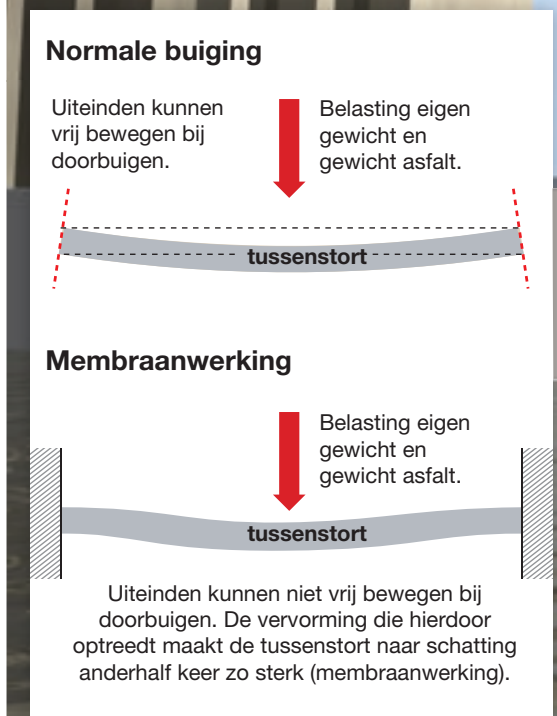
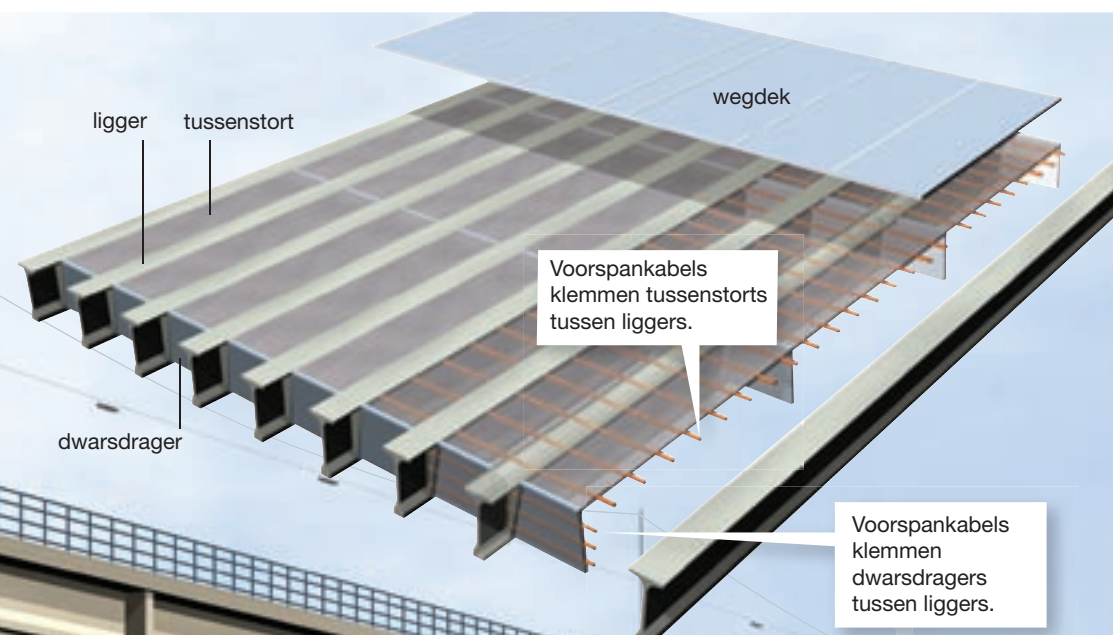
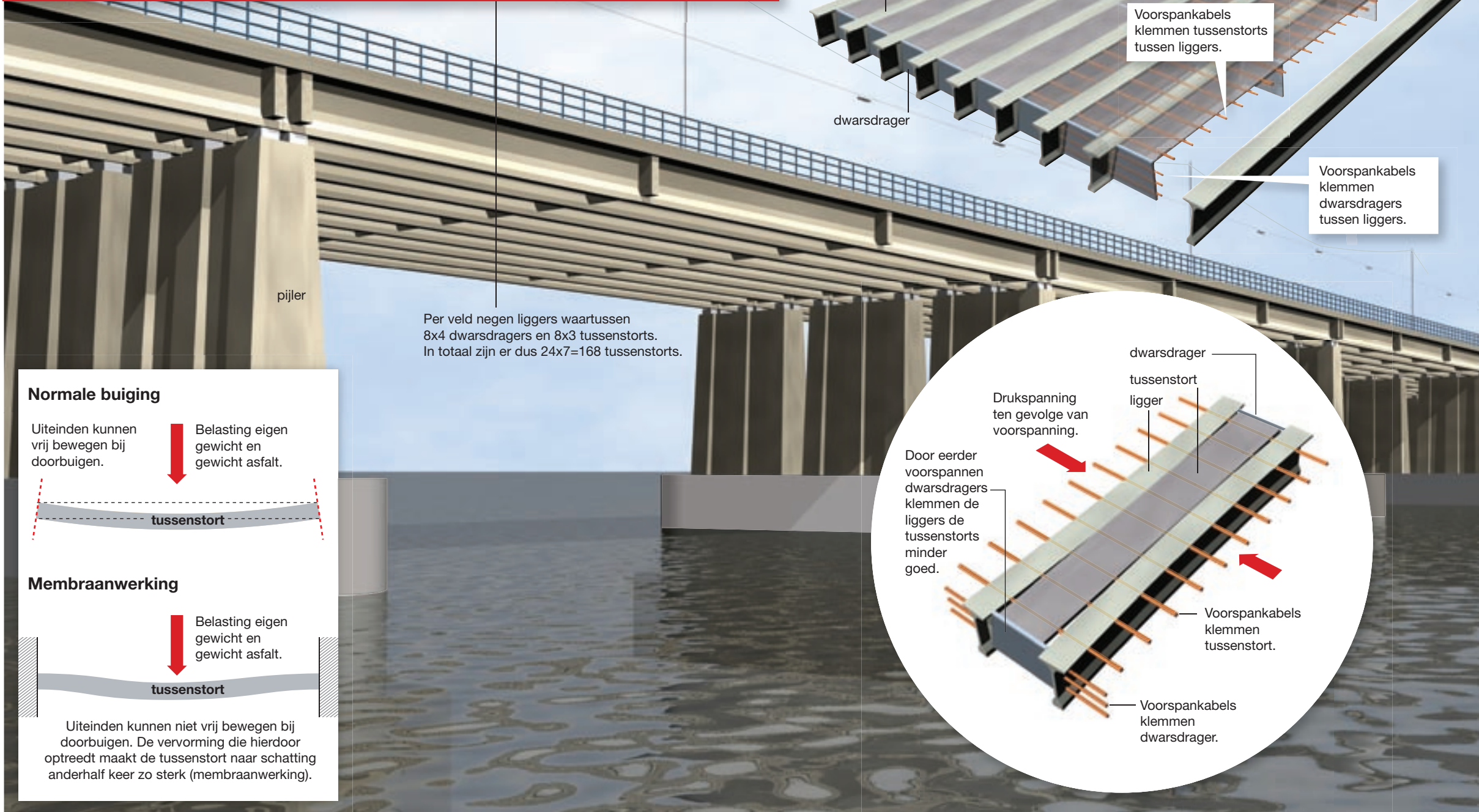
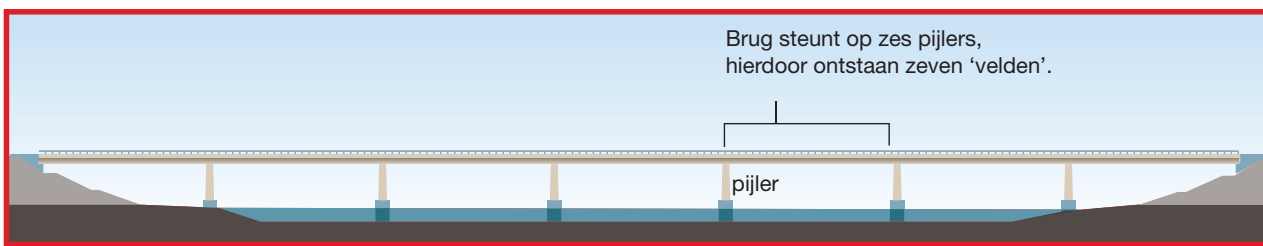
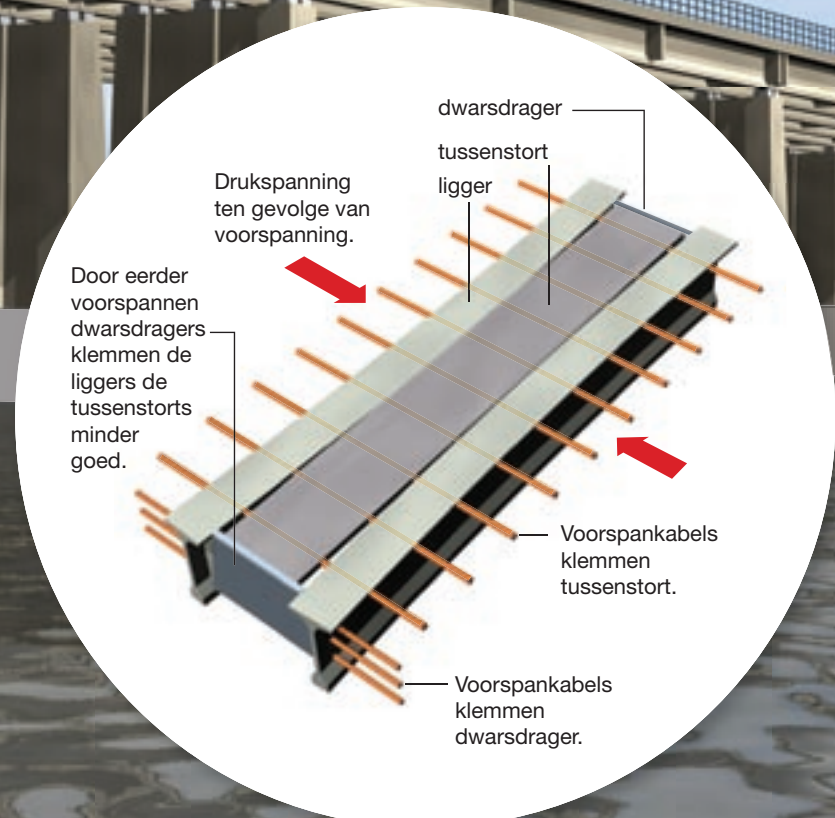




De aansluitingen tussen de tussenstorts en de liggers vormen de zwakke plek van de Hollandse Brug.



Per veld negen liggers waartussen 8x4 dwarsdragers en 8x3 tussenstorts. In totaal zijn er dus 24x7=168 tussenstorts.



len', laat hij weten. 'Dat illustreert voldoende dat de brug zwak is.' Zijn collega Pim van Schaijk, projectmanager van de renovaties aan de Hollandse Brug, voegt toe: 'Dit gebeurde zo'n acht jaar geleden tijdens werkzaamheden toen een zogenoemde sloopnaald dwars door het brugdek ging. Het meest zorgwekkend was dat er niet eerst scheurtjes ontstonden. Het is niet normaal dat een brugdek breekt zonder zichtbare waarschuwingen vooraf.'

**INGECALCULEERD**  
De vraag is in hoeverre de conclusies van Rijkswaterstaat die hebben geleid tot de afsluiting van de Hollandse Brug, terecht zijn. Dr.ir. Cor van der Veen, universitair hoofddocent Betonconstructies aan de TU Delft, is bekend met de ongebruikelijke constructie van de brug. Hij is het met Schaafsma eens dat door die constructie 15 % van de voorspanning ongewenst in de dwarsdragers verdwijnt. Echter de tijdgerelateerde verliezen door krimp, kruip en spanningsrelaxatie, evenals het verlies door wigzetting zijn volgens hem gewoon ingecalculleerd: de kabels door de tussenstorts hadden een aanvangsvoorspankracht van 120 %. 'Na verloop van tijd komt de voorspanning vanzelf uit op de gewenste 100 %', stelt hij. De tijdgerelateerde verliezen kunnen de uitkomst van de meetresultaten dus niet verklaren.  
De voorspanningsverliezen door wrijving schat Van der Veen op maximaal 10 %. 'De werkelijke waarde is sterk afhankelijk van de manier waarop de kabels zijn aangetrokken.

Het verlies is het grootst als slechts vanaf één zijde is gespannen. Als het vanaf twee kanten is gebeurd, dan is de afname minimaal.' Volgens ing. Makoza Zulu, een externe constructeur die sinds enige jaren is ingehuurd door Rijkswaterstaat, speelt de wrijving slechts een beperkte rol. 'De buizen in het beton waar de kabels doorheen lopen, staan onder een uitgekende hellingshoek. Daardoor ontstaan geen knikken als gevolg van het trapsgewijs verloop van de liggers. Het dek heeft wel een licht dakprofiel, wat zorgt voor een beetje wrijvingsverlies.' Dit bedraagt volgens eerdere berekeningen echter slechts 4 %.  
Van der Veen denkt verder dat de metingen

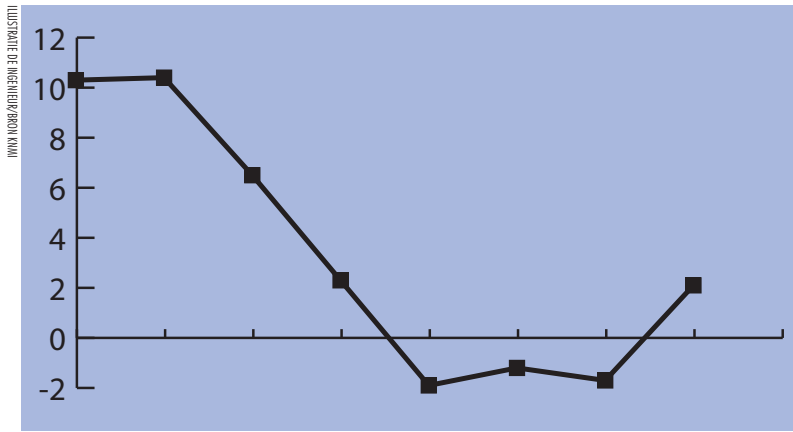
van TNO een deel van de voorspanning niet laten zien, omdat het in de wapening van de tussenstort is verdwenen. 'Deze voorspanning is wel aanwezig, maar onzichtbaar in de resultaten omdat de meetmethode van TNO alleen de drukspanning in het beton bepaalt.' De grootte van dit deel van de voorspanning is afhankelijk van de hoeveelheid wapening. Uit de tekeningen van de Hollandse Brug blijkt dat de wapening in de tussenstort in dwarsrichting uit staven van ongeveer 8 mm bestaat die aan de boven- en onderzijde om de 250 mm in het beton zitten. Volgens Van der Veen verklaart deze wapening zo'n 10 % van het voorspanningsverlies.

Bij navraag beaamt Schaafsma dat de tijdgerelateerde verliezen en de wigzetting zijn ingecalculleerd bij het construeren, en deze zodoende geen verklaring vormen voor de te laag bevonden voorspanning. Ook geeft hij toe dat de meetmethode van TNO een deel van de voorspanning niet kan registreren omdat deze in de wapening zit.  
**TEMPERATUUR**  
Van het vermeende voorspanningsverlies van 50 % is dus 29 % te verklaren: 15 % verdwijnt in de dwarsdragers, 10 % is niet gemeten omdat het in de wapening zit, en 4 % is te wijten aan wrijving. Tijdgerelateerde ver-

liezen en wigzetting vormen geen verklaring voor de overige 21 %, maar volgens Van der Veen is dat percentage wel te herleiden tot onnauwkeurigheden in de meting van TNO en in de berekeningen die Rijkswaterstaat met de resultaten heeft uitgevoerd.  
'De temperatuur in het beton kan bijvoorbeeld een grote rol spelen', zegt Van der Veen. 'Als die in de week voor de metingen sterk aan het dalen of stijgen is, kunnen door nabijligging sterke temperatuurverschillen ontstaan tussen de betondelen. Het is aannemelijk dat het wegdek van de Hollandse Brug, bestaande uit de tussenstorts en het asfalt, zich aanzienlijk sneller aan de nieuwe temperatuur aan-

past dan de liggers en de dwarsdragers. Bij een stijgende temperatuur wordt dan een te hoge drukspanning in de tussenstorts gemeten, bij een dalende temperatuur een te lage. Alleen door tijdens de proefnemingen temperatuurmetingen in het beton van de verschillende constructiedelen te doen, is het mogelijk deze onnauwkeurigheid achteraf te verrekenen.' Volgens Van der Veen kunnen de afwijkingen door temperatureffecten in theorie oplopen tot wel 25 %.  
Een ander cruciaal punt bij het bepalen van de drukspanning die optreedt als gevolg van de voorspanning, is de berekening die is uitgevoerd met de meetresultaten van TNO. Door het eigen gewicht en het gewicht van het asfalt buigen de tussenstorts iets door, wat een trekspanning aan de bolle kant en een drukspanning aan de holle kant van de betonbalk veroorzaakt. 'TNO heeft de drukspanning gemeten aan het onderoppervlak', zegt Van der Veen. 'Daar is de trekspanning als gevolg van doorbuiging maximaal, waardoor de gemeten betonspanning lager is. Bij een meting aan het bovenoppervlak zou juist een hogere spanning worden gemeten. Het gaat zodoende om de gemiddelde spanning, die Rijkswaterstaat, als het goed is, heeft uitgerekend.'  
Verder mag het asfalt in de berekening uitsluitend als belasting voorkomen, omdat dit materiaal zijn eigen gewicht niet kan dragen. De waarde die voor de dikte van deze laag is aangenomen, speelt dus ook een belangrijke rol. 'Voor een nauwkeurige berekening is het noodzakelijk om de dikte van het asfalt op de plaats van de metingen te bepalen', geeft Van der Veen aan. 'De hoogteverschillen door de trapsgewijze verspringing en bolling van de

*'Er bestaat gerede twijfel over de nauwkeurigheid van de metingen en de berekeningen'*



De gemiddelde dagtemperaturen van 19 tot en met 26 januari 2007 in graden Celsius, zoals gemeten in De Bilt.

FACTOR	RIJKSWATERSTAAT	CONTRA
dwarsdragers	15 % verlies voorspanning	15 % verlies voorspanning
krimp en spanningsrelaxatie	15 % verlies voorspanning	ingecalculeerd
wigzetting	5 % verlies voorspanning	ingecalculeerd
wrijving	max. 15 % verlies voorspanning	4 % verlies voorspanning
wapening	weinig verlies voorspanning	10 % verlies voorspanning
meetonnauwkeurigheid	–	20-30 % gemeten waarde
onnauwkeurigheid door weer	verwaarloosbaar	tot 25 % gemeten waarde
membraanspanning	verwaarloosbaar	geschat op een factor 1,5
incident sloopnaald	indicatie brug zwak	niet beschouwen als indicatie

Een overzicht van de belangrijkste factoren in de discussie over de conditie van de Hollandse Brug.

liggers zijn opgevuld met asfalt. Hierdoor zijn grote verschillen in asfaltdikte te verwachten.’

Het rapport van TNO maakt geen melding van temperatuurmetingen in het beton van de liggers, dwarsdragers of de tussenstorts. In geen van de berekeningen van Rijkswaterstaat is het effect van verhinderde betonvormingen door temperatuureffecten meegenomen. Via het KNMI is echter gemakkelijk te achterhalen dat het in de loop van de week voor de metingen op 25 en 26 januari kouder werd, en dat het tijdens de metingen voor een deel van de tijd vroom. Sterker nog, rond de dagen van de metingen zijn de laagste temperaturen van dit jaar gemeten: -4 en -5 °C. Het is dus goed mogelijk dat de tussenstorts tijdens de metingen al verder afgekoeld waren dan de dwarsdragers en liggers. Dit resulteert volgens Van der Veen in het meten van een te lage betonspanning. Navraag bij TNO over de metingen levert weinig op. ‘Wij hebben alleen de spanningen aan de oppervlakte gemeten’, zegt ir. Gerrie Dieteren van afdeling Civiele Infrastructuur van TNO. ‘De rest moet Rijkswaterstaat in de verwerking van de meetresultaten meenemen.’

Voor de berekening van de werkelijke betonspanning is Rijkswaterstaat uitgegaan van een asfaltdikte van 12 cm. Deze inschatting is gebaseerd op metingen uit 2004. In een eerder gesprek gaf Schaafsma echter aan dat de dikte varieerde tussen 15 en 35 cm. Het blijkt dat het asfalt dit jaar, na het onderzoek van TNO, wel opnieuw is gemeten. ‘De resultaten zijn nog niet verwerkt’, geeft constructeur Zulu aan, ‘maar de resultaten variëren tussen 89 en 145 mm.’ De locaties van deze metingen zijn volgens hem echter nog niet duidelijk en niet gebonden aan de plaatsen van de TNO-metingen.

Beide onzekerheden waren gemakkelijk te ondervangen geweest door de asfaltdikte en de temperatuur in het beton te meten. ‘Er bestaat nu in elk geval gerede twijfel over de nauwkeurigheid van de berekeningen en de metingen’, vindt Van der Veen. Dat de metingen onnauw-

keurig zijn, heeft TNO overigens vooraf aan Rijkswaterstaat laten weten. ‘Een te verwachten gemeten rek van 66 à 100 µm per meter met een meetnauwkeurigheid van ongeveer 10 µm per meter resulteert in een vrij onnauwkeurige meting’, aldus het door TNO opgestelde rapport. Van der Veen voegt daar aan toe: ‘Omdat de werkelijk gemeten rek in dwarsrichting in vier van de vijf metingen veel lager was dan de verwacht 66 à 100 µm, loopt de meetonnauwkeurigheid op tot 20 à 30 % van de gemeten waarde.’

#### FATAAL

Uiteindelijk blijkt dat van de 50 % volgens Rijkswaterstaat verdwenen voorspanning 15 % onbedoeld in de dwarsdragers is terechtgekomen. Dit is echter vanaf het begin al zo geweest. Hetzelfde geldt voor het door wrijving veroorzaakte verlies van 4 %. Als het ontbreken van deze 19 % voorspanning al fatale gevolgen zou hebben, had de brug nooit mogen worden geopend. Na aftrek van de 10 % voorspanning in de wapening die niet is gemeten,

blijft een afname van 21 % over. Die is goed te verklaren aan de hand van de meetonnauwkeurigheden en temperatuurinvloeden. Al met al had Rijkswaterstaat uitbreider naar de metingen en de berekeningen moeten kijken voordat de Hollandse Brug dichtging voor vrachtverkeer. ‘Bepaling van de grootte van de dwarsvoorspanning bij de aansluitingen tussen de tussenstorts en de liggers was voor dat besluit cruciaal’, stelt Van der Veen. Overigens is het opmerkelijk dat, als Rijkswaterstaat de schade met de sloopnaald werkelijk serieus neemt, de brug niet reeds acht jaar geleden is afgesloten. Volgens Van der Veen zegt

**‘Membraanwerking kan een betonbalk tot een factor acht versterken’**

het incident met de sloopnaald echter weinig. ‘Die machine is gemaakt om te slopen en heeft zijn werk goed gedaan’, stelt hij eenvoudig.

Daar komt bij dat een verborgen draagkracht in de constructie mogelijk een grote rol speelt: de membraanwerking. Deze werking zorgt voor verborgen sterkte in een betonbalk die aan weerszijden is ingeklemd en daardoor in horizontale richting niet kan vervormen, zoals juist bij de ongebruikelijke constructie van de Hollandse Brug het geval is. ‘Membraanwerking kan een betonbalk tot een factor acht versterken’, geeft Van der Veen aan. ‘Deze kracht heeft geen invloed op de klemkracht die een tussenstort vasthoudt tussen de liggers, maar vergroot wel de draagkracht van de tussenstort zelf waardoor er minder snel gaten ontstaan.’ Schaafsma werpt echter tegen dat deze waarden kloppen voor een balk met een verhouding tussen dikte en lengte van 1:2, maar dat die voor de Hollandse Brug 1:20 is. ‘Daardoor is dit effect nauwelijks aanwezig.’ Van der Veen schat echter in dat de verhouding van 1:20 nog steeds goed is voor een versterking van de tussenstort met een factor anderhalf. ●



De shade die de sloopnaald acht jaar geleden heeft aangericht, bevindt zich op de zwakke plek van de brug: de aansluiting tussen tussenstort en ligger.



## BINNENKORT

### VLIEGTUIGEN/1-2 september

Het luchtvaartmuseum Aviodrome organiseert in het weekend van 1 en 2 september de *Giants of History Fly-in*. De bekendste vliegtuigen uit de geschiedenis zijn dan op Luchthaven Lelystad te zien.

De giganten bestaan uit beroemde grote toestellen als de Jumbojet uit 1969 en de viermotorige verkeersvliegtuigen DC-4 Sky-master, Lockheed Constellation ('Connie') en Douglas DC-6, die net na de Tweede Wereldoorlog zijn gemaakt. Maar ook kleinere kisten zijn in de geschiedenis van de luchtvaart soms groot. Zo is de DC-3 Dakota met meer dan 13 000 toestellen verreweg het meest gebouwde verkeersvliegtuig ooit. Sommige giganten zijn permanent op het Aviodrome tentoongesteld, andere komen uit geheel Europa naar Luchthaven Lelystad om zich door Nederlandse belangstellenden van dichtbij te laten bekijken, filmen en fotograferen.

Tijdens de *Giants of History Fly-in* viert de luchtvaartkoepelorganisatie KNVvL met vele leden haar honderdjarig bestaan. Tijdens dit eeuwfeest vinden demonstraties van diverse luchtporten, zoals zweefvliegen, parachutespringen en snorvliegen, plaats.

**Tentoonstelling Giants of Aviation History Fly-in, Nationaal Luchtvaart Themapark Aviodrome, Pelikaanweg 50, Lelystad.**

**Za 1 en zo 2 september. Toegang: € 14,50, € 13,90 voor 65-plussers en € 12,90 voor kinderen van 4-12 jaar en invaliden.**

[www.aviodrome.nl](http://www.aviodrome.nl)

### SCHUILEN/tot 3 september

Schuilplaatsen vormen de inspiratiebron voor de kunstwerken die tijdens de expositie *Shelter* in Kasteel Het Nijenhuis zijn te zien. Het resultaat is een zeer uiteenlopende tentoonstelling.

Een opvallend werk is bijvoorbeeld de ingezakte, rubberen tent van kunstenaar Tom Claassen, die de oervorm van dit type schuilplaats lijkt uit te beelden. Hij maakte het kunstwerk door rubber in een tentvormige kuil te gieten. 'Hierdoor is het rubber met zand bedekt, waardoor het geheel een sterk archaische uitstraling krijgt', zegt organisator Judith van Meeuwen. De tent is overigens niet te gebruiken. 'Er zit geen ingang in de volledig gesloten vorm.' Een ander object dat in het oog springt, is van kunstenaar Rob Voerman. Hij heeft een auto in zijn schuilplaats verwerkt, maar van mobiliteit is weinig sprake omdat de perso-

## PROEFJES UIT DE ACHTTIENDE EN NEGENTIENDE EEUW

### Lachen met natuurkunde



Het Haarlemse Teylers Museum brengt de wondere wereld van natuurkunde en magie uit de achttiende en negentiende eeuw voor het voetlicht met de tentoonstelling *Proefjes! Magische natuurkunde van toen*, die tot en met maandag 21 oktober loopt. De expositie toont bezoekers verbazingwekkende toepassingen van optica, mechanica en statische elektriciteit aan de hand van demonstratiemodellen uit de bijzondere eigen collectie van het museum. De vermakelijke natuurkundeproefjes werden toentertijd *physique amusante* genoemd: hoewel men de proefjes niet echt begreep, viel er wel veel te lachen.

Op de tentoonstelling zijn onder meer elektriseermachines,

*Een toverlantaarn met bijbehorende platen.*

toverlantaarns en historische goocheltoestellen te zien. De bezoekers kunnen met modellen en demonstraties natuurkundige principes als elektriciteit, kracht en licht proberen te doorgronden. 'Ze mogen echter niet overal zelf aankomen', zegt woordvoerder Hans Gramberg. 'Daarom hebben we van sommige apparaten replica's staan. Ook zijn er demonstraties en voorstellingen.' Zo geeft prof.dr. Willem Wagenaar, hoogleraar Cognitieve Psychologie aan de Universiteit Leiden en tevens eigenaar van Nederlands enige toverlantaarntheater, twee authentieke, historische toverlantaarnvoorstellingen op 16 september. Verder verzorgen natuurkundestudenten van de Universiteit Leiden op 9 en 30 september de *Freezing Physics Show*, waarin ze proeven doen met vloeibaar stikstof. Kinetisch kunstenaar Mark Bischof demonstreert tijdens speciale familiezondagen *The Invention*, een complexe theeschekmachine. Van zijn hand is ook het bijna 5 m hoge PingPongPakhuis waarin kinderen op spectaculaire wijze kunnen kennismaken met de wetten der natuur.

**Tentoonstelling Proefjes! Magische natuurkunde van toen, Teylers Museum, Spaarne 16, Haarlem. Tot ma 22 oktober. Toegang: € 3, gratis voor kinderen t/m 12 jaar.**

[www.teylersmuseum.nl](http://www.teylersmuseum.nl)

nenwagen op zijn kop staat. De sfeer van het interieur doet door de grote, ronde ramen met gekleurd glas denken aan de tijd van de romantiek.

Naast deze objecten toont de expositie ook geëngageerd werk, zoals een reportage van documentairefotograaf Henk Wildschut over honderden illegalen in het Franse Calais die in doorweekte en vervuilde tentenkampen wachten op de oversteek naar Engeland.



*De rubberen tent van kunstenaar Tom Claassen.*

**Tentoonstelling Shelter. Tenten, hutten en andere schuilplaatsen, Museum de Fundatie, Kasteel Het Nijenhuis, 't Nijenhuis 10, Heino/Wijhe. Tot ma 3 september. Toegang: € 7,50, € 5 voor studenten, 65-plussers en met CJP.**

### INGENIUM/tot 10 september

De tentoonstelling *Ingenium* in Bozar, het Paleis voor Schone Kunsten in Brussel, toont de diversiteit van de technische en industriële vindingrijkheid van de mens aan de hand van 345 historische en hedendaagse foto's. Centraal staan de natuurkrachten en de pogingen van de mens ze te temmen en te gebruiken.

Het werk van in totaal 164 fotografen is geordend op basis van de vier elementen (aarde, water, lucht en vuur), omdat de natuurkrachten daar een manifestatie van zijn. Zo komen mijnbouw, bouwkunde en mechanica (mijnen, gebouwen, wegen, spoorlijnen, auto's) aan bod bij de aarde, behoort civiele techniek (dammen, kana-



*Een foto van een Esso-raffinaderij.*

len) tot het water, hebben metallurgie en chemie te maken met vuur, en zijn de lucht- en ruimtevaart (ballonnen, vliegtuigen, ruimtevaartuigen) uiteraard gerelateerd aan de lucht. Bijzondere aandacht gaat uit naar kruisverwijzingen, zoals bruggen die zowel aarde als water overspannen.

**Tentoonstelling Ingenium, Paleis voor Schone Kunsten, Ravensteinstraat 23, Brussel, België. Tot ma 10 september. Toegang: € 7, € 5 onder 26 jaar en voor 60-plussers.**  
[www.bozar.be](http://www.bozar.be)