

# Sluisdeuren naar een hoger niveau

Sinds eind april 2003 heeft het Nederlandse vaarwegennet een nieuw, bijzonder object erbij, waarvan de naam nog niet in de woordenboeken staat – een naviduct. Voor de velen die de afgelopen zomer afkoeling in het Noord-Hollandse zochten, is het Naviduct Krabbersgat in Enkhuizen al een bekend plaatje. Een eenvoudige uitleg van dit object met de bijzondere naam zou zijn: een aquaduct met een schutsluis erop. Het eerste deel van het woord, navi, staat voor de scheepvaartfunctie. De verklaring van de naam mag dan eenvoudig zijn, de techniek van dit object is dat echter allerm minst. Voor de stalen sluisdeuren en bewegingswerken golden bijzondere ontwerpisen, die tot diverse innovatieve oplossingen hebben geleid. Het opvallende bedieningsgebouw wordt besproken in het tweede artikel.

**ir. R.A. Daniël**

Richard Daniël is projectingenieur bij de Bouwdienst Rijkswaterstaat, Zoetermeer

**ing. A.L.J.M. Donkers**

Toon Donkers is projectingenieur bij de Bouwdienst Rijkswaterstaat, Tilburg

**M.C. de Rijk**

Rinus de Rijk is constructeur bij de Bouwdienst Rijkswaterstaat, Zoetermeer

Niet alleen het wegverkeer in ons land heeft te lijden van de files; ook op de vaarwegen is het steeds drukker. Een van de lastigste knooppunten voor de scheepvaart was tot voor kort de Krabbersgatsluis bij Enkhuizen. Deze sluis biedt de doorgang tussen het IJsselmeer en het Markermeer, dwars door de dijk met de provinciale weg N302 Lelystad–Enkhuizen. In de zomerperioden liepen de wachttijden voor de schepen en pleziervaartuigen op tot enkele uren, terwijl het wegverkeer last had van de open brug. Om dit te verbeteren, is door Rijkswaterstaat begin jaren negentig een onderzoek verricht naar de mogelijke oplossingen voor dit knelpunt. Na een eerste selectie zijn drie varianten tegen elkaar afgewogen:

- een tweede Krabbersgatsluis, enkele honderden meters van de bestaande;
- een weerstandsgeul, oftewel een brede, onder-tunnelde of overbrugde opening in de dijk, die de schepen door zou laten (met uitzondering van de perioden van hoge stromingen).
- een naviduct, oftewel een aquaduct met een schutsluis erop.

Andere ideeën, zoals diverse tunnelvarianten of een hoge vaste brug in plaats van de dijk, waren financieel, landschappelijk en verkeers-technisch duidelijk minder aantrekkelijk.

## Naviduct

Van de drie genoemde oplossingen bleek uiteindelijk het naviduct de hoogste waardering te krijgen. Deze variant greep niet zo diep in op de bestaande infrastructuur, maakte een

scheiding mogelijk tussen de beroepsvaart en de recreatievaart en gaf een vrijwel ongehinderde afwikkeling van beide vaartsoorten met het wegverkeer. De schutcapaciteit van het hele complex zou bij deze variant verdrievoudigen, wat zeker voldeed aan de verwachte groei van het scheepsaanbod. De keuze voor het naviduct stond daarom al vast toen de opdrachtgever, Directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat, de financiering van dit project rond kreeg. Eind 1995 werd aan de Bouwdienst van Rijkswaterstaat een opdracht verstrekt voor het integrale ontwerp en de realisatie van het Naviduct Krabbersgat in Enkhuizen.

## Type sluisdeuren

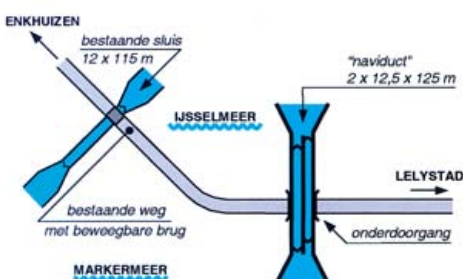
Uit het oogpunt van staalconstructies was het ontwerpproces van de sluisdeuren en bewegingswerken het meest interessant. De eerste vraag die zich voordeed, was welk type sluisdeuren het meest geschikt voor dit object zou zijn. Van de vele bekende typen het meest gebruikt in Nederland zijn puntdeuren, hefdeuren en roldeuren.

Na de eerste afweging kwamen voor het naviduct de volgende typen sluisdeuren als meest belovend uit de bus:

- enkelkerende puntdeuren;
- dubbelkerende puntdeuren;
- draaideuren;
- rol- of glijdeuren;
- segmentdeuren.

Het verschil tussen enkelkerende en dubbelkerende puntdeuren is dat het eerste type alleen

Locatie naviduct.





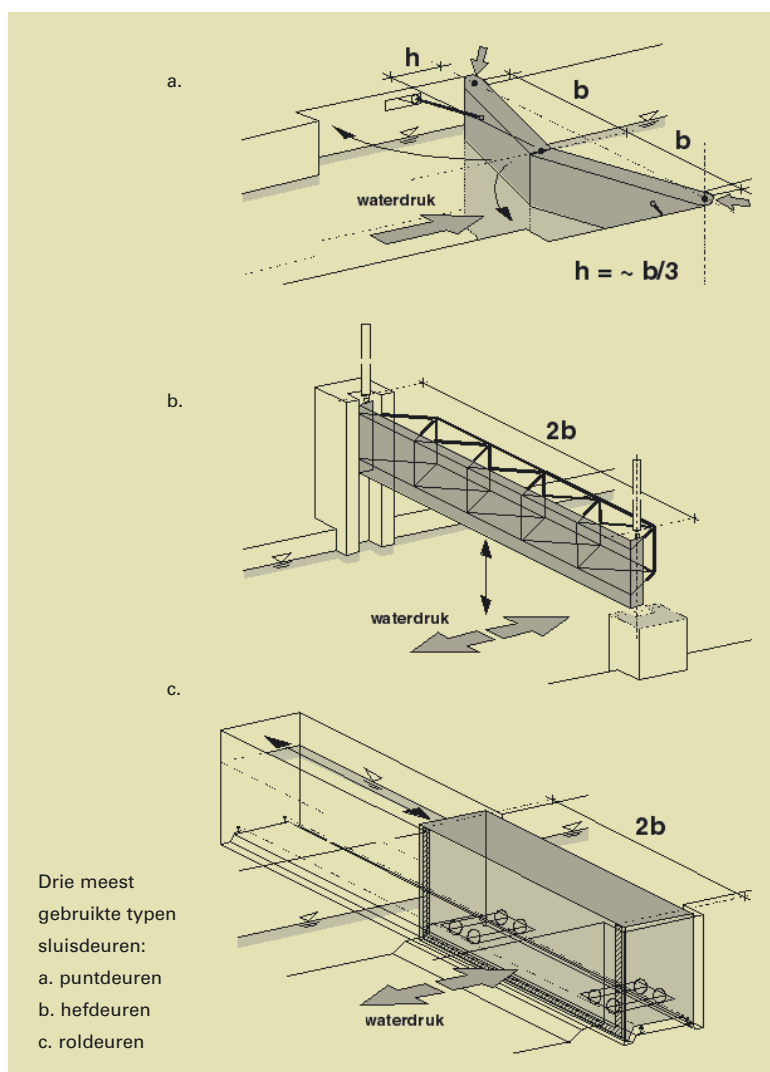
Naviduct  
Krabbersgat  
in Enkhuizen.

aan de puntzijde de waterdruk kan opnemen, terwijl het tweede type dat ook aan de binnenzijde kan doen.

Een draaideur is een deur die de hele kolkbreedte beslaat, scharnierend aan de ene kant en leunend tegen de aanslag aan de andere kant. Hefdeuren vielen af vanwege verstoring van het horizont en de beperkte doorvaarthoogte die vooral voor de recreatievaart (hoge masten) voor problemen zou zorgen. Nieuw in dit rijtje waren segmentdeuren en wel van het zogenoemde type Thames Barrier – een concept waarin de deur tussen twee roterende schuiven is geplaatst. Vanuit een verdieping in de bodem wordt de deur dan gedraaid tot gesloten, verticale stand.

Nadere, nog steeds grove uitwerking leverde meer informatie voor de beoordeling. Snel bleek dat er voor dit project de enkelkerende puntdeuren lager scoorden dan de dubbelkerende, zodat het eerste type kon worden afgeschreven. Uiteindelijk is er een keuzematrix opgesteld waarin de keuzecriteria in vijf groepen zijn onderverdeeld (bouw- en onderhoudskosten, bedrijfszekerheid, relaties met omgeving, schutcapaciteit en milieuaspecten) met bijbehorende weegfactoren.

Er kwamen twee gelijkwaardige winnaars uit de vergelijking: puntdeuren en draaideuren. De keuze viel op puntdeuren toen bleek dat de kosten aanzienlijk omlaag konden worden gebracht door de deuren in het bovenaanzicht te laten verspringen. Dit leidde tot een smaller tusseneiland en een besparing op de betonnen



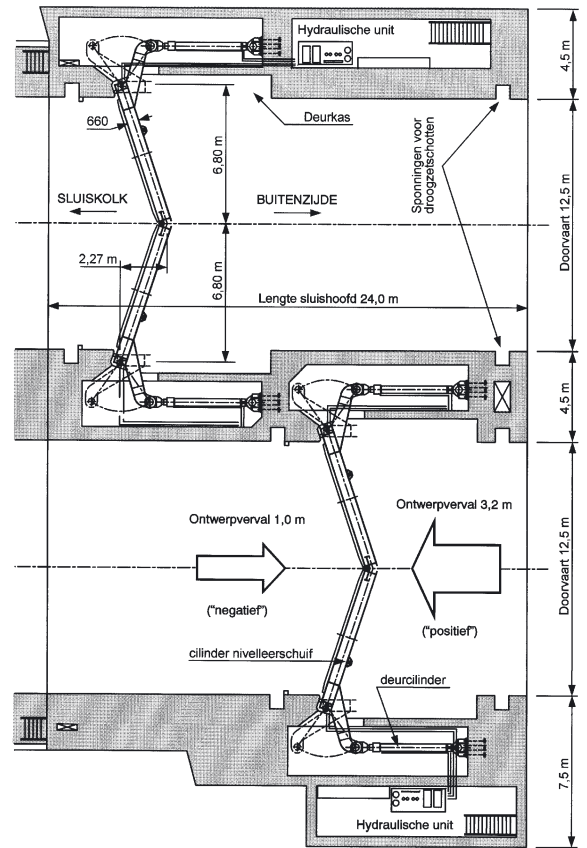




Typen sluisdeuren die zijn overwogen (van boven naar onder): draaideur Jachtensluis Krammer, puntdeuren Koopvaarderssluis in Den Helder, roldeur Julianasluis in Gouda, segmentdeur Emssperrwerk bij Emden (D).



Lay-out sluisdeuren en bewegingswerken in het hoofd.



bak van het naviduct. Om dezelfde reden is gekozen voor de opstelling van de deurcilinders in de lengterichting van de kolk en niet – zoals vaker bij dit type deuren – dwars erop. Bijkomende voordelen hiervan zijn dat de cilinders nu niet meer blootstaan tegen aanvaring, overdekt zijn en beter toegankelijk zijn voor inspectie en onderhoud.

### Deuren 'onder stress'

Het waterstandsverschil (verval) tussen het IJsselmeer en het Markermeer is ter hoogte van het naviduct vooral afhankelijk van de wind. Door opwaaiing stijgt het water aan de ene, dan wel aan de andere zijde. De meeste schommelingen zijn niet groot, maar wisselen elkaar snel af. Aan de deuren is daarom een eis gesteld om het schutten tot 1,0 m wisselend verval mogelijk te maken. Daarboven wordt niet meer gesluisd maar wel gekeerd, waarbij rekening wordt gehouden met de vervallen tot 3,2 m. Bij de ontwerpbelastingen die hiervan uitvloeien, horen nog golfkrachten, diverse gevallen van obstakels tijdens de deurbeweging, de schroefstraal van een uitvarend schip, druk door ijsschotsen, enz. In de combinaties van de belastingen is de systematiek van NEN 6702 gevolgd, al geldt deze norm in principe niet voor waterkerende constructies. De lezer die hier meer over wil weten, vindt het in het nummer 151 (1999) van Bouwen met Staal. Omdat de deuren met de punten naar buiten zijn gericht, is het altijd mogelijk om het extreme verval van 3,2 m aan één zijde van het

Naviduct 'positief' te keren. Lastig wordt het pas wanneer er tegelijk gesluisd moet worden, dus bij het kleine verval van 1,0 m. Dan moet één zijde van het Naviduct 'negatief' keren. Om de deuren dan niet open te laten gaan, is besloten om bij elke sluiting een voorspankracht toe te passen, met behulp van de bewegingswerken. Deze kracht kan één of twee trappen bereiken, zodat de resulterende vermoeiingsbelasting enigszins wordt beperkt. Dit is een verder ontwikkelde versie van het systeem dat gelijktijdig met dit project bij de Oranjesluizen in Amsterdam werd toegepast. Hoewel getrapt gedoseerd, de voorspankracht zorgt voor een aanzienlijke vermoeiingsbelasting – een fenomeen dat vroeger nauwelijks een rol speelde bij waterkerende staalconstructies. De kreet 'onder stress' gold dus hier niet alleen voor de sluisdeuren, maar in zekere zin ook voor de ontwerpers. De details, vooral rond de draaiarmen en de bovenregels, moesten zo kerfarm mogelijk worden ontworpen. Veel aandacht is besteed aan het laswerk en de materiaalkwaliteiten. Om het krachtenspel beter te beheersen en de lekverliezen te beperken, is gekozen voor het systeem met de zogenaamde 'vaste' draaipunten van de deuren.

### Uitvoeringstoleranties

Een andere maatregel die de lekkage onder 'negatief' verval moest beperken, was een scherpe stelling van de uitvoeringstoleranties. Vooral de bouwers van de betonnen sluishoofden waren er niet altijd blij mee. Om de ont-



Naviduct drooggezet, metingen aan sluisdeuren.

staande afwijkingen in beeld te brengen, werd besloten om het hele naviduct droog te zetten. Aan de hand van de metingen die toen zijn verricht, konden alsnog per deurstel de benodigde correcties worden aangebracht.

### Bewegingswerken

Voor de aandrijving van de puntdeuren met draaiarmen zijn de twee volgende typen bewegingswerken tegen elkaar afgewogen:

- elektro-mechanisch bewegingswerk met een heugel of zogenaamd panamawiel;
- elektro-hydraulisch bewegingswerk met een cilinder.

De keuzemethodiek was vergelijkbaar met die van de sluisdeuren: De voor- en nadelen van elk type werden benoemd, opgesteld in een keuzematrix met weegfactoren en cijfermatig beoordeeld. De beste keus bleek een elektro-hydraulisch bewegingswerk te zijn. Dit type bewegingswerk voor de puntdeuren bestaat uit een pompunit, die wordt aangedreven door een elektromotor, een oliereservoir, stuur- en regelkleppen en leidingwerk. Het onderdeel dat de sluisdeur direct in beweging brengt, is een hydraulische cilinder.

De doorslaggevende criteria bij de keuze voor een elektro-hydraulisch bewegingswerk waren: verkrijgbaarheid en beheersing van de benodigde krachten, de beperkte beschikbare ruimte, duurzaamheid, makkelijker afscherming en betere bestendigheid tegen water en een goede onderhoudbaarheid. Ook de flexibele snelheidsregeling bij hydraulische systemen was

een gunstig aspect. Hierdoor kon de beweging van zowel de deuren als de nivelleerschuiten soepel verlopen. Gezien het geringe schutverval over het naviduct (maximaal 1,0 m), werd er gestreefd naar een 'snelle' sluis. Dankzij de toegepaste snelheidsregeling hebben de deuren bij openen een bewegingstijd van 60 seconden. Dit is bijzonder snel voor een sluis met een kolkbreedte van 12,5 m.

Een ander streven van de ontwerpers was energiezuinigheid. Deze is vooral bereikt door toepassing van de moderne technieken en materialen binnen het hydraulische systeem. Ook de verfijning van het besturingsysteem heeft ertoe bijgedragen. Met name door het wegwerken van de stationaire loopstanden, een vergaande automatisering en de bijzonder lage energiebehoefte van de onderdelen.

### Hydraulische units

Voor de acht deuren en deurschuiten in het Naviduct zijn vier dubbele hydraulische units geplaatst aan de buitenkant van elk hoofd. De deur en deurschuit aan de overzijde wordt door middel van leidingen onder de kolk bediend. Elke deur en elke deurschuit heeft dus zijn eigen hydraulische pomp met regelschuiten. Hiervoor is gekozen om de snelheid van elke deur en deurschuit afzonderlijk te kunnen regelen, waardoor de gelijkloop van de deuren en deurschuiten gewaarborgd is. Om de betrouwbaarheid van de hydraulische installatie te optimaliseren en zodoende de benodigde beschikbaarheid van het sluis-

complex te waarborgen, zijn de volgende bijzondere maatregelen genomen:

Bij uitval van de pompunit voor de deuren kan worden overgeschakeld op de pompunit van de nivelleerschuiten om de deuren toch te bewegen. Zo'n omschakeling is ook mogelijk voor het omgekeerde geval – de uitval van de pompunit voor de schuiten.

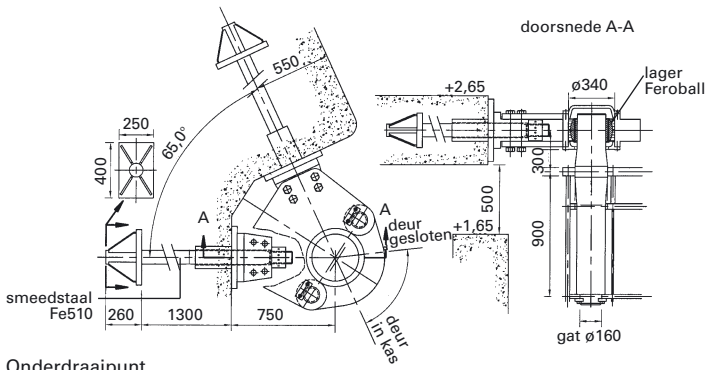
Het oliereservoir is voorzien van een externe filterunit, die de olie in de tank op gezette tijden filtreert. Gezien tachtig procent van de systeemstoringen door vervuilde olie wordt veroorzaakt, is hierdoor de kans op storingen sterk verminderd.

Op elke unit is een noodpomp geplaatst om bij calamiteiten toch te kunnen schutten. Het schutproces zal dan wel iets trager verlopen, omdat diverse kleppen met de hand omgezet moeten worden.

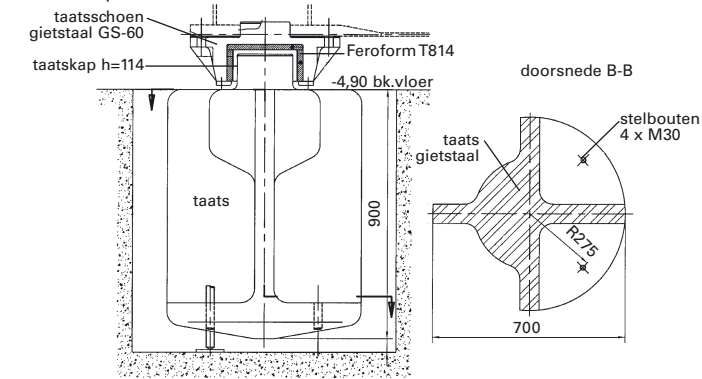
Ook aan reserveonderdelen is gedacht. Deze bestaan uit één hydraulische cilinder voor de deuren en één hydraulische cilinder voor de nivelleerschuiten. Bij problemen met de cilinders kunnen ze snel worden uitgewisseld, zodat de stremming van de sluis beperkt blijft. Een maatregel ter verbetering van de beschikbaarheid van het sluiscomplex in de winter is de ijsbestrijdingsinstallatie. Ijsschotsen die tussen een sluisdeur en de deurkas worden geduwd, kunnen namelijk de beweging van de deur zodanig belemmeren, dat het schutten onmogelijk wordt. Om dit te voorkomen, zijn in de kassen zogenoemde 'luchtbellschermen' aangebracht. Door lucht onderaan de deurkas



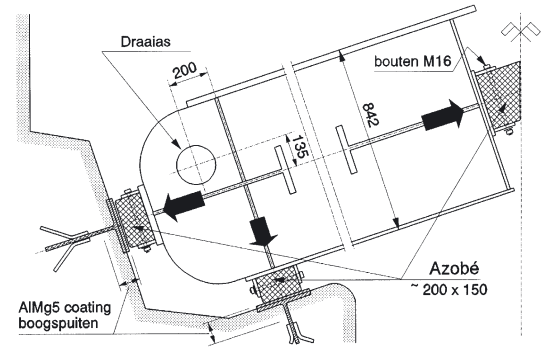
Bovendraaipunt.



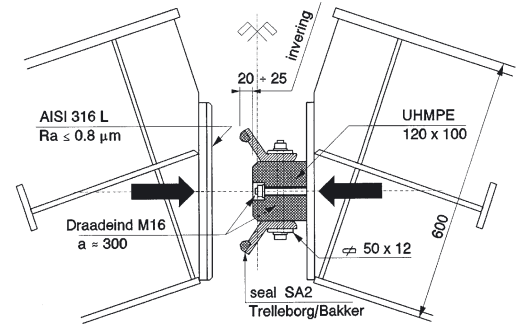
Onderdraaipunt.



Draaipunten van de sluisdeuren met vezelversterkte kunststoflagers.



a.

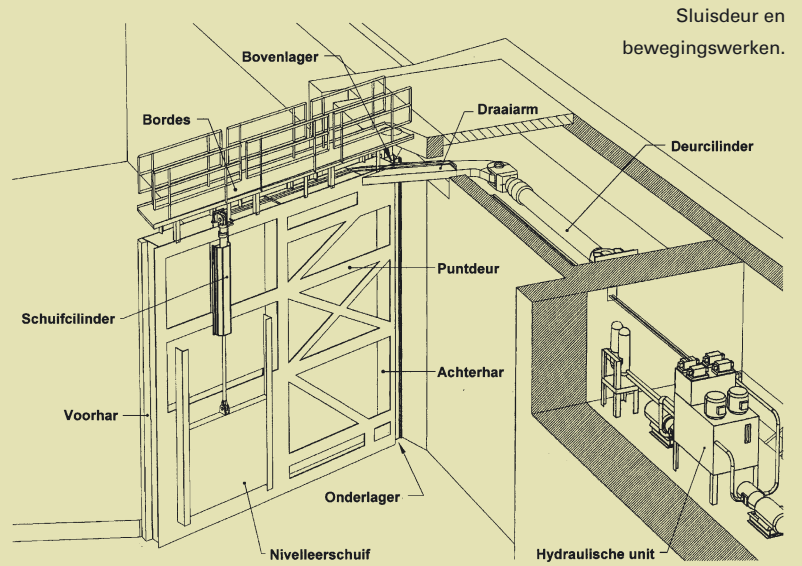
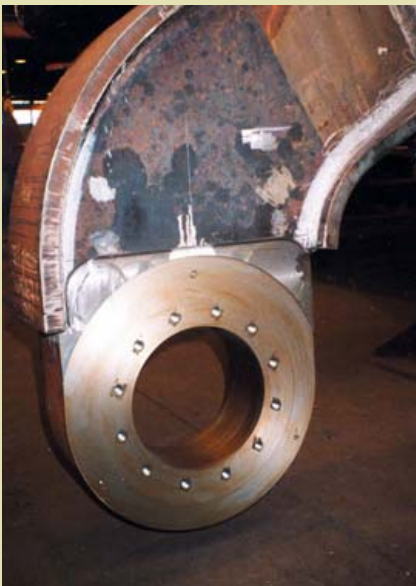


b.

Detail aanslagen in:

a. conventionele oplossing (tweede Sluis Lith)

b. kunststof oplossing (voorhar Naviduct)



Detail draaiarm en taatslager tijdens uitvoering.



Aansluiting cilinder aan draaiarm sluisdeur.



Schotten met een afsluiter bij drooggezet Naviduct.

### Innovatie? gezond verstand!

Een geslaagde innovatie hoeft niet altijd door een onderzoek te worden begeleid. Soms is het inschakelen van het gezonde verstand voldoende. Een voorbeeld zijn de zogenoemde droogzetschotten van het naviduct, die ook tot het staalbouwkundige pakket behoorden. Dankzij deze schotten kan de sluisolk – of een deel daarvan – droog worden gezet om bijvoorbeeld uitgebreid onderhoud te kunnen plegen. Het water tussen de schotten wordt dan weggepompt, wat soms een etmaal werk betekent voor een zware bemalingspomp. Na afloop van de werkzaamheden gebeurt op de meeste sluisen het omgekeerde: het water wordt teruggepompt in de kolk. Bij het naviduct heeft men afscheid genomen van deze energievretende procedure. In de onderste schotten zijn eenvoudige afsluiters aangebracht. Door het handmatig opendraaien van deze afsluiters stroomt het water zelf naar binnen.

te blazen wordt het warmere water naar boven gestuurd en ontstaat een stroming die de ijschotsen opzij drijft.

#### Waar het om draait

Sluisdeuren behoren (samen met beweegbare bruggen, kranen e.d.) tot een aparte groep staalconstructies, waarvan de functie onafscheidelijk met beweging is verbonden. Begrip voor de problemen die door beweging ontstaan, is cruciaal voor de verwerving en realisatie van een sluisdeurproject. Wellicht het zwakste punt van dit type kunstwerken is de constructie van de draailagers. Bij ondoordachte detaillering kunnen beschadigingen snel leiden tot een stremming en kostbaar onderhoud.

In de deurlagers van het naviduct is een innovatief vezelversterkt kunststof toegepast dat onder meer het versneld slijten moet voorkomen. Voorafgaand aan deze toepassing is onderzoek gedaan naar ervaringen met dit materiaal op andere gebieden (bijvoorbeeld in roerlagers van schepen) en vond een serie speciaal op sluisdeuren toegesneden beproevingen plaats. De uiteindelijke samenstelling van de deurlagers moet ervoor zorgen dat de beweging van de sluisdeuren gedurende de onderhoudscyclus van zestien jaar geen storingen zal ondervinden, gerelateerd aan de draailagers.

#### Innovatieve afdichting

Een andere innovatie betreft de afdichting van

de sluisdeuren. De voorspanning met bewegingswerken houdt de deuren onder 'negatief' verval bij elkaar, maar kan niet voorkomen dat door elastische uitbuiging een kier aan de onderkant ontstaat. Om deze kier af te dichten, zijn op de deuren rubberen strips aangebracht, aan weerszijden van de aanslagelementen. Dezelfde waterdruk die de uitbuiging van de deur veroorzaakt, wordt hier gedwongen om dit goed te maken door het dichtdrukken van de afdichting.

Het is ook de eerste keer in Nederland dat er op dergelijke deuren van een schutsluis geen tropisch hout is gebruikt. Alle aanslagen, evenals de zogenaamde wrijfbalken, zijn vervaardigd van polyetheen. De aanslagelementen in het beton zijn van constructiestaal met een elektrisch opgespoten en gladgeschuurde aluminiumlaag. Deze laag stelt de aanvang van het corrosieproces met minimaal dertig jaar uit.

#### Kennis voor de toekomst

In de komende jaren zal het gedrag van zowel de gehele constructie als diverse onderdelen daarvan nauwlettend worden gevolgd. De eerste signalen zijn positief, maar voor het eindoordeel is het nog te vroeg. Ook de ontwerpers zijn nog niet in staat om alle facetten van dit gedrag even nauwkeurig te voorspellen. Hopelijk zal dit object kennis en ervaring opleveren, die in de toekomst op meerdere projecten kunnen worden toegepast.

#### Projectgegevens

*Projectnaam* Naviduct Krabbersgat – sluisdeuren en bewegingswerken • *Locatie*: Enkhuizen, weg N302 richting Lelystad • *Opdracht* Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied • *Ontwerp* Bouwdienst Rijkswaterstaat, afdeling Staal- en Werktuigbouw • *Uitvoering civiele werken (hoofdaannemer)* Combinatie Naviduct Krabbersgat (Boskalis, VBK Hoorn, Van Laere) • *Uitvoering staalconstructies* Bergum Staalbouw • *Uitvoering werktuigbouw* Rexroth • *Bouwkosten staalconstructies* ca. € 2.100.000,- • *Bouwkosten bewegingswerken*: ca. € 2.000.000,- • *Foto's* Openingsfoto artikel RWS Meetkundige Dienst, overige foto's R.A. Daniël