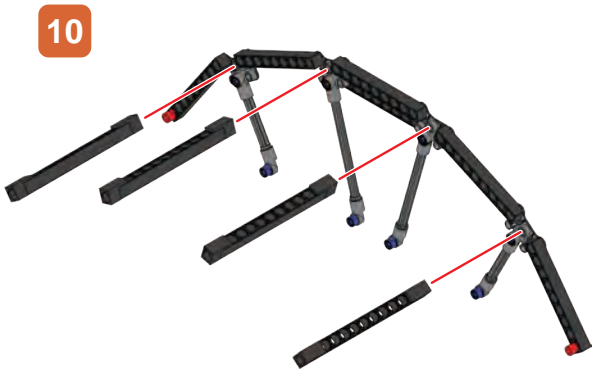


9

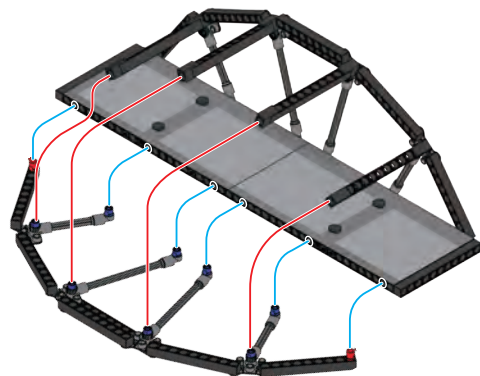
x4



11



10



12



13

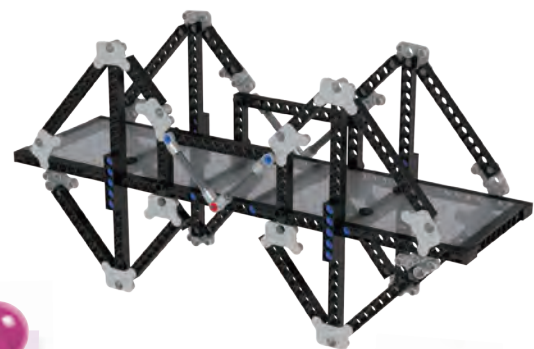
Boog

Wegdek

Spijl

**Klaar!**

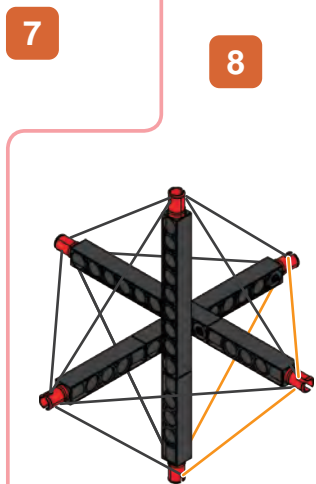
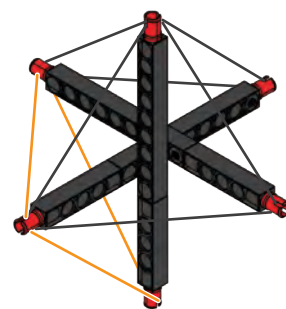
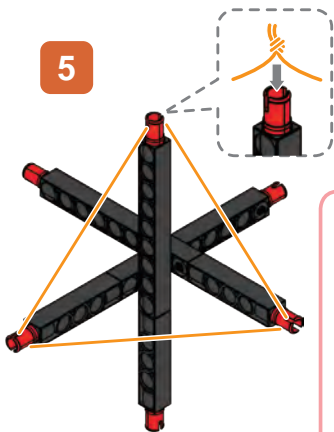
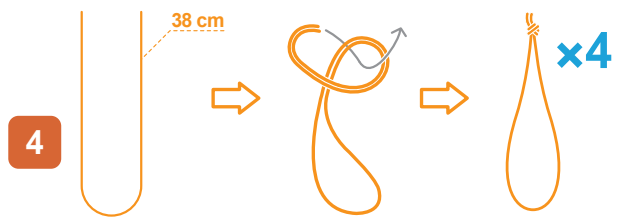
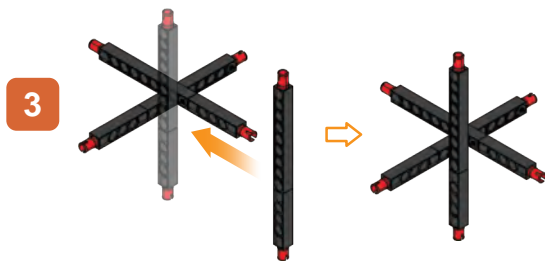
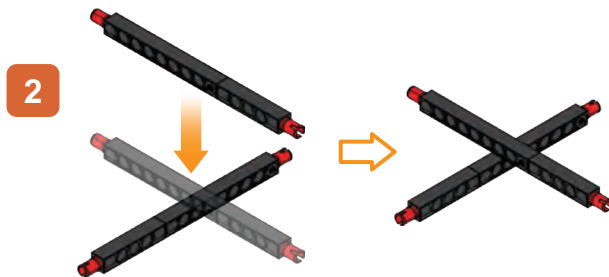
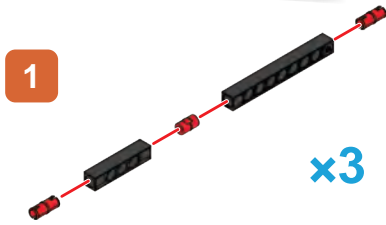
Krachten die de brug naar beneden duwen zorgen ervoor dat de verticale stangen aan de boog trekken. Dit zorgt ervoor dat de boog naar buiten wordt geduwd, net zoals bij de vorige boogbrug. Alleen bij een boogbrug met trekband worden deze bewegingen tegengegaan door de verbinding van de boog aan het dek van de brug, net zoals bij een gespannen boog.



**Bonus experiment**  
Kan je deze  
cantileverbrug bouwen?

In de volgende modellen gaan we onderzoeken hoe spanning werkt bij constructies.

●●● Tensegrity

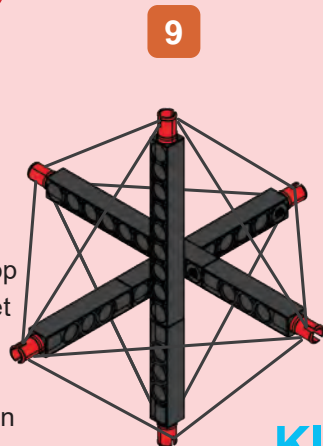


## EXPERIMENT 16

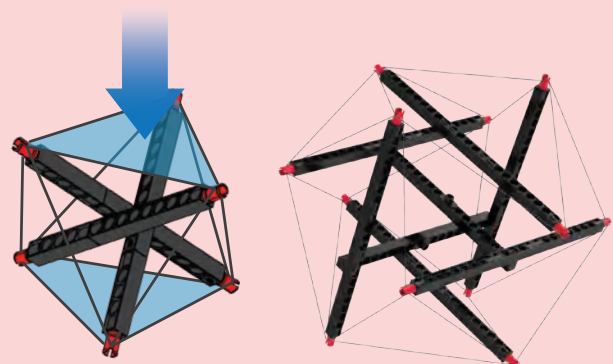
### Spanning en compressie

#### Zo doe je het

Plaats een boek boven op de tensegrity. Zie hoe het model het gewicht kan dragen ondanks dat het bij elkaar wordt gehouden door middel van de draden.



**Klaar!**



**Bonus experiment**  
Probeer een grotere tensegrity te bouwen




Bestuur dit



# Bouwelementen: Kettinglijnen, Kabels, Bogen en Schalen

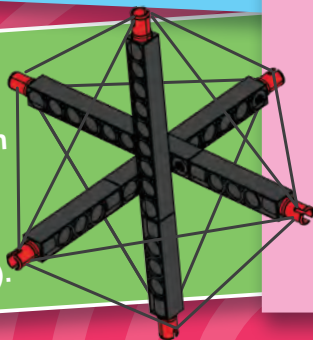
## Kettinglijnen

Houd beide kanten van een touw vast en laat het midden hangen. Bekijk welke vorm het touw aanneemt door haar eigen gewicht. Deze vorm heet een kettinglijn. Touwen, kettingen en kabels nemen deze vorm aan als de zwaartekracht ze naar beneden trekt.



Een touwbrug is een eenvoudige brug die kabels gebruikt. De kabels van een vrij hangende touwbrug volgen de kromme van een kettinglijn.

De tensegrity is een constructie die compressie elementen (in dit geval stangen) bij elkaar houdt door spanning elementen (in dit geval de draad).



## Kabels

Haal de draad door de 5-gat stang. Houd de draad aan beide kanten vast en laat het los hangen. Merk dat je een kleine kracht voelt en dat de draad twee rechte lijnen vormt. **Kettingen, touwen en kabels** kunnen alleen ondersteuning leveren door aan een ander onderdeel te trekken doormiddel van spanning.



De Gateway Boog in St. Louis, Missouri in Amerika is een platte kettinglijn, omdat de boog aan de top steeds smaller wordt.

## Bogen

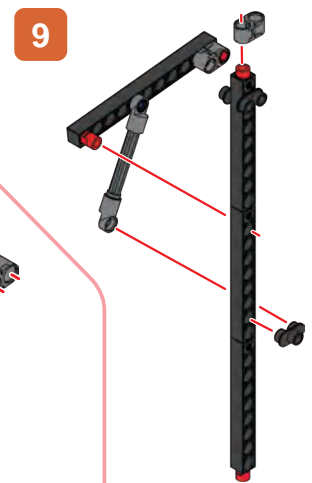
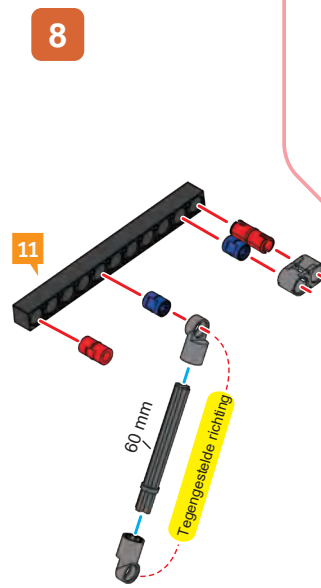
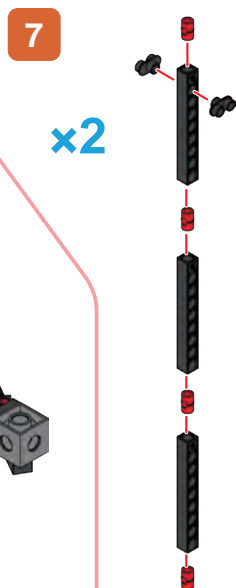
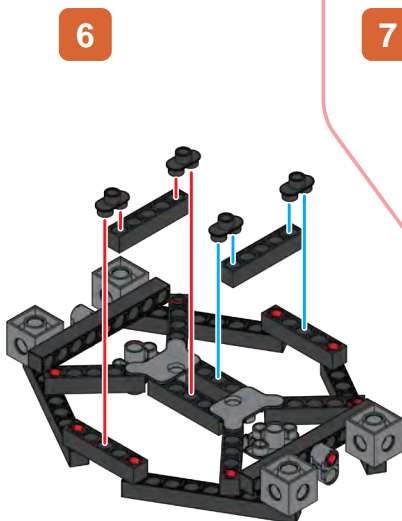
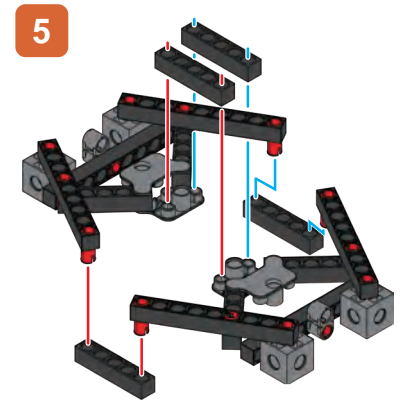
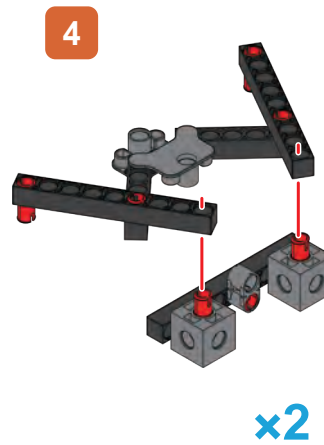
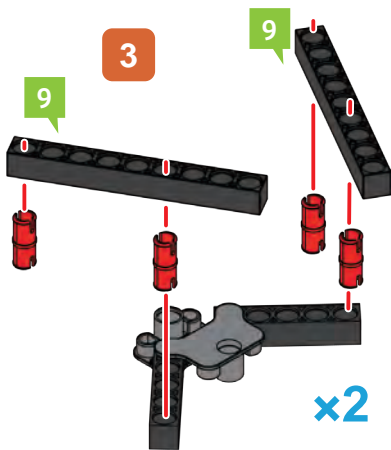
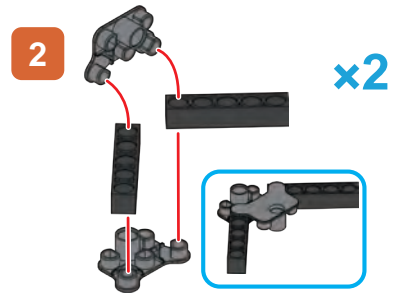
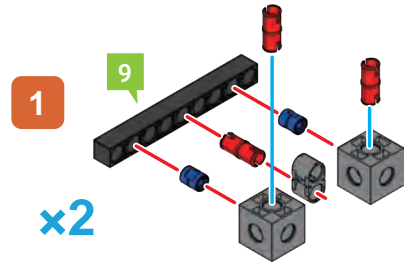
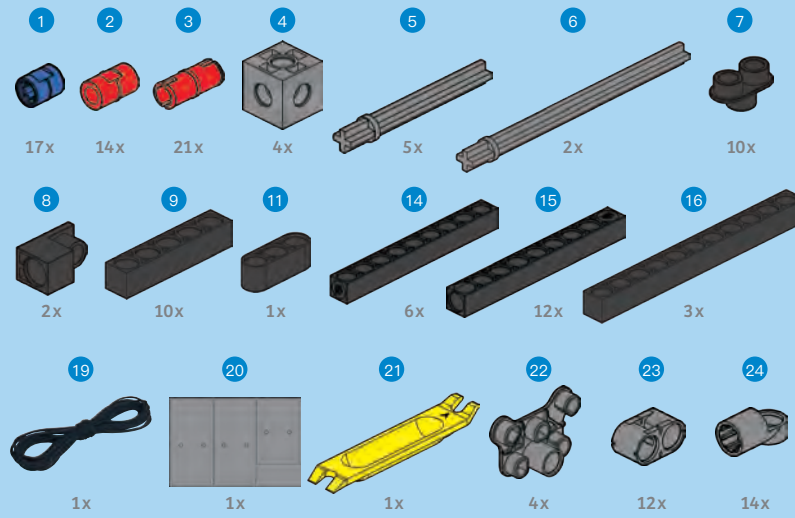
Zoals je hebt geleerd in experiment 15 transformeren **bogen** dekrachten van boven via de onderkant naar buiten. Dit komt door de kromme vorm van de boog.

De optimale vorm van een boog van gelijke dichtheid en dikte, die alleen zijn eigen gewicht moet kunnen dragen, is een kettinglijn die op zijn kop staat. Dit komt omdat deze vorm het meest efficiënt is om de zwaartekracht om te zetten in compressiekrachten die worden overgedragen door de boog naar de grond.

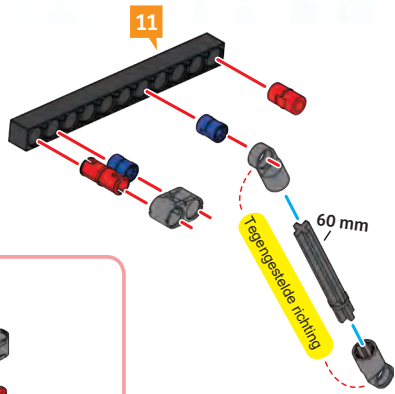
## Schalen

Net zoals bij platen hebben schalen een dikte die relatief dun is ten opzichte van de andere dimensies. Schalen zijn gebogen platen en kunnen spanning en compressie produceren.

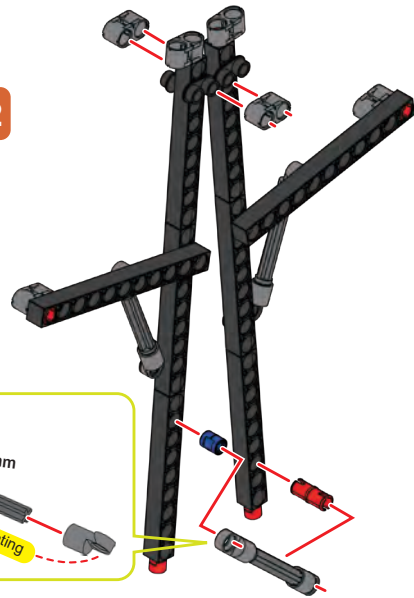
## Benodigde onderdelen



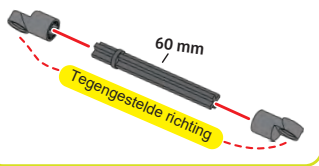
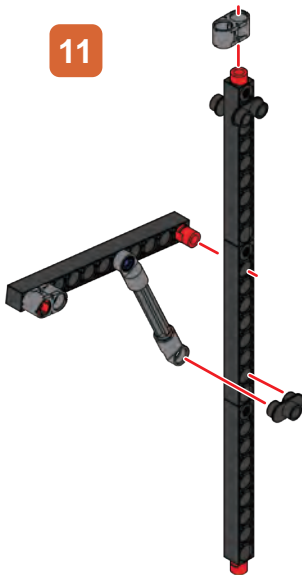
10



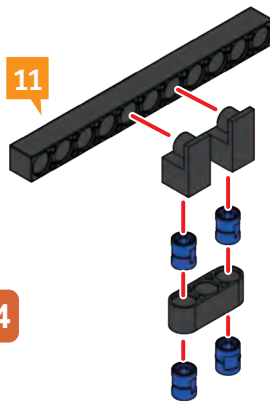
12



11

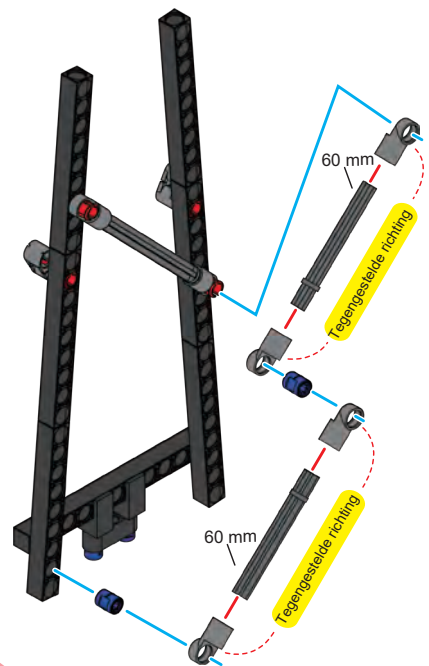


11



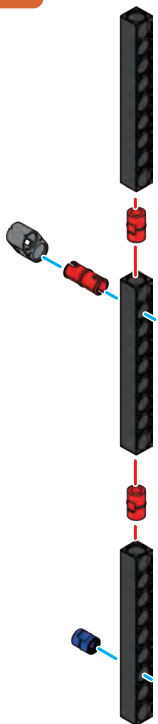
14

16

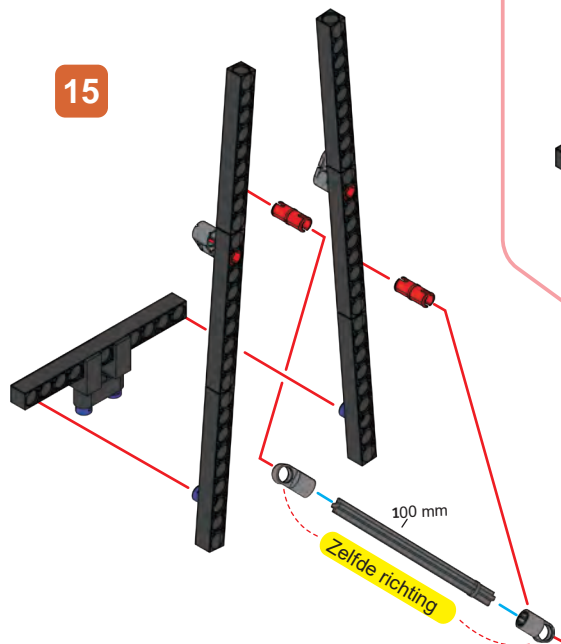


13

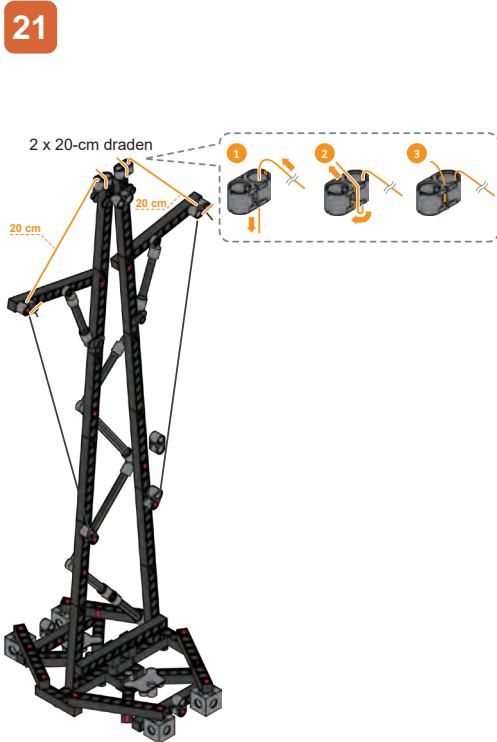
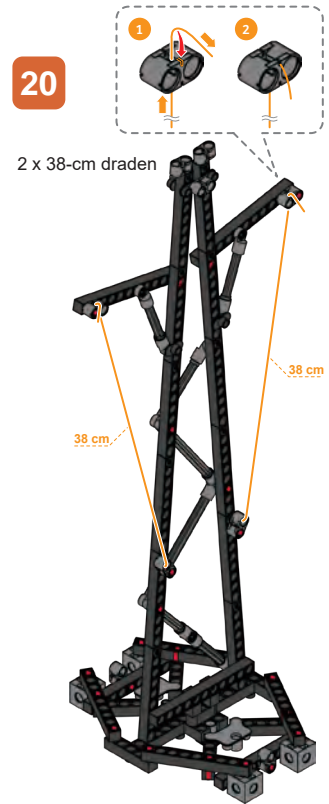
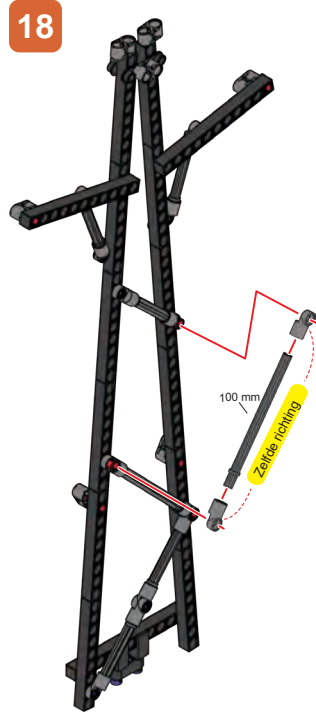
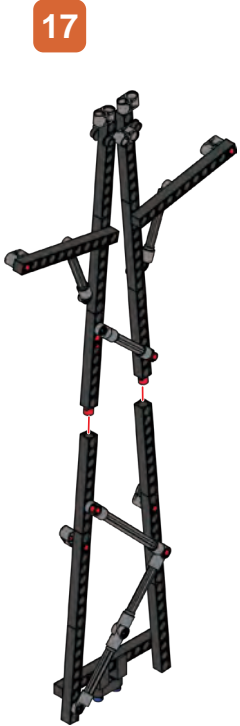
x2



15



Elektriciteitsmast



EXPERIMENT 17

Kabels: deel 1

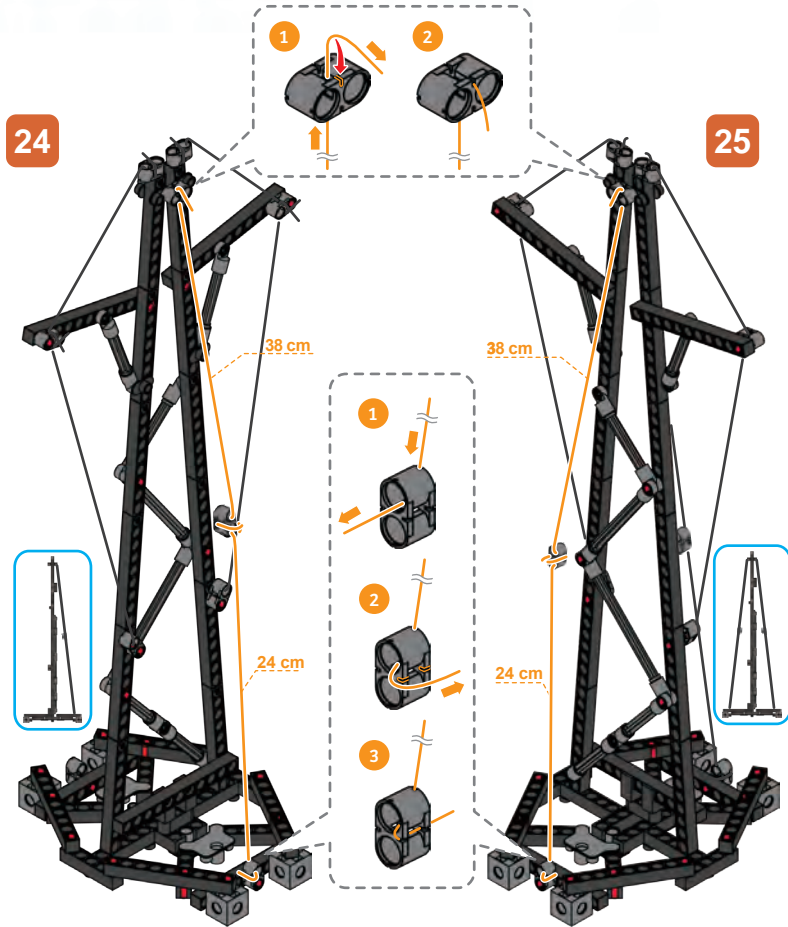
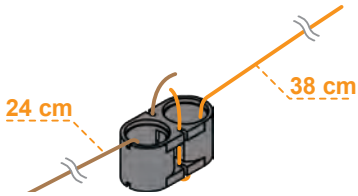
Zo doe je het

Voordat we doorgaan naar de volgende stap moet je eerst dit experiment doen. Houd de onderkant van de mast vast en schuif de mast heen en weer over de tafel. De top van de mast zwaait heen en weer. In welke richting?



23

2 x 24-cm draden  
2 x 38-cm draden



## EXPERIMENT 18

### Cables: Part 2

26

#### Zo doe je het

Schuif de mast weer heen en weer. Nu zal de mast niet heen en weer zwiepen omdat de kabels dit tegenhouden.

**Klaar!**

#### Wat gebeurt er?

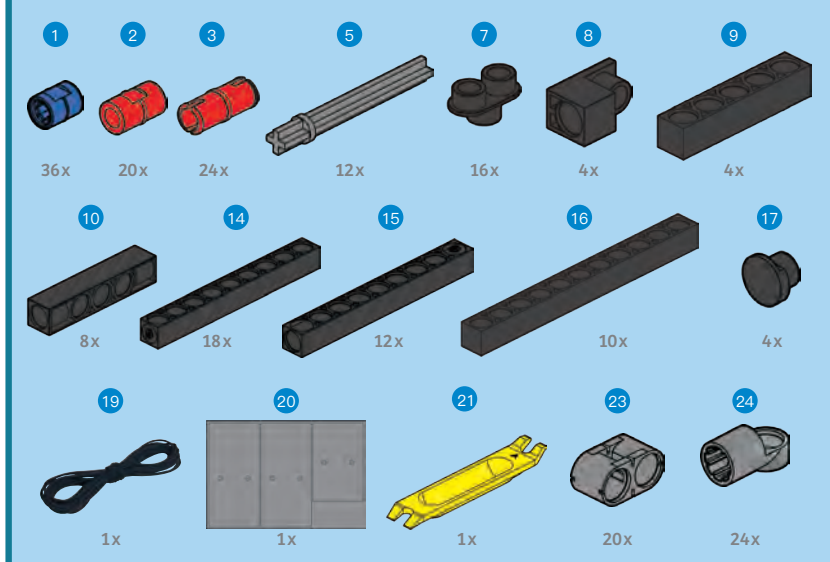
Bij het eerste experiment met de mast waren de verbindingen met de onderkant niet stijf genoeg om het zwiepen tegen te gaan. Bij het tweede experiment trekken de kabels aan beide kanten even hard en staan ze onder spanning. Hierdoor stabiliseert de mast en wordt het zwiepen voorkomen als de toren heen en weer wordt geschoven.

27

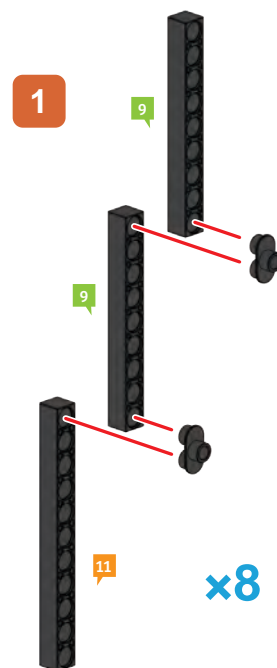
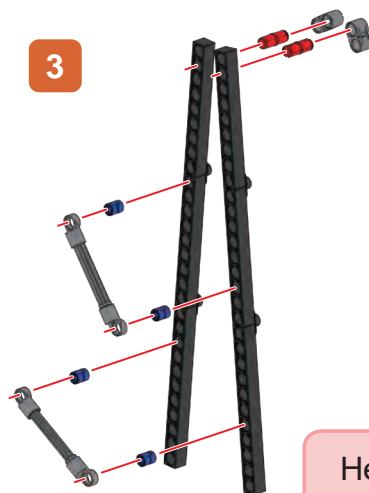
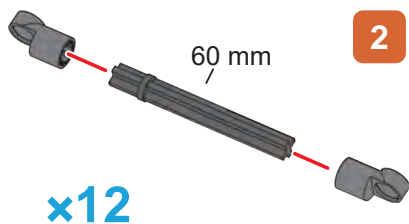
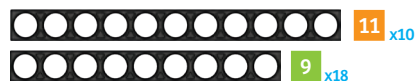


## ●●● Hangbrug

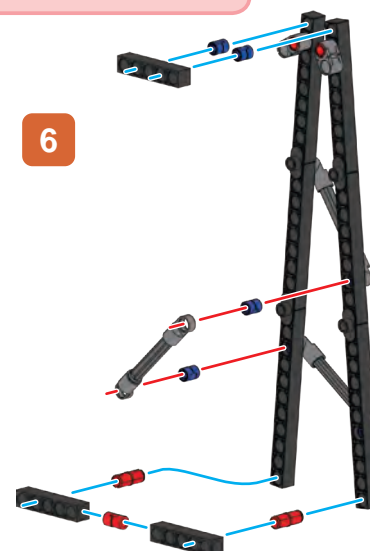
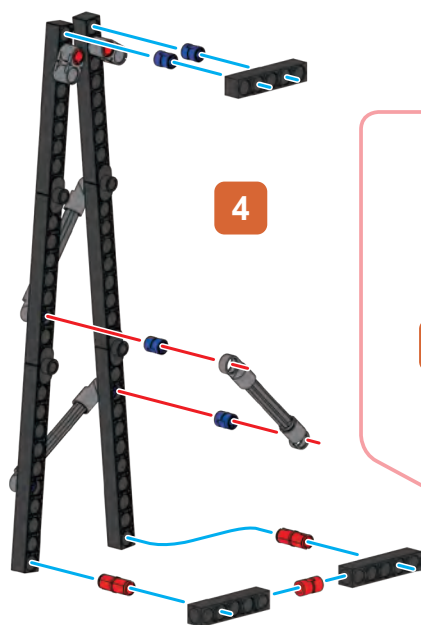
### benodigde onderdelen



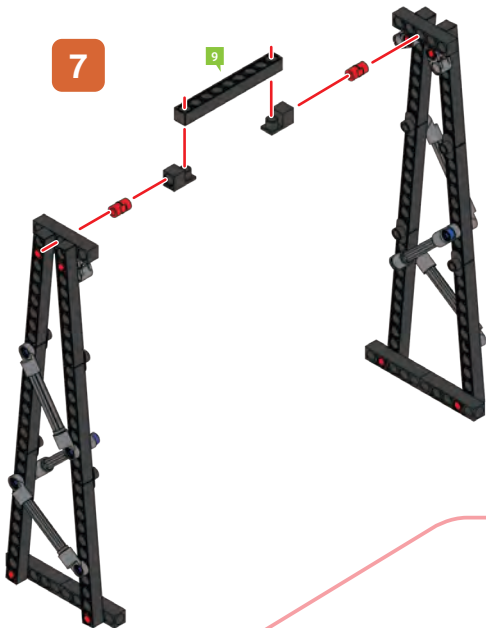
In dit laatste onderdeel gaan we alles wat je hebt geleerd toepassen om twee soorten bruggen te bouwen, die kabels gebruiken om het dek vast te houden.



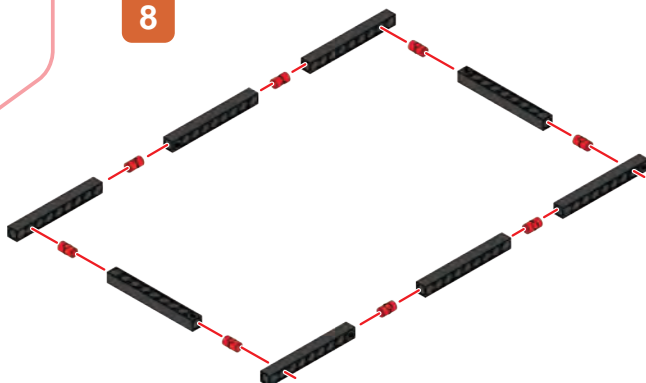
Herhaal stap 3 tot 7 tweemaal



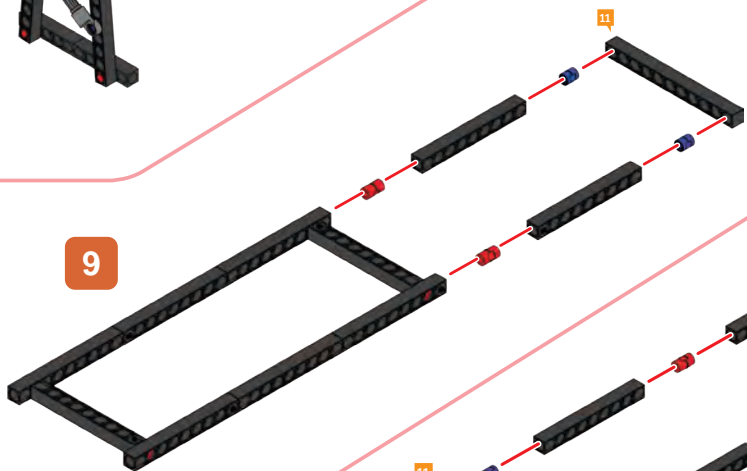
7



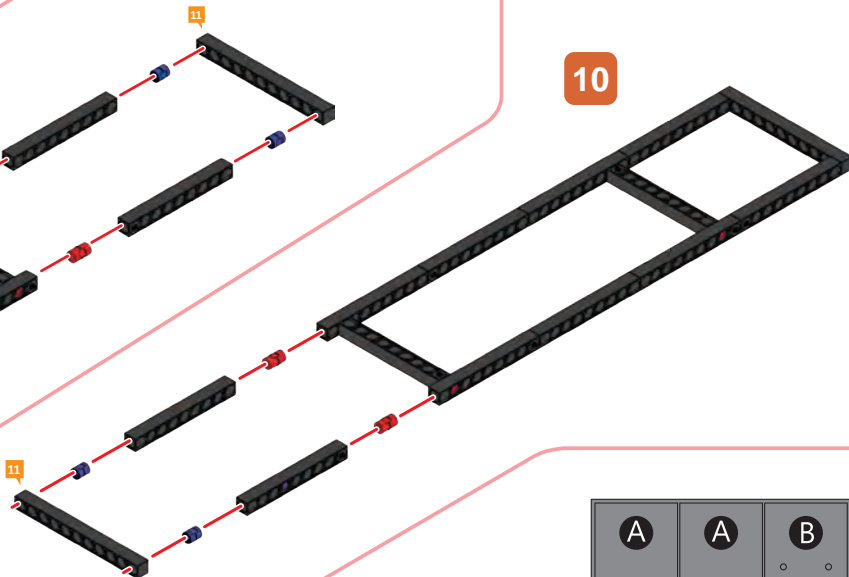
8



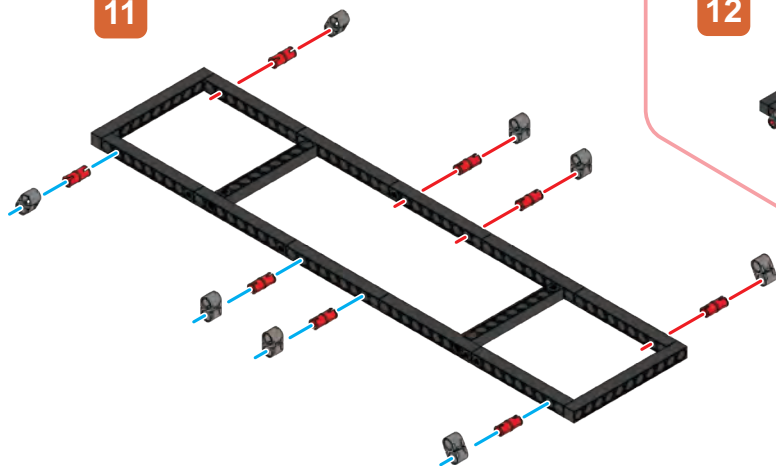
9



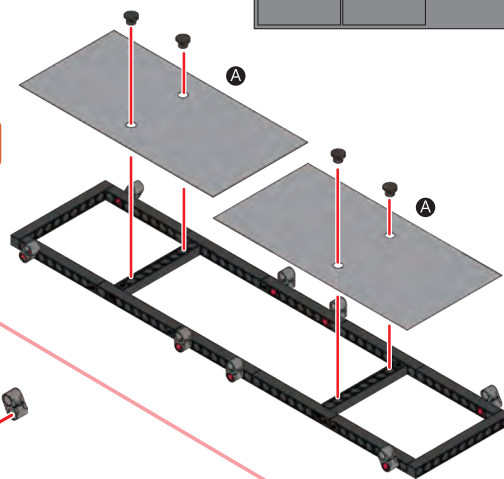
10



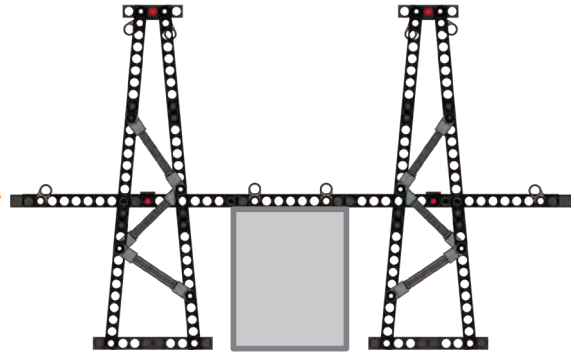
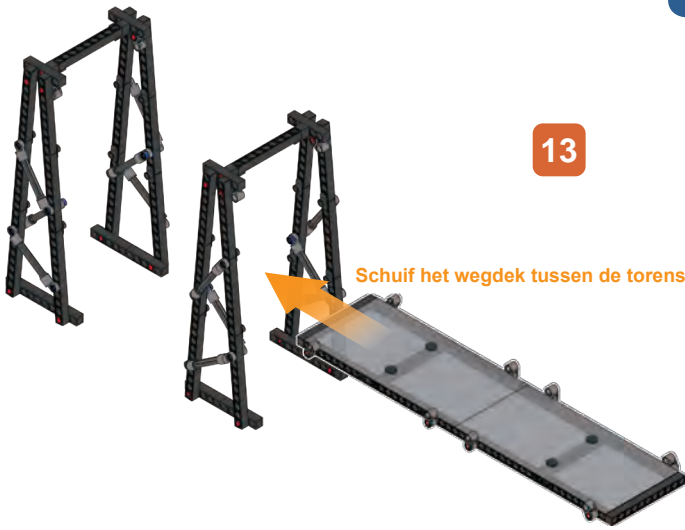
11



12



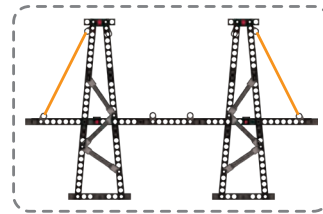
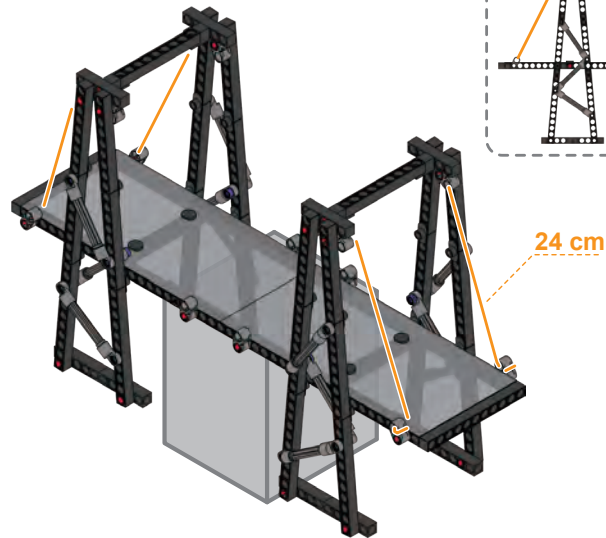
## ●●● Hangbrug



Tip: Vind een voorwerp dat het wegdek op zijn plaats kan houden. Dit maakt het gemakkelijker om de kabels vast te maken.

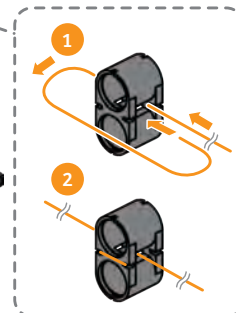
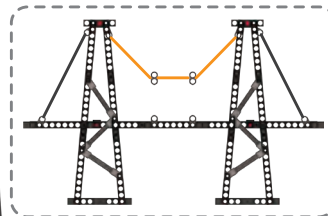
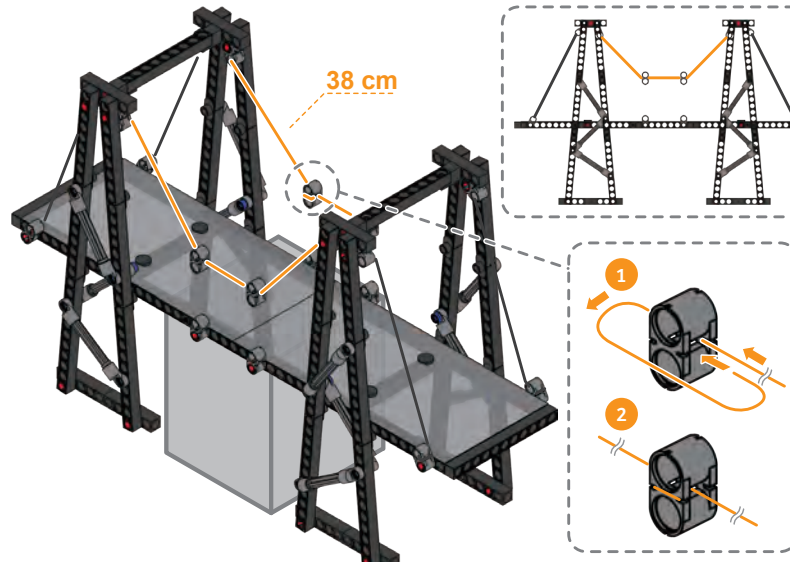
14

Maak vier 24-cm draden vast



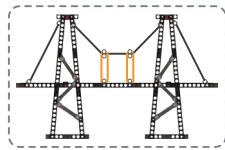
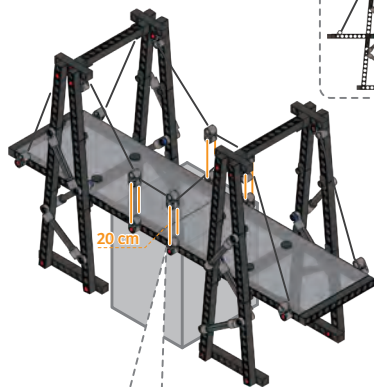
15

Maak twee 38-cm draden vast

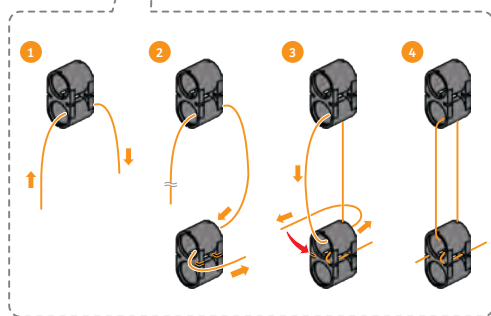




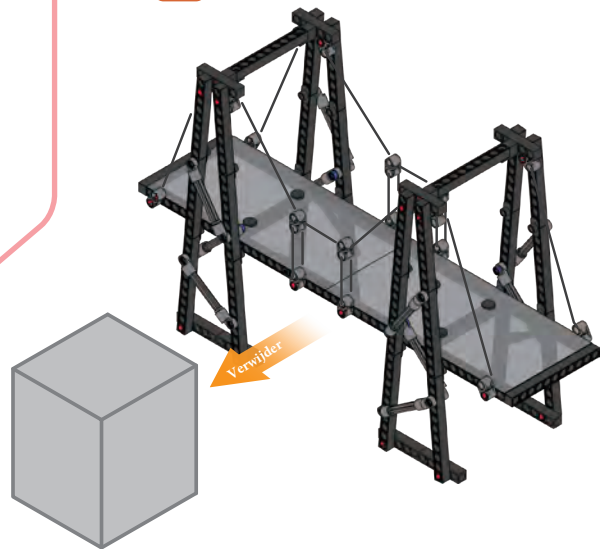
Maak vier 20-cm draden vast



16



17



## EXPERIMENT 19

### Ontwerp uitdaging: Bruggen

#### Zo doe je het

Ontwerp en bouw een brug die een meter kan overspannen, met alleen de materialen uit deze set. De brug moet zo min mogelijk materialen gebruiken en er moet een gewicht van ongeveer een kilo veilig aan kunnen hangen, zonder dat de brug omvalt. Je kan de afstand en het gewicht variëren om de uitdaging moeilijker of makkelijker te maken.



18

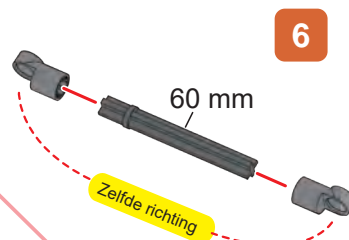
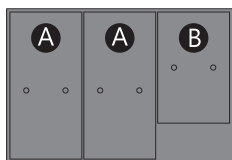
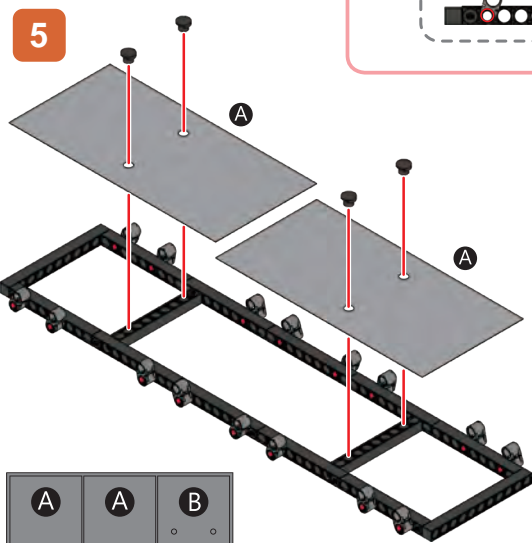
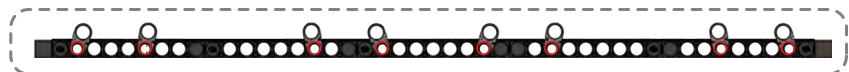
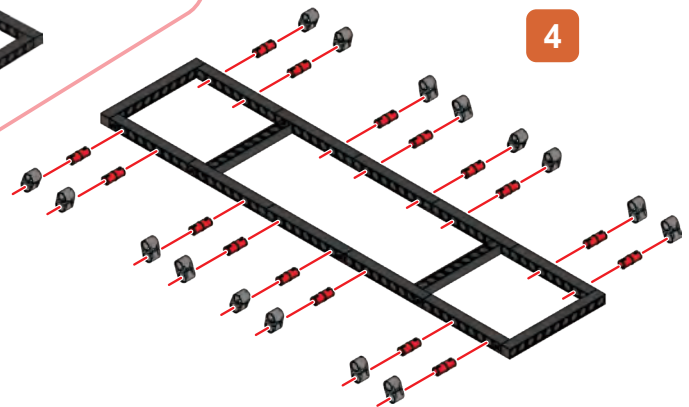
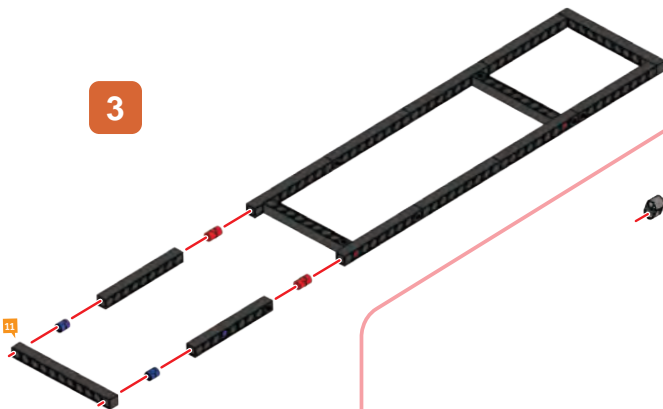
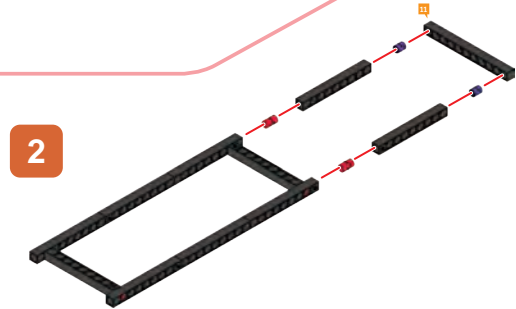
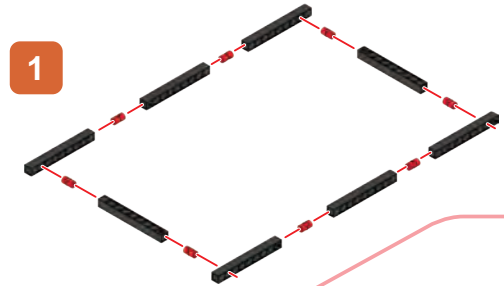
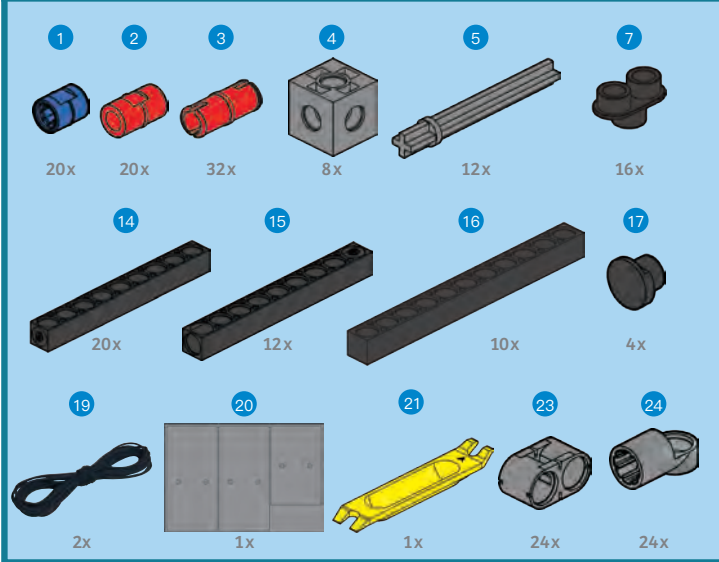


Klaar!

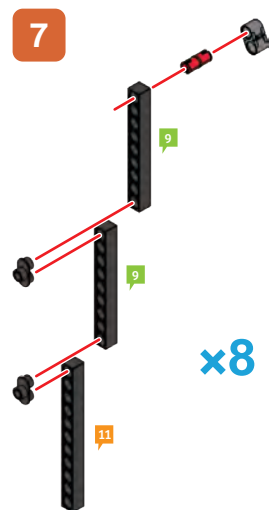
Een hangbrug heeft één voorname kabel tussen de torens met verticale kabels die aan het dek vast zitten. Een hangbrug is beter om grotere afstanden te overbruggen dan een tuikabelbrug.

## Tuikabelbrug

### Benodigde onderdelen

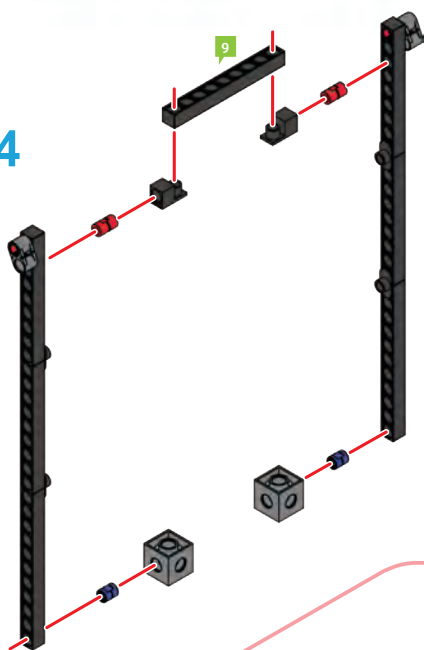


x12



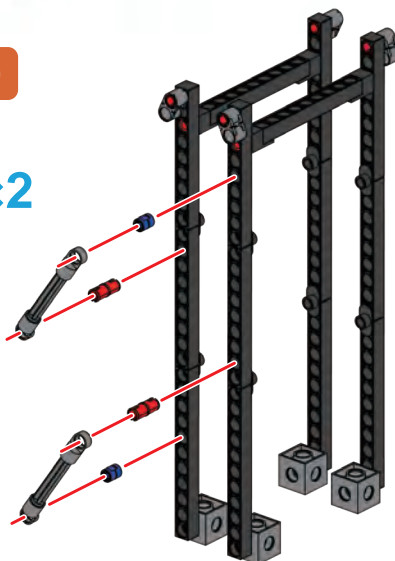
8

x4



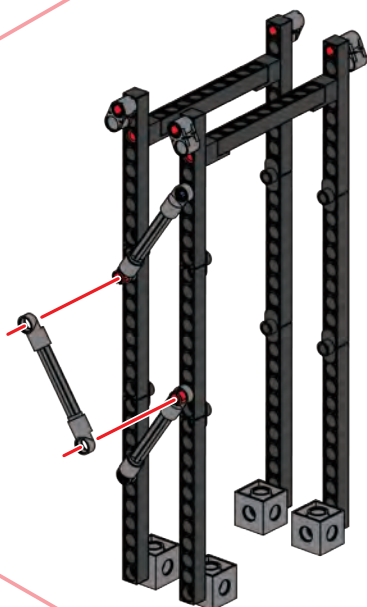
9

x2



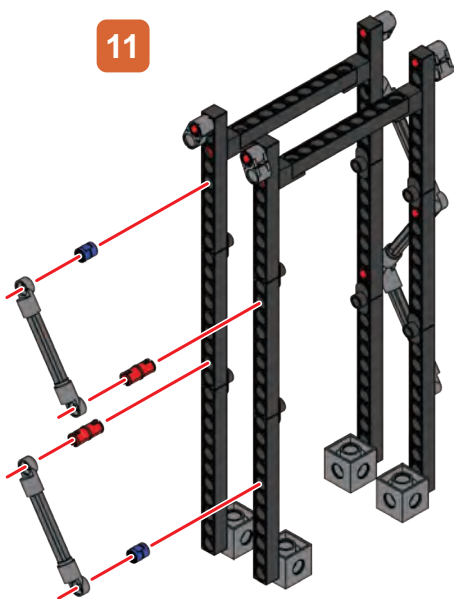
10

x2



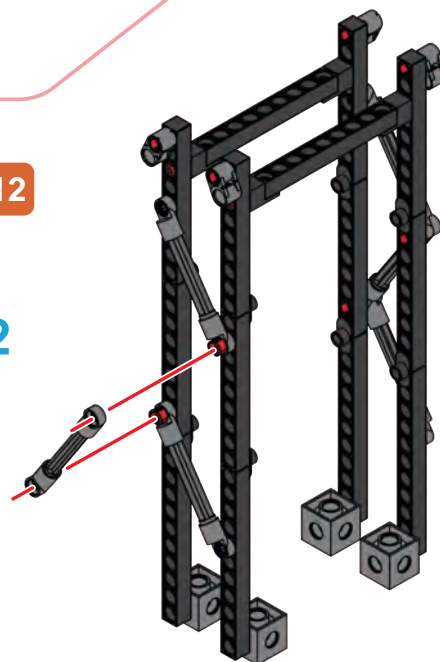
11

x2



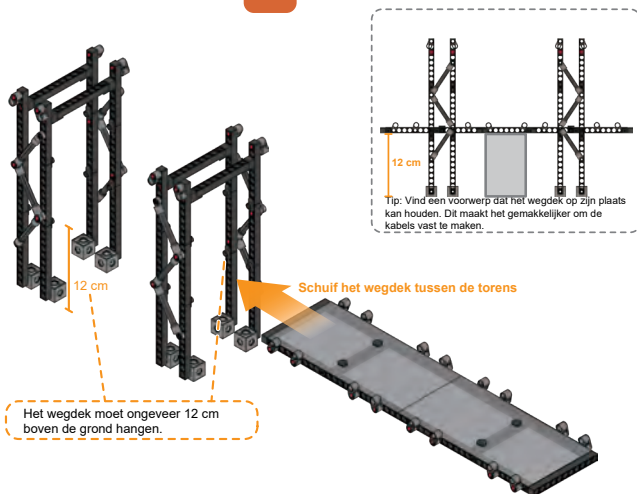
12

x2

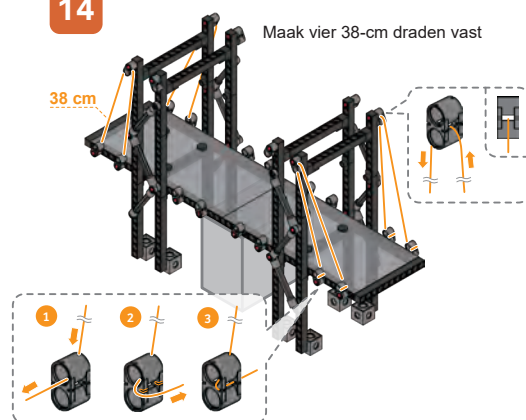


## Tuikabelbrug

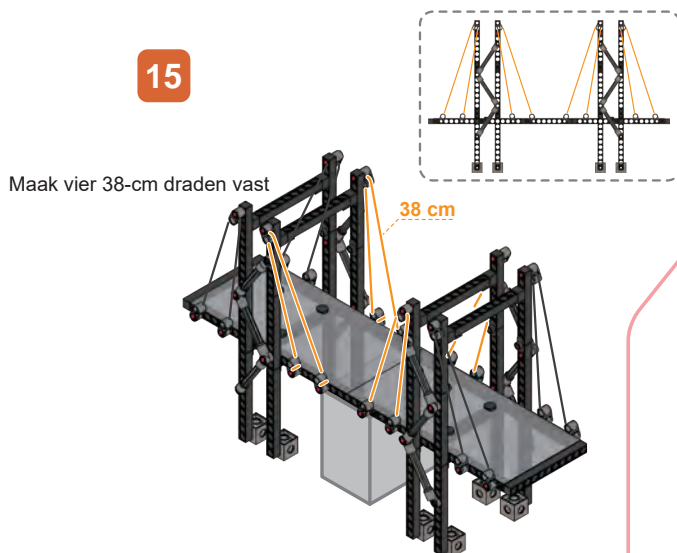
13



14



15



16



### EXPERIMENT 20

## Tuikabelbrug

### Zo doe je het

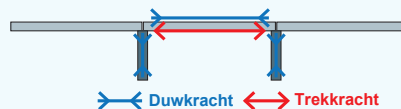
Probeer steeds meer gewicht op de brug te leggen. Waar schiet de brug als eerste te kort? Vallen de torens om en komen de kabels los te hangen? Wat kan je bedenken over de krachten op de verschillende bouwelementen die ervoor zorgen dat de brug niet goed werkt?



Een tuikabelbrug heeft één of meer torens met kabels die van de toren naar het dek lopen. De kabels houden het wegdek van de brug vast.

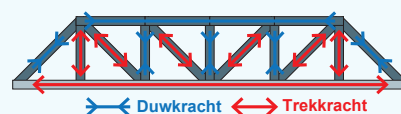
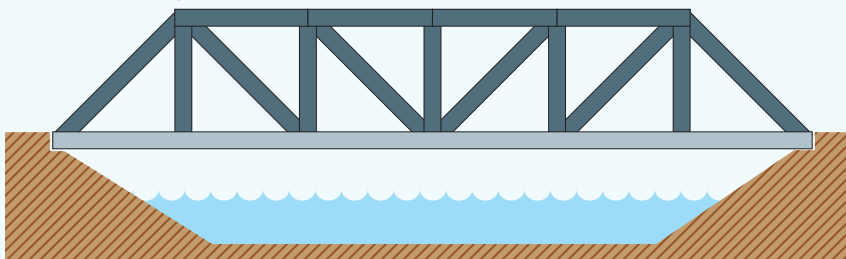
# Soorten bruggen

## Balkbrug



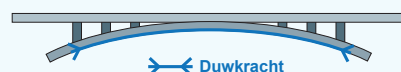
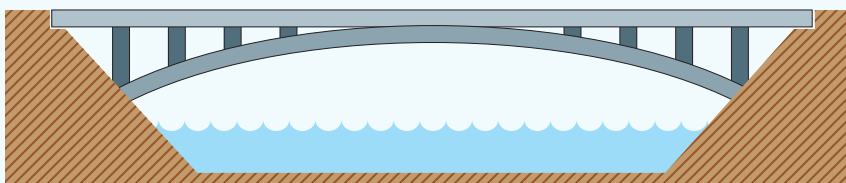
De balkbrug is de meest eenvoudige vorm van een brug. Het kan niet te grote afstanden overbruggen omdat het de krachten niet goed verdeelt over de structurele ondersteuning.

## Vakwerkbrug



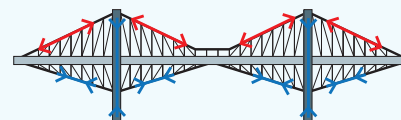
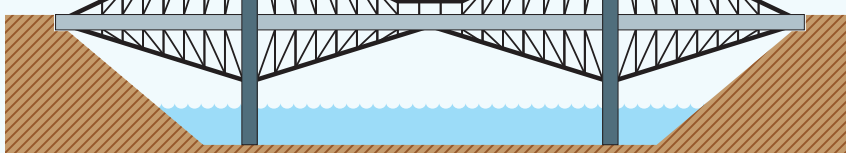
De vakwerkbrug is gemaakt van steunbalken die vast zijn gemaakt in een driehoek om meer sterkte en ondersteuning te geven aan het dek. Het wegdek kan boven of onder de vakwerkliggers liggen.

## Boogbrug



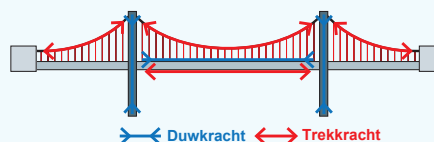
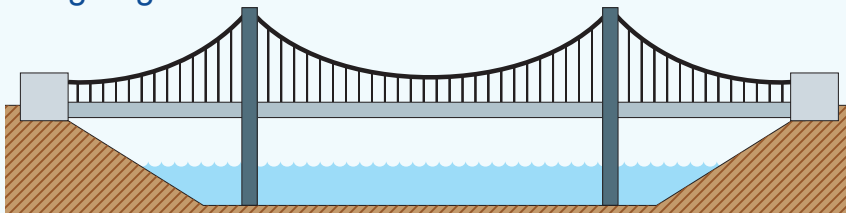
De boogbrug dateert uit het verre verleden, toen ze nog van stenen blokken werden gemaakt. De moderne boogbruggen worden van beton en staal gemaakt. Het wegdek kan onder, middenin of boven de boog worden geplaatst.

## Cantilever brug



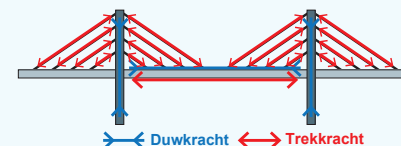
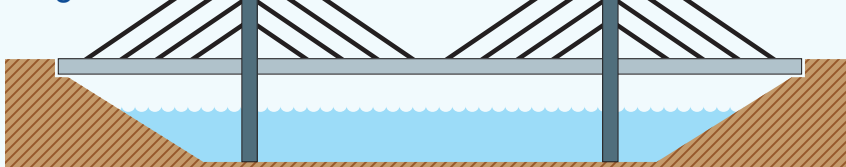
Een cantileverbrug gebruikt cantilevers, dit zijn horizontale constructies die in de lucht steken en maar aan één kant vast zitten. Dit soort bruggen gebruiken vaak vakwerkliggers om de cantilevers te ondersteunen.

## Hangbrug



Het wegdek van de brug hangt met kabels vast. De kabels worden van de toren doorgetrokken en vastgezet in de grond of in grote blokken.

## Tuikabel brug



Net zoals bij een hangbrug wordt het wegdek ondersteund door de kabels. Deze kabels zitten vast aan de torens.

## Wolkenkrabber ontwerp

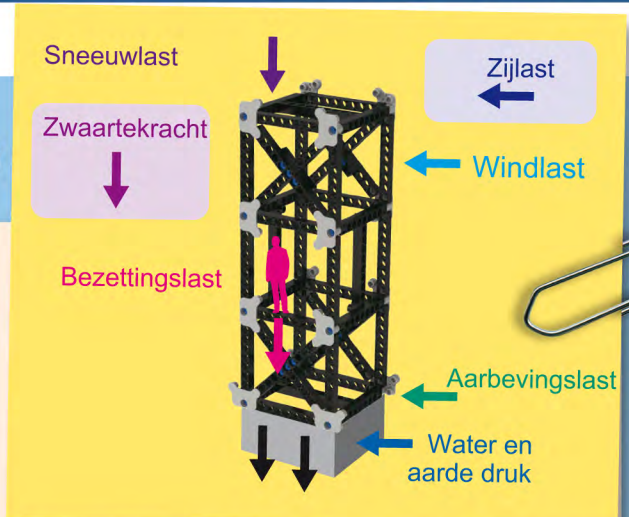
### Lasten die op een gebouw werken.

Gebouwen en wolkenkrabbers moeten verschillende soorten lasten kunnen weerstaan, die het kunnen laten omvallen of instorten. De lasten worden onderverdeeld in twee categorieën: Statische lasten en Variabele lasten.

**Statische lasten** zijn onder andere het gewicht van het gebouw zelf en alle permanente voorwerpen in het gebouw. De zwaartekracht duwt deze lasten naar beneden.

**Variabele lasten** zijn onder andere het gewicht van de mensen, de meubels en andere objecten in het gebouw.

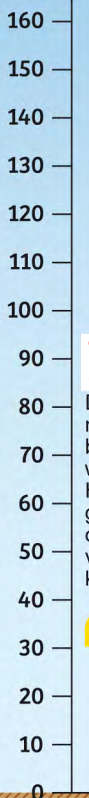
Sneeuwlasten en regenlasten - het gewicht van sneeuw en regen op het dak - zijn ook variabele lasten. Sommige variabele lasten werken zijdelings op het gebouw, in plaats van dat ze het naar beneden duwen. Windlast wordt veroorzaakt door de wind die tegen het gebouw aan duwt. Het grondwater en de aarde rondom de fundering van het gebouw zijn ook zijdelingse lasten. En er moet zelfs rekening gehouden worden met aardbevingen als je een sterk en stabiel gebouw ontwerpt.



### Constructiesystemen van wolkenkrabbers

Dit diagram laat vijf types van constructies zien die gebruikt worden bij wolkenkrabbers en het maximale aantal verdiepingen dat gemaakt kan worden per constructiemethode.

Mogelijk aantal verdiepingen



#### Type 1: Rigide geraamte

Dit is de oudste manier van het bouwen van een wolkenkrabber. Het stalen geraamte kan tot ongeveer 30 verdiepingen komen.

#### Type 2: Geraamte met vakwerkliggers

Door het toevoegen van vakwerkliggers kan de wolkenkrabber verstevigd worden en wel 60 verdiepingen hoog worden

#### Type 3: Buizen-geraamte

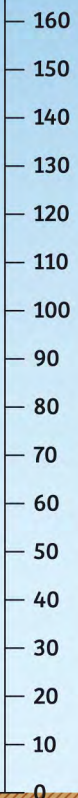
Een nieuwe innovatie bij het bouwen van wolkenkrabbers in de jaren 90 was het gebruik van buizen. Deze kunnen de zijdelingse lasten beter weerstaan, omdat ze opereren als een grote cantilever die uit de grond steekt. De kolommen staan dicht bij elkaar aan de buitenkant van het gebouw.

#### Type 4: Externe buizen-geraamte, gebundelde buizen, verstevigde buizen.

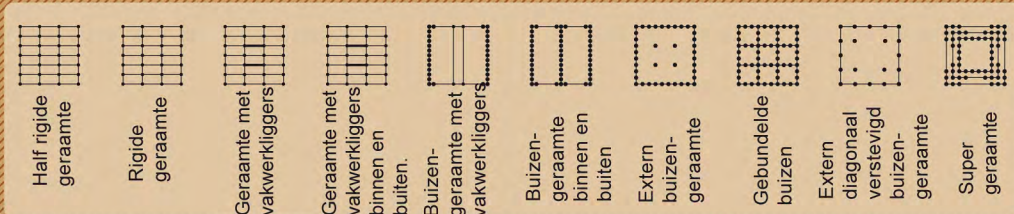
Veel verschillende configuraties van buizen worden nu gebruikt bij het maken van wolkenkrabbers om hogere hoogtes te bereiken, onder andere het bundelen van buizen en het toevoegen van diagonale ondersteuning.

#### Type 5: Super geraamte

In het begin van de jaren 2000 werd het mogelijk om heel hoge gebouwen te bouwen, van wel 160 verdiepingen hoog. Deze super geraamtes hebben verstevigde geraamten in elke hoek en zijn verbonden met horizontale vakwerkliggers van meerdere verdiepingen, per 10 tot 20 verdiepingen.



Boven aanzicht



## Belangrijke informatie

### Veiligheidsvoorschriften

**Waarschuwing!** Niet geschikt voor kinderen onder de 3 jaar.

Kans op verstikking- kleine onderdelen kunnen worden ingeslikt of ingeademd. Wurgingsgevaar- lange draden kunnen om de nek worden gewikkeld.

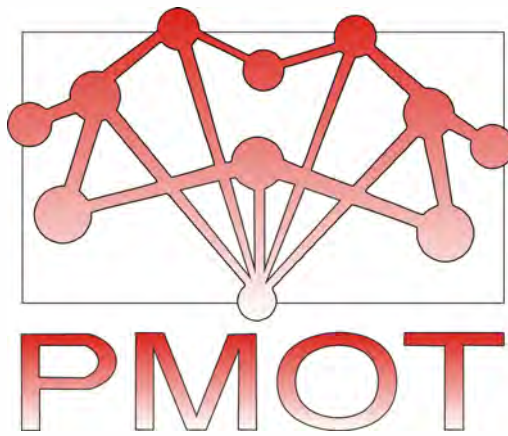
Berg het materiaal op buiten bereik van kleine kinderen.

Bewaar de verpakking en de instructies, deze bevatten belangrijke informatie.

### Beste leerkracht,

Lees de handleiding zorgvuldig samen met uw kind voordat u het experiment start en bespreek de veiligheidsinformatie. Controleer of de modellen juist zijn gemonteerd en help uw kind met de experimenten. Help uw kind met de experimenten, vooral bij de monterediagrammen en bij het vastmaken van bepaalde onderdelen, deze kunnen wat meer kracht en coördinatie vergen dan het kind heeft.

**We hopen dat u en uw kind veel plezier beleeft aan de experimenten!**



Importeur: PMOT  
Torenstraat 13  
9679 BN Scheemda  
Nederland  
Tel: +31 (0)597591596  
Email: [info@pmot.nl](mailto:info@pmot.nl)  
Website: [www.pmot.nl](http://www.pmot.nl)

De rechten voor deze vertaling van de handleiding van Gigo liggen bij PMOT  
Het is niet toegestaan om te kopiëren en te verspreiden zonder toestemming, dan voor eigen gebruik



MADE IN TAIWAN

**GENIUS TOY TAIWAN CO., LTD.**  
**[www.gigotoys.com](http://www.gigotoys.com)**

© 2017 Genius Toy Taiwan Co., Ltd. All rights reserved **R21#7410**