Rapportage
Containerhoogtemetingen

Brolsma Advies

8 mei 2013

foto voorzijde: Een klasse Va schip, geladen met drie lagen containers waaronder high-cube containers, passeert de over het Amsterdam-Rijnkanaal gelegen Galecopperbrug (foto J.U. Brolsma).

Colofon

Titel:	Rapportage containerhoogtemetingen
Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart D. Broekhuizen ☏ 088 – 7982513 dick.broekhuizen@rws.nl
Opsteller:	Brolsma Advies J.U. Brolsma Rosariumlaan 59 3972 GG Driebergen ☏ 0343-533224 j.u.brolsma@gmail.com
Datum:	8 mei 2013
Versie:	definitief

Inhoud

Samenvatting *5*

1. Inleiding
   - 1.1 Aanleiding en aanpak onderzoek *8*
   - 1.2 Leeswijzer 8

2. Vaststelling brughoogte
   - 1.1 Definitie Rijnvaarthoogte *10*
   - 2.2 Vergelijking Nederland – Duitsland *11*
   - 2.3 Classificatie schepen en vaarwegen *12*
   - 2.4 Waterstand op kanalen *13*

3. Berekening doorvaarthoogte
   - 3.1 Doorvaarthoogte voldoende? *16*
   - 3.2 PIANC-rapport *16*
   - 3.3 Berekening scheepshoogte *16*
   - 3.4 High-cube containers *18*

4. Ongevallen
   - 4.1 Statistiek *20*
   - 4.2 Voorbeelden van ongevallen *22*

5. Metingen 1996
   - 5.1 Meetmethode *27*
   - 5.2 Meetresultaten *28*

6. Metingen 2012
   - 6.1 Meetmethode *31*
   - 6.2 Proefmetingen *32*
   - 6.3 Meetcampagne *33*

7. Ontwikkelingen
   - 7.1 Zeevaart *39*
   - 7.2 Binnenvaart *40*
   - 7.3 Containers *42*

8. Synthese
   - 8.1 Vergelijking 1996 met 2012 *44*
   - 8.2 Opties voor doorvaarthoogte *46*
   - 8.3 Monitoring ontwikkelingen *47*

Bijlagen *49*

Samenvatting

Het is de afgelopen jaren herhaaldelijk voorgekomen, dat containerschepen tegen de onderzijde van bruggen botsten. Dergelijke aanvaringen kunnen door het uitvallen van de brug grote consequenties hebben voor zowel scheepvaart als weg- en spoorverkeer. Daarenboven moeten schepen vanwege de beperkingen van brughoogte afzien van een bovenste laag containers, hetgeen de efficiency van het transport niet ten goede komt. Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat onderzoek uitgevoerd naar de (actuele) hoogtes van containerschepen. Het voorliggende rapport doet hierover verslag.

Direct na de oorlog besloot de Centrale Commissie voor de Rijnvaart 9,10 m boven de hoogste bevaarbare waterstand aan te houden als minimale doorvaarthoogte, de Rijnvaarthoogte. Als maatgevende hoogste waterstand geldt volgens de Richtlijnen Vaarwegen: de waterstand, die 1% van de tijd overschreden wordt, gemeten over de laatste tien jaar. Er is een groot verschil tussen kanalen en rivieren. Op kanalen is er maar enkele decimeters verschil tussen de hoogst bevaarbare en de gemiddelde waterstand, op de Rijn vele meters. Daarom wordt een te kort schietende brughoogte op een kanaal veel sterker gevoeld dan op een rivier.
De Rijnvaarthoogte is sedert het verschijnen van de Nota Vaarwegen in 1981 toegepast op de Nederlandse kanalen. De European Conference of Ministers of Transport (CEMT) koppelde in 1992 het aantal lagen containers aan doorvaarthoogte: 5,25 m, 7,00 m of 9,10 m voor 2, resp. 3 en 4 lagen containers. Er was toentertijd weinig ervaring met containervaart en dat heeft tot verkeerde uitgangspunten geleid, bijvoorbeeld een 100% bezetting met 50% lege en 50% beladen containers. Van high-cube containers was destijds nog geen sprake. Inmiddels is bekend dat de schepen gemiddeld voor 65% van hun capaciteit bezet zijn met 35% lege en 65% geladen containers. Er zijn nu meer betrouwbare berekeningen op te stellen. Uit de huidige metingen blijkt dat de CEMT-norm van 7,00 m voor drie lagen en 9,10 m voor vier lagen op kanalen te kort schiet, zelfs bij gemiddelde belading, laat staan bij 100% lege containers of high-cube containers.

Aanvaringen van binnenschepen met bruggen als gevolg van een te hoge belading met containers komen slechts enkele malen per jaar voor. Met behulp van de ontwikkelde rekenmethode zijn een vijftal recente ongevallen nagerekend. De beschrijvingen en de uitkomsten van de berekeningen maken één ding duidelijk: de marges zijn vaak klein en een fatale vergissing is snel gemaakt.

In de zomer van 1996 heeft Rijkswaterstaat voor de eerste maal onderzoek uitgevoerd naar de hoogte van op de Rijn varende containerschepen. Het bestond uit twee delen: metingen op een locatie bij Millingen en parallel daaraan een schriftelijke enquête onder schippers van containerschepen. Met een horizontale waterpassing door middel van krikstatieven zijn 135 valide hoogtemetingen verkregen. Achteraf is gebleken dat de berekening van de inzinking van het varende schip, de squat, niet juist is geweest. In dit rapport is derhalve een correctie toegepast. In 1996 vervoerden de schepen gemiddeld 185 TEU. Het aandeel high-cube containers bedroeg 7% van de vervoerde TEU's, terwijl 68% van de schepen in staat was ballastwater in te nemen.

De metingen van oktober 2012 geschiedden op basis van laserscanning. Laserscanners zijn bevestigd aan de spoorbrug over de Waal bij Nijmegen. De meetresultaten zijn verwerkt met speciaal ontwikkelde software. Tegelijk met het automatisch inwinnen van hoogtegegevens zijn scheeps- en ladinggegevens geregistreerd op de verkeerspost Nijmegen. De vereiste gegevens zijn te vinden in het volgsysteem, dan wel per telefoon gevraagd aan de schipper. De informatie over vaarsnelheid is ontleend aan gegevens van het Automatic Identification System (AIS). Van de 328 valide hoogtemetingen van containerschepen is van 137 schepen zowel een scannermeting als een registratie van het aantal lagen containers beschikbaar. Nu bleek 89% van de containerschepen te kunnen ballasten. Opmerkelijk is dat van de schepen met de mogelijkheid tot ballasten 84% aangaf geen ballast te hebben ingenomen. Ballast wordt vooral gebruikt om het schip te trimmen, dat wil zeggen de effecten van ongelijkmatige belading te compenseren, niet om substantieel de scheepshoogte te verminderen.
Wat opvalt bij vergelijking van de metingen van 1996 en 2012, is dat de gemiddelde scheepshoogte niet veel uiteen loopt, maar de extremen verschillen in toenemende mate en bij vier lagen containers meer dan bij drie lagen, zoals de onderstaande tabel laat zien. De verklaring ligt in de toename van het aandeel high-cube containers.

lagen	jaar	50%	90%	95%
2	2012	5,25	5,80	6,00
3	1996	7,55	8,20	8,30
3	2012	7,70	8,50	8,65
4	1996	9,80	10,35	10,45
4	2012	10,00	11,05	11,20

Gemeten onderschrijding van doorvaarthoogte bij een stilliggend schip, inclusief een veiligheidsmarge van 0,30 m

De ontwikkelingen gaan snel. In de zeevaart is het afgelopen decennium een doorbraak geweest naar Ultra Large Container Carriers (ULCC), schepen van meer dan 10.000 TEU. Voor de havens betekent het dat de containers in zeer grote hoeveelheden tegelijk binnen komen en een groot beslag op de terminalruimte leggen. Om die reden moeten ze zo snel mogelijk naar het achterland of over zee afgevoerd worden. Een consequentie is dat er vooral vraag zal zijn naar grote binnenschepen van klasse Va, klasse VIa en koppelverbanden. Het is ook denkbaar dat een pendeldienst met duwkonvooien ontstaat naar het Duitse achterland. Nu al zijn schepen van 135 m of langer dominant op de Rijn.
Wat de container zelf betreft, is aannemelijk dat het aandeel high-cube containers zal stijgen ten koste van 40 voets standaard container, omdat het merendeel van de nieuwe containers high-cube is. Uiteindelijk wordt de high-cube dé standaard voor het containervervoer met de binnenvaart. De 20 voeter zal zich in een bescheiden rol handhaven. Afwijkende lengte- of breedtematen, waaronder de 45 voets container, blijven voor de binnenvaart van marginale betekenis.
Als nu vast staat dat de huidige normen voor kanalen ontoereikend zijn, volgt de vraag welke doorvaarthoogte wel voldoende is, gezien ook de gesignaleerde ontwikkelingen. De hoogtenormen gelden weliswaar ook voor rivieren, maar zijn vooral van belang op kanalen met hun weinig wisselende waterstand. In dit rapport zijn de volgende opties uitgewerkt:

1. de huidige hoogtematen, volgend uit de streefbeelden van de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR, maart 2012)
2. volgens berekening met de uitgangspunten van de CEMT, dat wil zeggen 100% bezetting met 50% geladen en 50% lege containers, zonder high-cube containers (tabel 4)
3. als 2: berekening met de uitgangspunten van de CEMT, maar nu met 2, 3 of 4 lagen high-cube containers containers (tabel 4)
4. de meting van 2012, een hoogte die door 90% van de schepen onderschreden wordt; 90% is het percentage dat de CVB destijds hanteerde voor de vaststelling van brughoogte (tabel 14)
5. als 4, met 95% onderschrijding (tabel 14)
6. volgens berekening met een 100% bezetting met 100% geladen containers, waarbij 2, 3 of 4 high-cubes op elkaar staan (tabel 3)
7. volgens berekening met gemiddelde belading, dat wil zeggen 65% bezetting en 65% geladen containers, waarbij 2, 3 of 4 high-cubes op elkaar staan (tabel 5)
8. volgens berekening met 100% bezetting met 0 % geladen, dus 100% lege containers, waarbij 3 resp. 4 high-cube containers op elkaar staan (tabel 6)

opties		2 lagen containers (klasse III)	3 lagen containers (klasse IV)	4 lagen containers (klasse V)	4 lagen containers (klasse VI)
1	volgens de streefbeelden van de Nota Infrastructuur en Ruimte 2012	5,25	7,00	9,10	9,10
2	berekening met uitgangspunten CEMT geen high-cube containers	4,62	6,87	8,92	9,12
3	berekening met uitgangspunten CEMT 2, 3 of 4 high-cubes	5,23	7,78	10,14	10,34
4	meting 2012, 90% onderschrijding incl. compensatie voor inzinking	5,80	8,50	10,85	11,05
5	meting 2012, 95% onderschrijding incl. compensatie voor inzinking	6,00	8,65	11,00	11,20
6	berekening 100% geladen containers 2, 3 of 4 high-cubes	4,81	7,14	9,18	9,35
7	berekening gemiddelde belading 2, 3 of 4 high-cubes	5,36	7,97	10,42	10,64
8	berekening 100% lege containers 2, 3 of 4 high-cubes	5,65	8,43	11,10	11,33

Opties voor de bepaling van doorvaarthoogte (m)

De vraag of de overheid, nationaal of Europees, bereid is de wensen en behoeften van de containervaart te faciliteren door een hogere doorvaarthoogte te kiezen, is een vraag die buiten het bestek van dit rapport valt. Het is hoe dan ook aanbevelenswaardig de toekomstige ontwikkelingen te monitoren.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding en aanpak onderzoek

De internationale normen voor brughoogte zijn vastgesteld vóór de komst van het containervervoer over de binnenwateren en volgens het bedrijfsleven thans ontoereikend, zeker door de introductie van de zogenaamde high-cube containers.
Het is de afgelopen jaren herhaaldelijk voorgekomen, dat containerschepen tegen de onderkant van bruggen botsten. De gevolgen van dergelijke aanvaringen kunnen groot zijn: langdurige stremming van zowel de vaarweg als het weg- of spoorverkeer. Containerschepen kunnen mogelijk ook minder lagen containers meenemen, dan waar ze op grond van hun afmetingen toe in staat zijn, hetgeen inefficiëntie en verlies van concurrentiekracht betekent.
Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Directoraat-Generaal Bereikbaarheid (DGB) voert de Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS) van Rijkswaterstaat een onderzoek uit naar de (actuele) hoogtes van containerschepen. De hoofdvragen voor dit onderzoek zijn aldus geformuleerd:

1. wat is heden ten dage de kruiphoogte van de 2-, 3- en 4-laags containervaart op de Rijn?
2. bij welke hoogtenorm kan de voornoemde containervaart de bruggen veilig passeren?

Uit de hoofdvragen vloeien enkele deelvragen en aandachtspunten voort en wel:

- wat zijn terugkijkend naar de besluitvorming in het verleden de aannames geweest, waarop de normen voor containerhoogtes zijn gebaseerd?
- zijn die aannames juist geweest of niet?
- welke aannames kloppen niet meer, gezien de ontwikkelingen in de containervaart gedurende de laatste twintig jaar?
- belangrijk is onderscheid te maken tussen het marktaandeel van standaard en van high-cube containers in verleden, heden en toekomst

Om de bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden heeft DVS in situ metingen opgedragen aan de firma Fugro. De metingen, uitgevoerd ter plaatse van de spoorbrug Nijmegen met een na te streven aantal van 300 schepen, vonden plaats in het najaar van 2012. De gegevens zijn verwerkt tot waarden voor de actuele hoogte van de containerlading. Tezelfdertijd is aan Brolsma Advies gevraagd een rapportage op te stellen inhoudende de argumentatie die destijds tot de huidige hoogtenormen heeft geleid, een analyse op te stellen van de metingen en inzichtelijk te maken wat de actuele hoogtes van containerschepen zijn.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van deze nota heeft betrekking op de huidige normen voor brughoogte. Als basis dient een beschouwing over Rijnvaarthoogte. Hier is een vergelijking tussen Nederland en Duitsland met betrekking tot de toepassing van Rijnvaarthoogte aan gekoppeld. Vervolgens komt aan de orde hoe de maten voor doorvaarthoogte in Europese en Nederlandse beleidsstukken terecht zijn gekomen. Het hoofdstuk eindigt met een beschouwing over maatgevende waterstanden op kanalen.

Standaard en high-cube containers aan dek. (foto: J.U. Brolsma)

Hoofdstuk 3 behandelt de hoogte van de containerlading en een methode om die hoogte te berekenen. Een aantal scenario's is doorgerekend voor zowel standaard containers als op high-cube containers bij verschillende beladingstoestanden.

Dan volgt hoofdstuk 4, waarin schip-brugdek ongevallen zijn geanalyseerd en enkele recente ongevallen zijn beschreven. Met de in het voorgaande hoofdstuk opgestelde rekenmethode zijn deze ongevallen nagerekend en is aangegeven waarom het mis ging.

Dan komen de metingen aan de orde. Hoofdstuk 5 behandelt de in 1996 uitgevoerde waterpassingen. Hoofdstuk 6 rapporteert over de in oktober 2012 bij Nijmegen uitgevoerde metingen met gebruikmaking van laserscans. Door middel van onderschrijdingskrommen is het resultaat inzichtelijk gemaakt.

Hoofdstuk 7 beschrijft de komende ontwikkelingen met betrekking tot de zeevaart, de binnenvaart en de container zelf. Overheersende tendensen zijn schaalvergroting en toename van het aandeel high-cube containers.

In hoofdstuk 8 volgt de synthese. Eerst een vergelijking van de meetresultaten uit 1996 en 2012 en daarna een overzicht van verschillende doorvaarthoogtes.

2. Vaststelling brughoogte

2.1 Definitie Rijnvaarthoogte

Als het over brughoogte gaat, speelt de zogenaamde Rijnvaarthoogte een cruciale rol. Vandaar dat Rijnvaarthoogte in eerste instantie de aandacht krijgt. Direct na de oorlog waren de meeste bruggen over de Rijn vernield. De Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) besloot bij protocol 1947-I-17 als minimale hoogte voor nieuwe bruggen aan te houden de hoogte van de laagste intacte brug: 9,10 m boven de hoogste bevaarbare waterstand. Deze maat noemt men sedertdien Rijnvaarthoogte. Het is dus een zuivere hoogtemaat, die geen rekening houdt met scheepsafmetingen of veiligheidsmarges, laat staan met containerlading. Een en ander is vastgelegd in het document 'Minimumeisen en aanbevelingen voor de technische uitvoering van werken aan de Rijn', bijlage van protocol 1995-I-29, hetwelk in 2012 herzien is als TP(12)11. De herziening betekende geen enkele verandering aan de definitie van Rijnvaarthoogte.

Het referentievlak is de hoogst bevaarbare waterstand, in Nederland aangeduid als Maatgevende Hoge Waterstand (MHW). Ingevolge de Nota Vaarwegen uit 1981 is MHW op de bovenrivieren gelijk gesteld met de hoogst bekende waterstand, dat wil zeggen het hoogwater van januari 1926, dat ongeveer eenmaal per 100 jaar voorkomt (bron: Helpdesk Water). Bij een afvoer van 12.600 m^3/s bedroeg het peil te Lobith 16,90 m + NAP. De waterstand bij gemiddelde afvoer is 9,80 m + NAP, ongeveer 7 m lager dan de hoogst bekende waterstand.

Voor getijdenrivieren is het grenspeil het referentievlak, een waterstand die gemiddeld eens in de twee jaar overschreden wordt. Het grenspeil heeft een hogere frequentie van voorkomen dan de hoogst bekende waterstand. Dit is te billijken, omdat hoogwaters in getijdengebieden korter duren dan hoogwaters op bovenrivieren, namelijk enkele uren versus enkele dagen. Het is tot op heden niet gebruikelijk met zeespiegelrijzing rekening te houden.

In Duitsland heet het referentievlak de Höchster Schiffbaren Wasserstand (HSW), ook wel aangeduid als (Hochwasser-) Marke II. Bij deze waterstand is scheepvaart verboden vanwege het gevaar voor schade aan bouwwerken op de oever als gevolg van scheepsgolven. HSW kan van plaats tot plaats verschillen al naar gelang de kwetsbaarheid van de bebouwing. Uit gegevens van de Elektronischer Wasserstraßen Informationsservice (ELWIS) over de periode 2002 tot en met 2011 wordt HSW gemiddeld drie maal per jaar overschreden op enig meetstation langs de Rijn. De scheepvaart is dan gemiddeld 2,4 dag gestremd, met een uitschieter tot 6 achtereenvolgende dagen. De stremming varieert sterk per meetstation. In Maxau was gedurende deze decade 9 maal een hoogwaterstremming, in Oberwinter 5 maal en in Mannheim en Worms nooit.

Ter illustratie zijn enkele voorbeelden van brughoogte te noemen, twee voor de bovenrivieren en twee voor getijdenrivieren in Nederland. De werkelijke brughoogten zijn ontleend aan het bestand 'Vaarwegen in Nederland'.

Nijmegen: hoogste waterstand 13,80 m + NAP
benodigde brughoogte 13,80 + 9,10 = 22,90 m + NAP
werkelijke hoogte spoorbrug 23,10 m + NAP

Arnhem: hoogste waterstand 13,60 m + NAP
benodigde brughoogte 13,60 + 9,10 = 22,70 m + NAP
werkelijke hoogte John D. Frostbrug 22,85 m + NAP

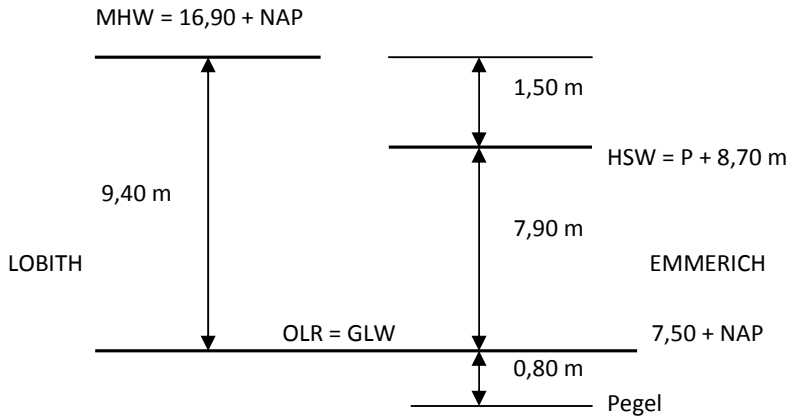
Dordrecht: grenspeil 2,16 m + NAP
benodigde brughoogte 2,16 + 9,10 = 11,26 m + NAP
werkelijke hoogte spoorbrug 11,40 m + NAP

Moerdijk: grenspeil 1,84 m + NAP
benodigde brughoogte 1,84 + 9,10 = 10,94 m + NAP
werkelijke hoogte verkeersbrug 10,92 m + NAP

In deze voorbeelden voldoen de bruggen aan de huidige norm voor Rijnvaarthoogte, hetgeen natuurlijk nog niet wil zeggen dat àlle Nederlandse bruggen er aan voldoen. Bij het ontwerp van de brug dient men zich ervan te vergewissen, dat doorzakking ten gevolge van kruip (veroudering), verkeersbelasting of uitzetting door hoge temperatuur de beschikbare doorvaarthoogte niet beperken.

2.2 Vergelijking Nederland-Duitsland

Nederland en Duitsland hanteren verschillende berekeningswijzen voor brughoogte. Wat is het effect daarvan? Daartoe is de hoogste bevaarbare waterstand bij Lobith en het nabijgelegen Emmerich vergeleken door de hoogten te herleiden tot de waterstand horende bij de Overeengekomen Lage Rivierafvoer (OLR) en de daarop naadloos aansluitende Duitse Gleichwertiger Wasserstand (GLW). Per definitie geldt voor beide: de waterstand, die in een langjarige periode gedurende 20 ijsvrije dagen per jaar onderschreden wordt.



Figuur 1: Referentievlakken te Lobith en Emmerich

Bij Lobith is de waterstand bij OLR 7,50 m + NAP. Voor MHW geldt te Lobith 16,90 m + NAP, dus 9,40 m verschil ten opzichte van OLR. In Emmerich ligt de GLW op 0,80 m boven Pegel (= peilmerk) en de HSW op 8,70 m, een verschil van 7,90 m.

De hoogst bevaarbare waterstand ligt aan de Nederlandse zijde van de grens met een verschil van 9,40 m ten opzichte van OLR/GLW dus 1,50 m hoger dan aan Duitse zijde. Het betekent theoretisch dat een schip bij maatgevend hoogwater aan de Duitse kant van de grens met een te lage brug geconfronteerd kan worden, terwijl de vaart onder de bruggen op de Nederlandse Rijn nog wel mogelijk is. Overigens is de hoogst bekende waterstand in Emmerich, Pegel + 9,85 m, eveneens in januari 1926 gemeten. Deze stand ligt 9,05 m boven GLW. Dat is maar iets lager dan de 9,40 m verschil tussen de maatgevende hoge waterstand en OLR te Lobith. Wat dat betreft zijn Nederland en Duitsland dus redelijk in lijn.

Ten aanzien van OLR/ GLW valt op te merken, dat deze van tijd tot tijd opnieuw bepaald worden. Door de bodemdaling van de rivier zakt OLR/GLW namelijk in vergelijking met NAP. Het positieve effect daarvan is, dat de doorvaarthoogte van aanwezige bruggen langzaam maar zeker toeneemt.

2.3 Classificatie schepen en vaarwegen

De European Conference of Ministers of Transport (CEMT) stelde in 1954 een classificatie van scheepsafmetingen vast gebaseerd op vijf, toentertijd veel voorkomende scheepstypen. Klasse V, het destijds grootste schip, was het zogeheten Grote Rijnschip met afmetingen van 95,0 (nu: 110,0) x 11,5 m. De hoogte van deze schepen bedroeg volgens de CEMT 6,7 m. In 1961 breidde de CEMT zijn classificatie uit met een klasse VI schip. De hoogte van het klasse V schip bleef hetzelfde. Voor een klasse VI schip werden geen afmetingen gegeven.

Naar aanleiding van het verschijnen van de eerste Vaarwegennota werd in 1977 de Commissie Vaarwegbeheerders (CVB) ingesteld. Een werkgroep van de CVB startte een onderzoek naar de afmetingen van de Nederlandse binnenvaartvloot tot en met klasse IV. Zij kwam in 1980 tot de conclusie dat de afmetingen van de Nederlandse schepen groter zijn dan die van de CEMT-tabel, vooral in hoogte. Zo was de strijkhoogte, dat is de hoogte van het schip wanneer alle strijkbare delen zijn neergeklapt, die door 90% van de ongeladen klasse IV schepen werd onderschreden al 6,7 m, de maat die de CEMT voor klasse V had voorgeschreven. De Nederlandse klasse V schepen zouden dus zeker hoger zijn. Het betrof hier schepen zonder containerlading, want die kwam toentertijd nauwelijks voor.

De vier jaar later gepubliceerde Nota Vaarwegen (1981) vermeldt dat voor de klasse VI vaarwegen Amsterdam-Rijnkanaal en de Schelde-Rijnverbinding een doorvaarthoogte van 9,1 m boven het kanaalpeil wordt aangehouden bij een grootste hoogte van 8,75 m voor schepen van klasse VI. Klasse VI betrof destijds alleen duwboten, want containers speelden nog geen rol van betekenis. Uit de tekst van de Nota Vaarwegen blijkt niet dat is overwogen voor kanalen een andere maat te kiezen dan de 9,1 m die gold als Rijnvaarthoogte, noch is een nadere specificatie van de term kanaalpeil gegeven.

In juni 1992 publiceerde de CEMT voor de derde keer een classificatie (Resolution 92/2), zich baserend op een rapport uit 1990 van de PIANC-werkgroep ‘Standardization of inland Waterways’ Dimensions’. Voor een vaarweg van klasse V adviseert de CEMT een doorvaarthoogte van 5,25 m, 7,00 m of 9,10 m voor 2, resp. 3 en 4 lagen containers (bijlage 2). Een voetnoot vermeldt: “Takes into account a security clearance of 30 cm between the highest point of the vessel or its load and the height under the bridge”. Daar-

mee is de veiligheidsmarge of schrikhoogte geïntroduceerd. Een andere voetnoot verklaart dat de maat van 9,10 m “adapted” is voor vier lagen containers, waarvan de helft leeg mag zijn en “otherwise ballast must be used”. Er is geen onderscheid gemaakt tussen rivieren en kanalen. De achterliggende berekeningen van de PIANC-werkgroep ontbreken en het is daardoor niet mogelijk de uitkomsten te controleren.

Deze CEMT-tabel is ongewijzigd overgenomen in de ‘European Agreement on Main Inland Waterways of International Importance (AGN)’, welke is opgesteld door de United Nations Economic Commission for Europe (ECE). In juni 1997 is de AGN ondertekend door elf Europese landen, waaronder Nederland. De aanbevolen doorvaarthoogten zijn gelijk aan die van de CEMT-tabel.

De Nota Mobiliteit (NoMo) uit 2004 tenslotte formuleert een streefbeeld voor de Nederlandse vaarwegen: hoofdtransportassen en doorgaande hoofdvaarwegen tenminste vierlaags containervaart en overige hoofdvaarwegen drielaags containervaart. De NoMo verwijst voor de scheepsafmetingen, dus ook voor hoogte, naar de CEMT-classificatie uit 1992 en conformeert zich daarmee aan de maten voor brughoogte van 7,00 en 9,10 m. De opvolger van de NoMo, de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR, maart 2012) herhaalt op pagina 120 de hierboven genoemde streefbeelden uit de Nota Mobiliteit.

Het vorenstaande illustreert hoe de doorvaarthoogte van 9,10 m, de Rijnvaarthoogte, sedert 1981 ook toegepast is op kanalen en tien jaar later is gekoppeld aan een aantal lagen containers. Daarbij heeft men zich niet voldoende gerealiseerd wat de keus van een bijpassende maatgevende of hoogst bevaarbare waterstand voor invloed heeft, althans daar zijn geen getuigenissen van te vinden. Kanaalpeil leek toentertijd een voldoende duidelijke aanduiding.

2.4 Waterstand op kanalen

In de regel spreekt men over kanaalpeil (KP) alsof dit een vaste waterstand is. Maar in feite is het slechts een gemiddelde waterstand of een streefpeil. Er zijn in praktijk tal van afwijkingen mogelijk als gevolg van:

- seizoensgebonden variaties: zomer- en winterpeil
- opwaaiing door wind in de lengterichting van het kanaal
- opzet als gevolg van de afvoer van regenwater
- translatiegolven als gevolg van het legen van sluiskolken
- verandering van streefpeil na de aanleg van de bruggen

Informatie afkomstig van regionale diensten van Rijkswaterstaat resulteert in enkele voorbeelden met betrekking tot waterstandsvariatie op kanalen.

Op het Amsterdam-Rijnkanaal is het streefpeil 0,40 m - NAP. De waterstand fluctueert normaal tussen 0,60 m - NAP en 0,20 m - NAP. De bruggen liggen tenminste 9,10 m boven het laatstgenoemde peil. In de minder dan 1% van de tijd voorkomende stand van NAP of hoger krijgen de aanliggende polders een maalstop opgelegd. Opwaaiing of translatiegolven veroorzaken, zo is de ervaring, geen significante waterstandsverhoging. NAP is dus de maatgevende hoge waterstand. Een aantal bruggen blijkt te laag te liggen, b.v.:

Klasse V schip met 3 lagen containers op het Amsterdam-Rijnkanaal (foto J.U. Brolsma)

Galecopperbrug: maatgevende hoge waterstand = NAP
benodigde brughoogte 9,10 + NAP
werkelijke hoogte brug 9,05 m + NAP > tekort 0,05 m

In het Twentekanaal, waar de sluizen op kortere afstand van elkaar liggen dan in het Amsterdam-Rijnkanaal, zijn waterstandsvariaties tot maximaal 20 cm boven het streef-peil. Dit geldt met name voor het pand Delden-Hengelo. Wordt de waterstand te hoog of te laag, dan corrigeert de beheerder het niveau door middel van spuien of pompen. De maatgevende hoge waterstand is dus streefpeil plus 20 cm.

De twee bruggen in de Schelde-Rijnverbinding tussen de Volkerak- en Kreekraksluizen liggen ingevolge het Tractaat Schelde-Rijn uit 1963 op 9,85 + NAP, dat wil zeggen 9,10 m boven een maximale waterstand van 0,75 + NAP, royaal boven het tussen Nederland en België overeengekomen maximale peil van 0,50 + NAP. Gedurende de periode 2001 tot en met 2007 varieerde de waterstand in dit pand tussen minimaal 0,20 m - NAP en maximaal 0,40 m + NAP en bleef dus beneden het overeengekomen maximale peil.

Op het kanaalpand Kreekraksluizen-haven Antwerpen, het zogeheten Antwerpskanaalpand, ligt de zaak anders. Het streefpeil is 1,80 m + NAP, het peil van de Antwerpse havens, maar de laatste jaren houdt men 1,90 à 2,00 m + NAP aan. Hierdoor is de doorvaarthoogte niet langer 9,10 m boven streefpeil, maar 8,90 m. Volgens het rapport ‘Onderzoek naar veiligheidsaspecten van hefbare stuurhuizen in de binnenvaart’ (2001) van de Raad voor de Transportveiligheid “fluctueert de waterstand veelvuldig met een verschil van enige decimeters in relatief kort tijdsbestek”. De Raad constateert dat de bruggen over het Antwerpskanaalpand, dat wil zeggen de Bathsebrug en de drie Kreekrakbruggen, vanwege de waterstandsvariaties niet geheel voldoen aan de norm voor Rijnvaarthoogte (pag. 40-41).

Op de Brabantse kanalen Zuid-Willemsvaart, Wilhelminakanaal en Kanaal Wessem-Nederweert werkt de beherende RWS-dienst met een maximaal kanaalpeil (MAP2), zijnde het peil waarbij de schepen vaarbeperkingen krijgen opgelegd. MAP2 ligt meestal 20 tot 30 cm boven het streefpeil. Daarnaast kunnen translatiegolven optreden. In het meest ongunstige geval kan het tot een opstuwing van 0,45 cm boven het streefpeil komen.

Met twee lagen containers past de Dieze Hopper juist onder de brug (foto J.U. Brolsma)

Het vorenstaande maakt wel duidelijk dat kanaalpeil of streefpeil niet geschikt is om als hoogst bevaarbare waterstand te dienen. De feitelijke waterstand kan verscheidene decimeters hoger zijn. De Richtlijnen Vaarwegen 2011 geven een duidelijke definitie, die de beheerder dient aan te houden:

> *de Maatgevende Hoge Waterstand is de waterstand, die 1% van de tijd overschreden wordt, gemeten over de laatste tien jaar*

1% van de tijd is 3,65 dagen per jaar. Dat komt in orde van grootte overeen met de hoogwaterstremming op de Duitse Rijn van gemiddeld 2,4 dagen per jaar. Het grote verschil is, dat er op kanalen maar enkele decimeters verschil is tussen de hoogst bevaarbare en de gemiddelde waterstand (= kanaalpeil) en op de Rijn vele meters. Het begrip Rijnvaarthoogte is derhalve niet passend bij kanalen. Feitelijk geldt hetzelfde voor de andere brughoogten uit de CEMT-tabel.

3. Berekening doorvaarthoogte

3.1 Voldoende doorvaarthoogte?

In het voorgaande hoofdstuk is aangetoond dat strikte toepassing van de definitie van Rijnvaarthoogte op kanalen een verschil van enkele decimeters geeft tussen de hoogst bevaarbare en de gemiddelde waterstand, terwijl het verschil op de Rijn vele meters bedraagt. Op de Waal en Boven-Rijn ondervindt de containervaart zelden of nooit problemen met de brughoogte. Het is de vraag of toepassing van Rijnvaarthoogte op kanalen tot een situatie leidt, die recht doet aan de streefbeelden uit de diverse beleidsnota's: hoofdtransportassen en doorgaande hoofdvaarwegen tenminste vierlaags containervaart en overige hoofdvaarwegen drielaags containervaart. Dit hoofdstuk geeft het antwoord op die vraag.

3.2 PIANC-rapport

De koppeling van een brughoogte van 7,00 m of 9,10 m aan drie resp. vier lagen containers gaat terug naar het rapport van een PIANC-werkgroep uit 1990. De werkgroep kon toentertijd nauwelijks op bestaande ervaring steunen, containervervoer per binnenschip was immers een nieuw fenomeen. De werkgroep heeft haar becijferingen daarom op een aantal aannamen moeten baseren. Het rapport noemt hoogtematen zonder er verdere uitleg bij te geven. De achterliggende berekeningen zijn niet meer aanwezig en dus niet controleerbaar.

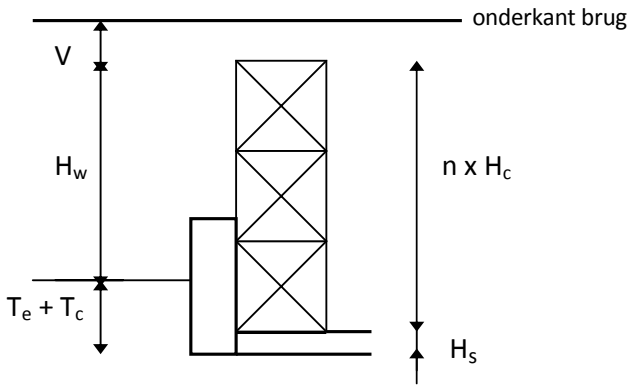
CEMT-klasse	aantal lagen	100% geladen containers	100% lege containers
IV	3	5,3 m	6,2 m
V	4	7,0 m	8,6 m

Tabel 1: Scheepshoogte excl. veiligheidsmarge
(PIANC: Standardization of Inland Waterways' Dimensions, 1990)

Bij de hoogte van de lading telt men doorgaans een veiligheidsmarge van 0,30 m. In de meest ongunstige situatie, dat wil zeggen alleen lege containers aan boord, is volgens PIANC voor drie lagen containers een doorvaarthoogte van 6,5 m nodig en voor vier lagen 8,9 m. De CEMT-aanbevelingen van 7,00 m resp. 9,10 m (= Rijnvaarthoogte) zouden dus toereikend zijn. Over de hoogte van twee lagen containers spreekt het PIANC-rapport niet, noch over klasse VI schepen.

3.3 Berekening scheepshoogte

Inmiddels zijn meer statistische gegevens bekend over containervervoer per binnenschip. Daarmee is een beeld van de huidige praktijk te geven. De berekening maakt gebruik van de volgende formules, welke volgen uit het schema op de volgende bladzijde:



Figuur 2: Schema voor de berekening van de scheepshoogte

$$H_w = (n \times H_c) + H_s - T_e - T_c \quad \text{waarin:} \quad T_c = W / (C_b \times L \times B)$$

Er is in de berekening geen rekening gehouden met inzinking door de spiegeldaling (*squat*) van een varend schip. Het schip zou immers juist onder een brug stil kunnen liggen. De gebruikte symbolen hebben als betekenis:

H_w = scheepshoogte boven de waterlijn
H_c = containerhoogte
H_s = constructiehoogte bodem
T_e = diepgang van het lege schip
T_c = inzinking van het schip ten gevolge van het ladinggewicht
W = gewicht van de lading
L = grootste lengte van het schip
B = uitwendige breedte van het schip
C_b = blokcoëfficiënt
n = aantal lagen containers
V = veiligheidsmarge

De scheepshoogte H_w vermeerderd met een veiligheidsmarge van 0,30 m geeft de brug- of doorvaarthoogte. De Richtlijnen Vaarwegen geven aan, dat de veiligheidsmarge is bedoeld ter ondervanging van onnauwkeurigheid in de kennis van de strijkhoogte, fouten bij het aflezen van hoogteschalen en verticale bewegingen van het schip door golven.

Het type Neokemp (63 x 7,0 m) is ontwikkeld voor de vaart op de Brabantse kanalen met twee lagen containers. Op grond van zijn breedte is dit een klasse III schip. Informatie over de H_s en T_e van het type Neokemp verstrekte de Mercurius Group. Voor de scheepsklassen IV, V en VI heeft het Expertise Innovatiecentrum Binnenvaart (EICB) de overeenkomstige gegevens geleverd. Dit zijn generieke waarden, in individuele gevallen zijn natuurlijk afwijkingen mogelijk.

Uit het rapport 'Containervervoer per binnenschip', door Rijkswaterstaat uitgebracht in december 2011, vermeldt op grond van een aantal enquêtes dat de bezettingsgraad, dat wil zeggen het actuele aantal TEU's aan boord als percentage van het maximale aantal TEU's, op de belangrijke routes tussen Rotterdam, Antwerpen en Duitsland gemiddeld 65% bedraagt. Van de containers is gemiddeld 65% geladen en 35% leeg. Het totale gewicht van een geladen container is op 12,5 ton/TEU te stellen, het gewicht van de lege container is 2,1 ton/TEU. Voor de tamelijk volle romp van een containerschip is een blokcoëfficiënt van 0,9 aangehouden.

Met behulp van de hiervoor vermelde formules en getallen is een spreadsheet ontwikkeld en zijn een aantal berekeningen uitgevoerd. Bijlage 3 vermeldt diverse scenario's, welke zijn samengevat in tabel 2. Daarbij is vooralsnog geen rekening houdend met high-cube containers. Die komen in de volgende paragraaf aan de orde.

CEMT-klasse	aantal lagen	100% geladen containers	uitgangspunten CEMT	gemiddelde belading	100% lege containers
III	2	4,20	4,62	4,75	5,04
IV	3	6,23	6,87	7,06	7,51
V	4	7,96	8,92	9,20	9,88
VI	4	8,13	9,12	9,42	10,11

Tabel 2: Berekende doorvaarthoogte (m) incl. veiligheidsmarge

Voor gemiddelde belading geldt: een bezettingsgraad van 65% bij 65% beladen en 35% lege containers. Voor klasse IV is dus een doorvaarthoogte nodig van (afgerond) 7,50 m bij belading met 100% lege containers en voor klasse V bij eenzelfde scenario een doorvaarthoogte van 9,90 m. De huidige, van de CEMT afgeleide norm voor doorvaarthoogte van 7,00 m resp. 9,10 m voldoet dus niet aan de streefbeelden in de beleidsnota's van de Nederlandse overheid, zijnde geschikt voor drie- resp. vierlaags containervaart. Let wel: een klasse VI schip met vier lagen lege containers komt inclusief veiligheidsmarge op ca. 10,10 m uit, dus nóg iets hoger. Volgens tabel 2 is de doorvaarthoogte conform de CEMT (5,25 m) alleen bij het type Neokemp beladen met twee lagen standaard containers voldoende, ook bij 100% lege containers. Nogmaals, de invloed van high-cube containers is in tabel 2 buiten beschouwing gelaten.

3.4 High-cube containers

De oorspronkelijke ISO-standaard containers zijn 8 voet 6 inch (2,591 m) hoog. De zogenaamde high-cubes zijn 9 voet 6 inch (2,896 m) hoog, dus één voet oftewel 0,305 m hoger dan de standaard container.

De high-cubes hebben inmiddels een marktaandeel van ruim 20% van de TEU's verworven. Fabrikanten denken dat op den duur het type high-cube dé standaard worden voor containers van 40 voet lengte (zie hoofdstuk 7). In de nabije toekomst zal elk schip tenminste één of twee lagen met high-cube containers vervoeren. De consequenties hiervan zijn in de tabellen 3, 4 en 5 in beeld gebracht.

CEMT-klasse	aantal lagen	geen high-cubes	1 laag met high-cubes	2 lagen met high-cubes	3 lagen met high-cubes	4 lagen met high-cubes
III	2	4,20	4,51	4,81	-	-
IV	3	6,23	6,53	6,84	7,14	-
V	4	7,96	8,27	8,57	8,88	9,18
VI	4	8,13	8,44	8,74	9,05	9,35

Tabel 3: Berekende doorvaarthoogte (m) incl. veiligheidsmarge bij 100% bezetting met 100% geladen containers

CEMT-klasse	aantal lagen	geen high-cubes	1 laag met high-cubes	2 lagen met high-cubes	3 lagen met high-cubes	4 lagen met high-cubes
III	2	4,62	4,93	5,23	-	-
IV	3	6,87	7,17	7,48	7,78	-
V	4	8,92	9,22	9,53	9,83	10,14
VI	4	9,12	9,43	9,73	10,04	10,34

Tabel 4: Berekende doorvaarthoogte (m) incl. veiligheidsmarge volgens uitgangspunten CEMT: 100% bezetting met 50% geladen 50% lege containers

CEMT-klasse	aantal lagen	geen high-cubes	1 laag met high-cubes	2 lagen met high-cubes	3 lagen met high-cubes	4 lagen met high-cubes
III	2	4,75	5,05	5,36	-	-
IV	3	7,06	7,36	7,67	7,97	-
V	4	9,20	9,51	9,81	10,12	10,42
VI	4	9,42	9,72	10,03	10,33	10,64

Tabel 5: Berekende doorvaarthoogte (m) incl. veiligheidsmarge bij gemiddelde belading: 65% bezetting, daarvan 65% geladen container

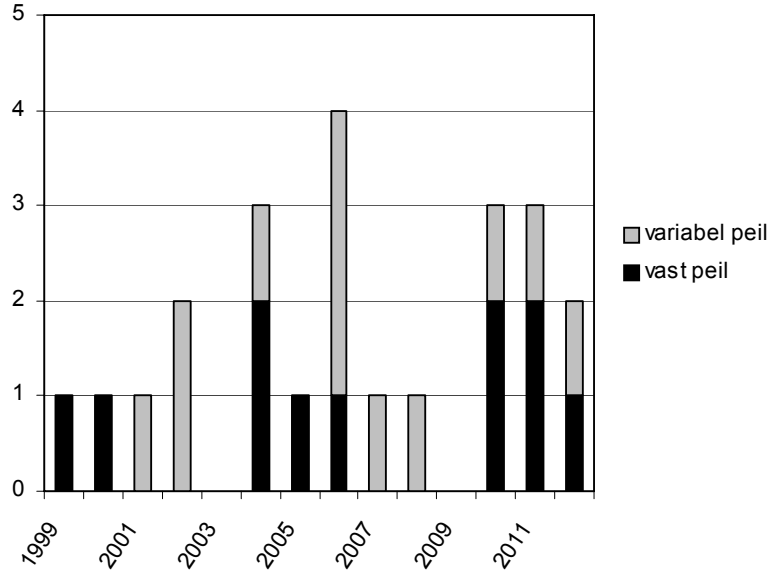
CEMT-klasse	aantal lagen	geen high-cubes	1 laag met high-cubes	2 lagen met high-cubes	3 lagen met high-cubes	4 lagen met high-cubes
III	2	5,04	5,35	5,65	-	-
IV	3	7,51	7,82	8,12	8,43	-
V	4	9,88	10,18	10,49	10,79	11,10
VI	4	10,11	10,42	10,72	11,03	11,33

Tabel 6: Berekende doorvaarthoogte (m) incl. veiligheidsmarge bij 100% bezetting met 100% lege containers

4. Ongevallen

4.1 Statistiek

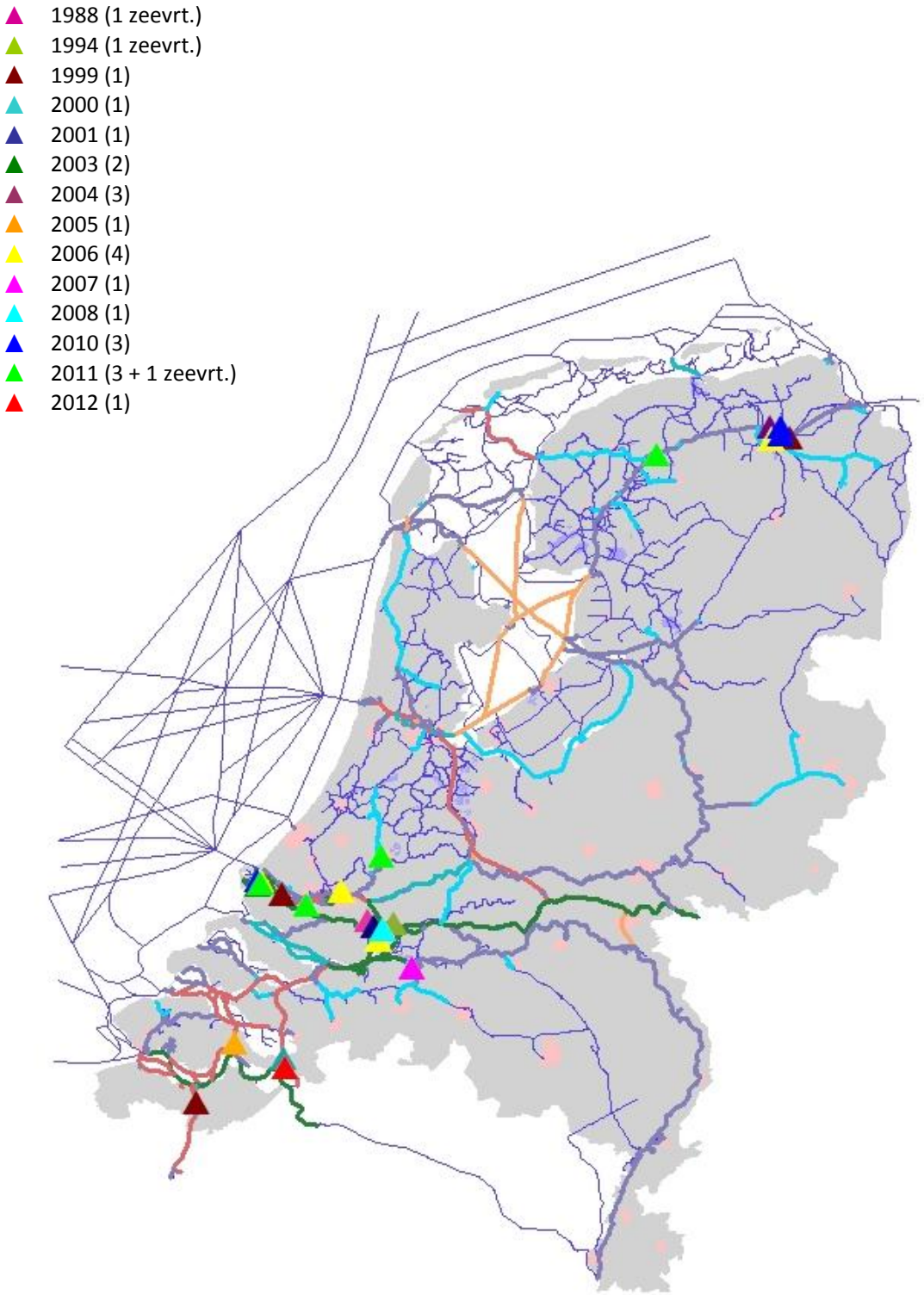
Ter illustratie zijn de aanvaringen van containerschepen met brugoverspanningen uit het Scheepsongevallensysteem (SOS) verzameld over de periode 1999 tot en met 1 september 2012. Gedurende deze 14 jaren hebben zich 23 relevante ongevallen voorgedaan, dus gemiddeld 1,65 per jaar, in sommige jaren geen tot maximaal 4 ongevallen in een jaar. Daarvan vonden 11 plaats op een vaarweg met een vast waterpeil (kanaal) en 12 op een vaarweg met een variërend waterpeil (rivier). De ongevallen waren 11 maal bij daglicht en 12 maal bij duisternis. Er is dus geen uitgesproken 'voorkeur' voor vast of variabel waterpeil, voor daglicht of duisternis. Een aanvaring van een te hoog geladen containerschip met een brug kan dus altijd en overal gebeuren. Figuur 4 op de volgende pagina laat de spreiding van de ongevallen over Nederland zien.



Figuur 3: Aanvaringen schip – brugoverspanning op vaarwegen met vast of variabel peil (bron: SOS)

Gemiddeld 1,65 aanvaringen per jaar lijkt niet veel, maar de gevolgen kunnen ingrijpend zijn, met name voor het weg- of spoorwegverkeer. Een stremming kan vele uren duren. In het slechtste geval moet de brug gerepareerd of vervangen worden, wat niet alleen kostbaar is, maar zeer langdurig verkeershinder oplevert. De schade aan schip en containers valt daarbij in het niet.

Om het soort ongevallen en de ernst van de gevolgen te illustreren volgt hierna een beschrijvingen van vijf gevallen uit de afgelopen jaren.



Figuur 4: Scheepsongevallen met de hoge containerschepen (bron: DVS)

4.2 Voorbeelden van ongevallen

Spoorbrug Gouda

Op 17 november 2011 voer het schip 'Natasha N', een schip van 85 x 9,5 m van de klasse IV, met 36 lege containers (= 72 TEU) in drie lagen met de tweede rij containers vanaf het voorschip gerekend klem onder de spoorbrug te Gouda. In de pers sprak men van 'toucheren'. Het schip met bestemming de containerterminal te Alphen voer met geringe snelheid. Bij inspectie bleek er geen schade van belang aan de brug te zijn en kon het treinverkeer hervat worden. De treindienst tussen Utrecht en Den Haag/ Rotterdam lag niettemin ruim twee uur stil. Als gevolg daarvan ondervonden duizenden treinreizigers langdurig vertraging. Een ernstiger beschadiging van de brug zou niet te overziene gevolgen hebben gehad voor het openbaar vervoer in de Randstad.
In scenario 69 (bijlage 3) is berekend, dat een schip van deze grootte met een lading van 36 containers oftewel 72 TEU een scheepshoogte heeft van 7,26 m. Het digitale bestand Vaarwegen in Nederland (ViN) vermeldt voor de spoorbrug te Gouda een hoogte van 7,04 m boven kanaalpeil, dus 22 cm minder dan in dit geval nodig was, uitgaande van een gemiddelde waterstand. Berekening wijst uit dat een schip alleen met een ballast van tenminste 160 ton met lege containers de spoorbrug kan passeren. Met geladen containers (scenario's 5, 6 en 7) is er geen probleem, voorop gesteld dat er geen sprake is van high-cube containers.

Aanvaring brug Burgumerdaam over het Prinses Margrietkanaal (foto A. de Boer)

Brug Burgumerdaam

De 'Fides', een klasse V schip van 110 m lengte en 11,45 m breedte, geladen met 114 lege containers in 3 lagen, voer op 11 december 2011 op het Prinses Margrietkanaal klem onder het beweegbare deel van de brug Burgumerdaam. De schipper controleerde de doorvaarthoogte door boven het stuurhuis uit te kijken en visueel te schatten of er genoeg ruimte was. Volgens de schipper was er ongeveer 15 à 20 centimeter over voor een vrije doorvaart. Nadat het voorschip de brug al was gepasseerd werd de ruimte tussen de

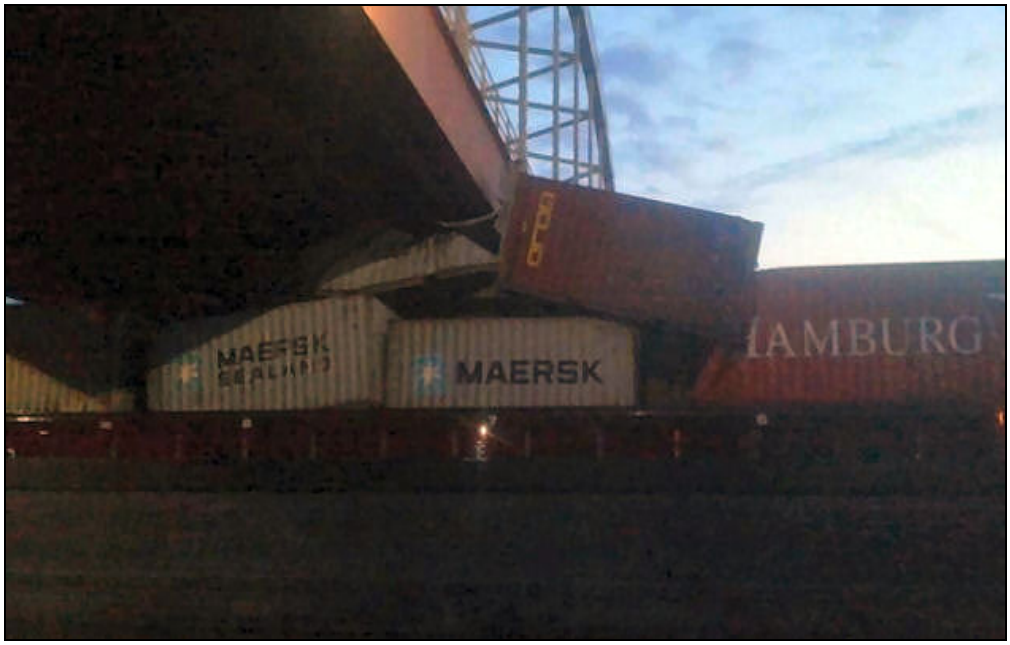
containers en de brug ‘snel kleiner’, waarna een aanvaring volgde. Enkele containers krulden op, de brug had achteraf gezien alleen verfschade. Vermoedelijk was er sprake van een inschattingsfout. De schipper dacht dat hij onder de brug door kon, omdat hij de bruggen van Lemmer, Spannenburg, Uitwellingerga en Ald Skou met dezelfde onderdoorvaarthoogte al was gepasseerd. Maar er was een paar dagen flinke westerstorm geweest, waardoor het water in het noorden van Friesland werd opgestuwd. Volgens krantenberichten stond op dat moment zelfs extreem hoog. De schipper zelf, die wekelijks de brug passeert op weg naar Groningen, verklaarde dat het schip werd ‘opgetild’ toen de eerste twee containers de brug door waren. Op de brug was gedurende een aantal uren slechts één rijstrook beschikbaar, wat tot flinke files in beide richtingen leidde. De scheepvaart kon doorgaan, zij het met verminderde vaart.
Volgens scenario 70 was een doorvaarthoogte van 7,47 m nodig geweest. De gekozen doorvaartopening biedt een hoogte van 7,13 m boven gemiddeld kanaalpeil, wat ook zonder opwaaiing onvoldoende hoog is. De naastgelegen opening biedt een hoogte van 7,45 m. Met de vermelde opwaaiing zou dit waarschijnlijk ook onvoldoende voor de ‘Fides’ zijn geweest.

Willemsbrug

Het containerschip ‘Sensation’ van 135,0 x 17,1 m, capaciteit 398 TEU in vier lagen, is op 18 april 2012 om circa 7.45 uur onder de Willemsbrug klemgevaren. Bij de aanvaring verloor het containerschip zes lege containers. Door de stroming dreven de containers richting de Boompjeskade en de Erasmusbrug. De Havendienst en de Zeehavenpolitie waren snel ter plaatse en hebben de containers naar de kant gebracht. Door de aanvaring is de Willemsbrug tussen 7.45 uur en 11.15 uur afgesloten geweest voor het verkeer. Het scheepvaartverkeer heeft geen grote hinder ondervonden.

Een container zit klem onder de Willemsbrug (foto www.hulpverlening.nl)

Aan boord van het containerschip zijn enkele containers omgevallen en te water geraakt. Andere containers zijn verwrongen en verschoven. De brandweer heeft aan boord een inspectie uitgevoerd om te kijken hoe de containers staan en of ze gevaar opleveren. De berging werd snel ingezet omdat de kans groot was dat de containers zouden zinken. Tegen het eind van de ochtend werden de laatste containers geborgen. Waarschijnlijk is een inschattingsfout de oorzaak van de aanvaring. De waterstand ten tijde van het ongeval bedroeg 0,28 m – NAP (bron: Helpdesk Water). Het was ruim na het tijdstip van hoogwater. De gegevens over het aantal containers in ERINOT (Electronic Reporting International Notification) is niet geheel volledig. Wel blijkt dat een aantal laadkisten vijfhoog gestapeld was en er high-cubes aan boord waren. Twee van de high-cubes stonden op elkaar gestapeld. Volgens de berekeningen van scenario 71 zou dan een doorvaarthoogte van 11,75 m nodig zijn, bij de vermelde waterstand is dat 11,16 m + NAP. De gewelfde Willemsbrug heeft in het midden een doorvaarthoogte van 12,15 m + NAP maar aan de zijkanten slechts 11,15 m + NAP, te weinig voor een uit de aslijn varende 'Sensation'. Hiermee zou de aanvaring te verklaren zijn.



Te hoog voor de Bathsebrug (foto Omroep Zeeland)

Bathsebrug

Het containerschip 'Factofour' van 135,0 m lang en 17,1 m breed heeft op 13 juli 2012 rond 22.00 uur de Bathsebrug over de Schelde-Rijnverbinding geraakt. Door de aanvaring zijn kabels losgekomen, wat een gevaarlijke situatie veroorzaakte. De kabels zijn binnen een dag gerepareerd. Wat de oorzaak van het ongeluk was, is niet bekend. Door de aanvaring raakten enkele containers beschadigd of van hun plek.
De Bathsebrug ligt ten zuiden van de Kreekraksluizen in het zogenaamde Antwerps-kanaalpand, waarin de waterstand gelijk is aan die van het Antwerpse havenbekken. Uit de gegevens van ERINOT blijkt dat het schip beladen was met 331 TEU in 4 lagen met een nuttige lading (excl. containergewicht) van 1629 ton. Er waren geen high-cube containers aan boord. Volgens scenario 72 is de hoogte alsdan 9,09 m, gelijk aan de in ERINOT ver-

melde waarde. De brug heeft een hoogte van 9,10 m boven kanaalpeil. Het peil is na aanleg van het kanaal verhoogd, waardoor de bruggen in dit pand feitelijk over circa 20 cm minder doorvaarthoogte beschikken, dus 8,90 m, bij deze belading te weinig voor het containerschip 'Factofour'.

Ir. Hamersbrug

Op 31 juli 2012 rond 7.30 uur kwam het containerschip 'Mer-Green' met de afmetingen 86,0 x 9,6 m vast te zitten onder de Ir. Hamersbrug in de A59 bij Oosterhout. De weg kruist hier het gedeelte van het open deel van het Wilhelminakanaal waar een getijdenbeweging is.
Het containerschip voer over het Wilhelminakanaal van Oosterhout in de richting van de Amer. Vanwege een tegemoetkomend schip koos de 'Mer-Green' de oostelijke overspanning, die op 7,80 m + NAP ligt, in plaats van de westelijke overspanning op 8,40 m + NAP. De containers van de derde laag schampten de onderkant van de brug. De containers waren voor zover bekend alle leeg. Een aantal liggers van de brug raakte beschadigd. De A59 die over de brug loopt, werd afgesloten. Dat veroorzaakte een file van circa 2 km.
De schipper maakte volgens de politie een inschattingsfout. Hij wilde een tegenligger ontwijken en koos het stuurboordsgat onder de brug, terwijl hij eigenlijk het bakboordsgat had moeten kiezen. De doorgang bleek te laag, waardoor één van de lege containers op het schip klem kwam te zitten onder de brug. Rijkswaterstaat probeerde met snijbranders de container los te krijgen. Ook werd geprobeerd het schip te laten zakken door de ballasttanks te vullen. Om 13.15 uur kwam het schip bij vallend water weer vrij. Het scheepvaartverkeer heeft hinder ondervonden van het vastgelopen schip, omdat er maar één vaarweghelft beschikbaar was.

De 'Mer-Green' klem onder de Ir. Hamersbrug (foto nu.nl)

Het dichtstbijzijnde waterstandsmeetpunt is Keizersveer aan de Bergsche Maas. Dit is nagenoeg even ver van de monding van het Wilhelminakanaal verwijderd als de brug over de A59. Het is derhalve verantwoord eenzelfde waterstand op beide punten aan te nemen. Deze was op 31 juli om 8.30 uur 0,68 m + NAP, een uur na hoogwater, met een opzet van 5 cm ten opzichte van het astronomisch getij (bron: Helpdesk Water). Volgens het scenario 73, dat wil zeggen 100% bezetting met lege containers, zou een doorvaarthoogte van 7,52 m nodig, dus 8,20 m + NAP. De brug bood een hoogte van 7,80 m + NAP. Doordat het schip onder het midden van de gewelfde overspanning voer en misschien enigszins geballast was, was enige extra hoogte beschikbaar, maar onvoldoende om de aanvaring te vermijden.

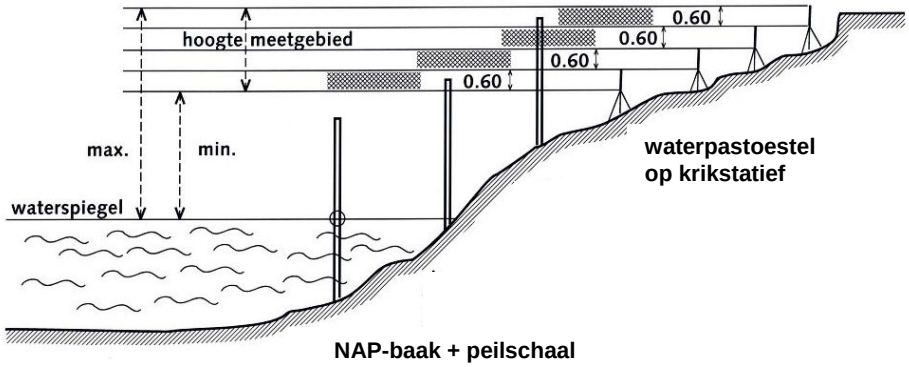
Verfrommelde containers als gevolg van een aanvaring (foto B. de Vrind)

5. Metingen 1996

5.1 Meetmethode

In de zomer van 1996 is onderzoek uitgevoerd naar de hoogte van op de Rijn varende containerschepen. Het onderzoek bestond uit twee delen: een schriftelijke enquête onder schippers van containerschepen en praktijkmetingen op een locatie bij Millingen. Op deze wijze is het gelukt een reeks van 135 valide metingen te verkrijgen, waarvan 89 metingen van schepen met drie lagen containers (66%) en 46 metingen van schepen met vier lagen containers (34%).

Met de toenmalige Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat, thans Data ICT Dienst (DID) is nagegaan welke meetmethode het meest in aanmerking kwam om de hoogte te meten. De eis was: een nauwkeurigheid beter dan + of - 5 cm. Gezien het betrekkelijk geringe aantal metingen is besloten om vanaf een locatie langs de Waal op eenvoudige manier te meten, namelijk een horizontale waterpassing met behulp van krikstatieven. Een krikstatief is een speciaal statief met een verticale kolom van ca. 60 cm, die in combinatie met een waterpasinstrument op de hoogte van het horizontaal te meten punt kan worden gedraaid. Door een serie krikstatieven op een talud te plaatsen kan een hoogteverschil van circa 3 meter worden overbrugd. Als locatie is Millingen aan de Rijn gekozen, vanwege de aanwezigheid van een talud met voldoende hoogteverschil en peilschalen, waarmee direct de relatie met NAP kon worden gelegd.



Figuur 3: Schematische weergave van de in 1996 gebruikte meetmethode

Bij het naderen van een te meten schip is, na keuze van het juiste krikstatief, de waterpas ingesteld op de maximum hoogte van de containers aan boord. In combinatie met een baakaflezing is dan de hoogte ten opzichte van de waterspiegel bekend. Afgesproken is tijdens de meting geen wal-schip radiocontact te hebben en geen gegevens over schip en lading op te vragen, teneinde het verloop van de meting zelf zo min mogelijk te storen. Tegelijk met de hoogtemeting is een snelheidsmeting uitgevoerd door het tijdsverloop tussen passage van twee meetraaien te klokken.

De volgende gegevens zijn geregistreerd:

- naam schip
- Europanummer (thans ENI-nummer)
- scheepslengte
- vaarsnelheid (voor berekening inzinking)
- aantal lagen containers
- locatie hoogste container op het schip
- vaarrichting
- eventuele bijzonderheden

Met het aantal lagen containers wordt bedoeld: de hoogste laag waarop de containers gestapeld zijn. De bovenste laag is niet altijd geheel vol. Bij de meting zijn van elk passerende containerschip enkele foto's genomen om eventuele onduidelijkheden in de uitkomsten achteraf te verifiëren.

Meting met krikstatief, 1996 (foto J.U. Brolsma)

Om te beginnen is een proefmeting uitgevoerd om de haalbaarheid van de meetmethode vast te stellen. De methode bleek arbeidsintensief, doch goed uitvoerbaar. Om een voor statistische verwerking adequaat aantal metingen te verkrijgen, zijn in de zomer van 1996 vijf meetsessies van drie dagen (namelijk dinsdag, woensdag en donderdag, zijnde de dagen waarop de meeste containerschepen te verwachten zijn) gedurende de daglichtperiode (7 - 22 uur) gehouden. In totaal is er dus 15 dagen gemeten. De vijf meetsessies vielen in de periode mei tot en met augustus.

5.2 Meetresultaten

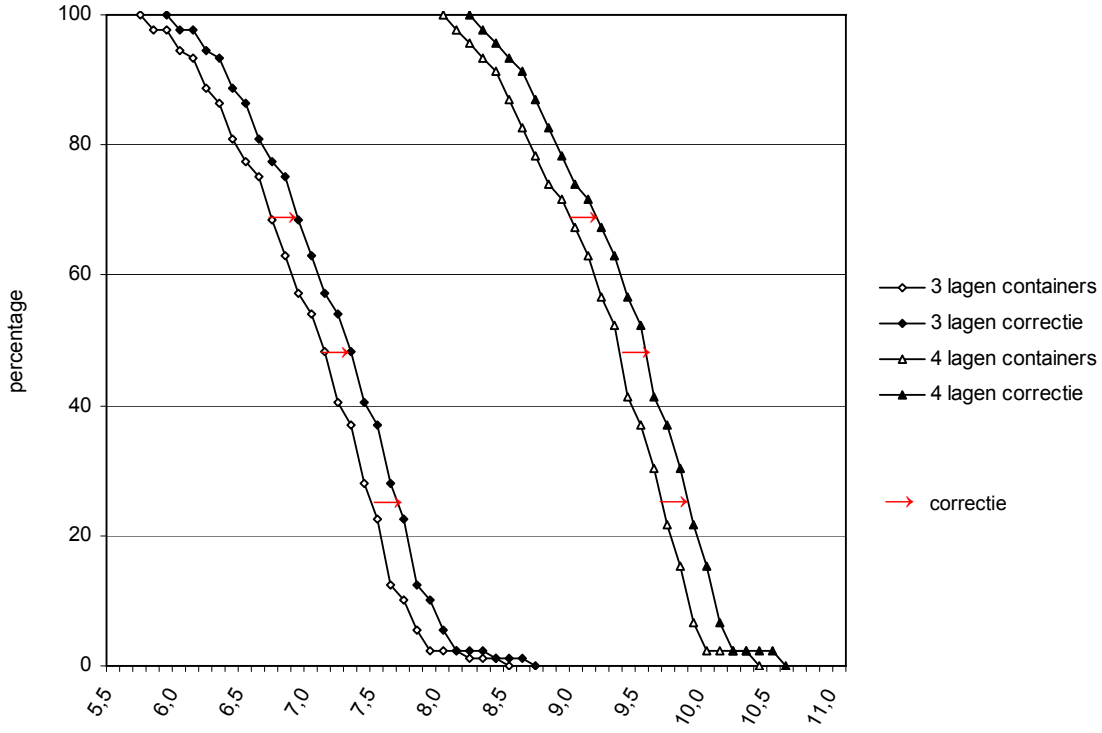
Gedurende 16 dagen zijn 135 valide hoogtemetingen verricht, waarvan 89 van schepen met 3 lagen containers (66%) en 46 van schepen met 4 lagen (34%). Van de schepen is het hoogste punt van de lading gemeten. Containerschepen zijn immers in staat het stuurhuis tot onder het niveau van de lading te doen zakken, dus is de lading maatgevend voor hoogte. De schepen vervoerden gemiddeld 185 TEU, de bezettingsgraad bedroeg gemiddeld 66%.

richting	minimum	gemiddeld	maximum
opvarend	2,9	3,7	4,1
afvarend	4,3	5,4	6,8

Tabel 7: Gemeten vaarsnelheid over de grond (m/s), 1996

Van 58 opvarende en 50 afvarende schepen is een snelheidsmeting beschikbaar (tabel 7). De opvarende schepen voeren gemiddeld 3,7 m/sec (= 13,4 km/u) over de grond, de afvarende schepen voeren gemiddeld 5,4 m/sec (= 19,4 km/u).

De snelheden over de grond worden natuurlijk beïnvloed door de stroomsnelheid van de rivier. Tijdens de meetdagen varieerde de waterstand van 8,08 m tot 9,08 m boven NAP. Dit is doorsnee een meter lager dan het gemiddelde van 9,50 m + NAP en een meter hoger dan de OLR van 7,50 m + NAP bij de Pannerdensche Kop, circa 1 km benedenstrooms van Millingen. Bij OLR is een waterdiepte van 2,80 m beschikbaar. De waterdiepte tijdens van de metingen was gemiddeld dus 3,80 m.
De stroomsnelheid varieerde gedurende de metingen van 0,75 m/sec tot 0,95 m/sec. Als gemiddelde is een stroomsnelheid van 0,85 m/sec (= 3,1 km/u) aan te houden. De gemiddelde snelheid door het water van een opvarend schip komt dan op 4,7 m/sec en afvarend op 4,6 m/sec (= 16,4 km/u), nagenoeg gelijk. Ten opzichte van het water vaart men in beide richtingen immers even snel. De gemeten hoogten zijn die van varende schepen. Deze hebben vergeleken met een stilliggend schip een diepgangsvermeerdering, dus hoogtevermindering, door inzinking in hun spiegeldalingskuil. Voor een breed vaarwater als de Waal en de hierboven aangegeven vaarsnelheid bedraagt de inzinking circa 20 cm, zo stelt het rapport 'Containerhoogtemetingen 1996'.
Bij nadere beschouwing is dit niet correct. Bij een waterdiepte van 3,80 m en scheepssnelheid van 4,6 m/s bedraagt de inzinking voor een klasse Va schip, berekend volgens de bij DVS gebruikte methode De Koning Gans (zie bijlage 5) niet 20 maar 40 cm. De waarden uit het rapport uit 1996 moeten dus met 20 cm vermeerderd worden. Deze verschuiving is in figuur 6 in beeld gebracht.



Figuur 6 : Onderschrijdingskromme voor scheepshoogte (m) bij stilliggend schip, 1996

De hoogten, behorende bij drie kenmerkende onderschrijdingswaarden zijn vermeld in tabel 8. De waarde van 90% onderschrijding wil zeggen, dat de betreffende hoogte door slechts 10% van de schepen overschreden wordt. Schepen met 2 of 5 lagen containers zijn in 1996 niet gemeten.

aantal lagen	50%	90%	95%
3	7,25	7,90	8,00
4	9,50	10,05	10,15

Tabel 8: Scheepshoogte (m) horend bij een percentage onderschrijding, 1996

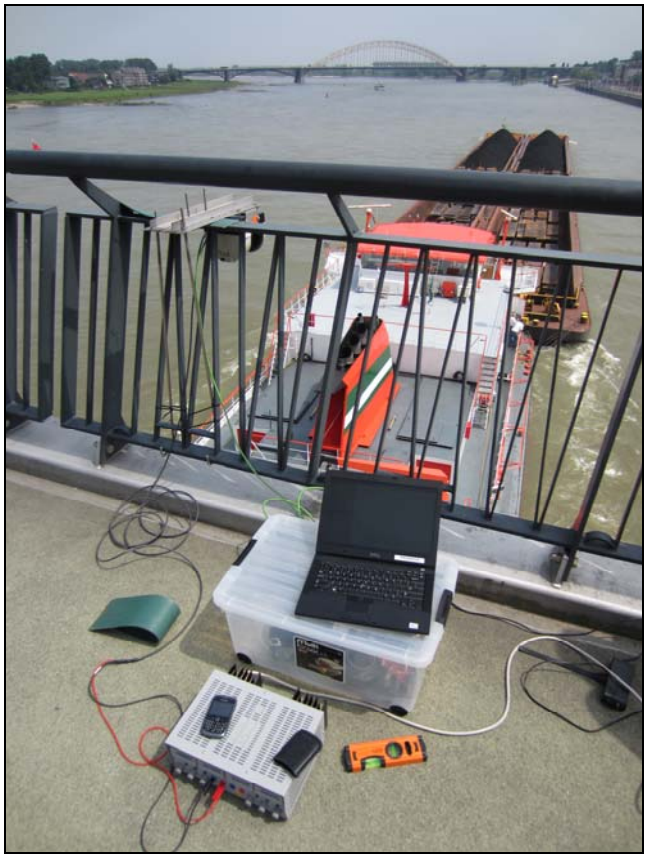
In 1996 is parallel aan de metingen een enquête gehouden, waarin de schippers onder meer is gevraagd naar het aandeel high-cube containers, containers van 9½ voet hoog. Uitgedrukt in TEU bedroeg het aandeel high-cubes 7%.

Tijdens de meetcampagne van 1996 is tevens gevraagd naar de mogelijkheid te ballasten. Het bleek dat 68% van de ondervraagde containerschepen de mogelijkheid had ballastwater in te nemen, 32% van de schepen beschikt niet over deze mogelijkheid. De hoeveelheden liepen uiteen van 35 m^3 tot 1300 m^3, met het zwaartepunt in de categorie 50 à 200 m^3. Het gewicht van 200 m^3 ballastwater doet een klasse V schip 18 cm extra inzinken, te weinig om de hoogte substantieel te verminderen. 1300 m^3 ballastwater geeft een extra inzinking van 1,16 m, de moeite waard, maar zelden voorkomend. Ballast wordt vooral gebruikt voor het trimmen van het schip, dat wil zeggen, zorgen dat een ongelijkmatig beladen schip weer horizontaal in het water komt te liggen. Ballasten om de doorvaarthoogte te beperken kwam ternauwernood voor. In feite was er gedurende de metingen van 1996 maar één geval dat hiervoor in aanmerking kwam, een schip dat 1300 m^3 ballast kon innemen. De schepen met een kleine ballastcapaciteit hebben in de regel een beperkt pompvermogen en zijn al om die reden weinig genegen om ballastwater in te nemen. Alle ballastwater moet er immers eens weer uitgepompt worden.

6. Metingen 2012

6.1 Meetmethode

De meetmethode uit 1996 was niet opnieuw bruikbaar vanwege het arbeidsintensieve karakter, maar ook omdat de toentertijd gebruikte krikstatieven niet in voldoende mate beschikbaar zijn. De methode is in detail beschreven in de nota's 'Hoogtemeting containerschepen, opdrachtnummer 8212-0155-000' van Fugro GeoServices, uitgebracht in juli en oktober 2012. Het eerste rapport heeft betrekking op de proefmetingen, het tweede op de meetcampagne zelf. Derhalve is in dit rapport met een korte beschrijving volstaan.



De proefmeetopstelling op en definitieve opstelling onder de spoorbrug te Nijmegen (foto's Fugro)

De meetopzet is ontworpen door Fugro op basis van laserscanning. Laserscanners van het type SICK LMS511 zijn bevestigd aan de trein- en fietsbrug over de Waal bij Nijmegen. Tijdens een twee dagen durende proef is de werking van het systeem onderzocht door vergelijking met de resultaten van een traditionele meting. De specificaties van de scanner zijn vermeld in tabel 9 op de volgende pagina. Er is voor dit type scanner gekozen omdat deze, in vergelijking tot de laserscanners die doorgaans in de landmeetkunde worden gebruikt, relatief goedkoop zijn, terwijl ze ruimschoots voldoen aan de specificaties voor deze meting. Daarnaast heeft de scanner voordelen, die relevant voor deze metingen zijn: volledig waterdicht, zeer laag stroomverbruik.

parameter	waarde	bijzonderheden
afstandsbereik	65 m	voor de metingen gesteld op 40 m
nauwkeurigheid	systematisch: 35 mm statistisch: 10 mm	
hoekresolutie	0,166 graad	komt overeen met ca. 5 cm op 20 m hoogte; dit is de resolutie dwars op de rivier
frequentie	50 Hz / 100 Hz	bij een snelheid van het schip van 5 m/s komt 100 Hz overeen met een resolutie van 5 cm in lengterichting van het schip
scanhoek	190°	
openingshoek	3.6 mrad	komt overeen met een spotgrootte van 7 cm op 20 m hoogte

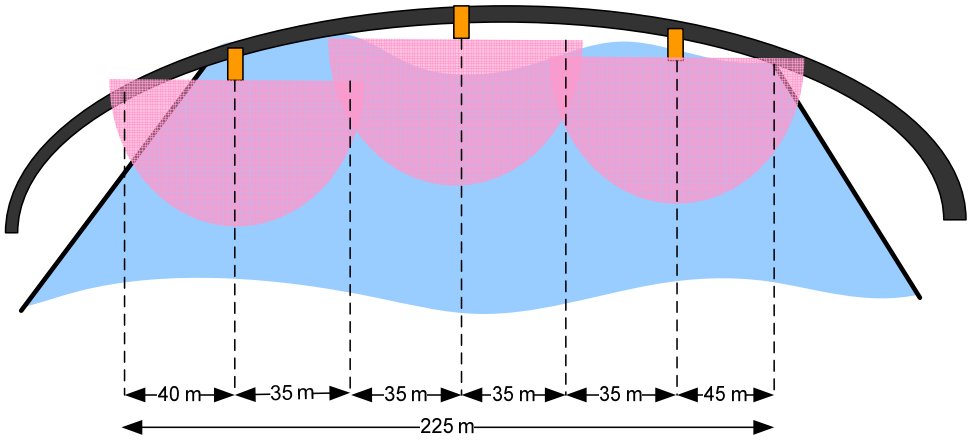
Tabel 9: Specificaties laserscanner LMS512

Alle metingen zijn gerelateerd aan een hoogte ten opzichte van NAP. De hoogte van de scanner is bepaald door middel van een tachymetrische meting vanuit drie NAP-peilmerken. Fugro heeft continu de waterstand ter plekke gemeten, opdat de containerhoogtes achteraf om te rekenen zijn naar hoogte ten opzichte van de waterspiegel. Van de schepen is de hoogte eveneens bepaald door waterpassing met een toestel op krikstatief, overeenkomstig de in 1996 toegepaste meetmethode (vorige hoofdstuk). De resultaten van de waterpassing zijn gebruikt voor de validatie van de laserscanmetingen.

De metingen zijn uitgevoerd met behulp van software, die specifiek is ontwikkeld om de SICK LMS511-scanner aan te sturen en de meetresultaten op te slaan. Daarenboven is een programma ontwikkeld om de meetdata om te zetten naar een puntenwolk. Uit de puntenwolk kunnen vervolgens profielen en hoogte afgeleid worden. Deze methode is wèl geschikt voor het meten van hoogte, maar niet voor het bepalen van oppervlakte en volume.

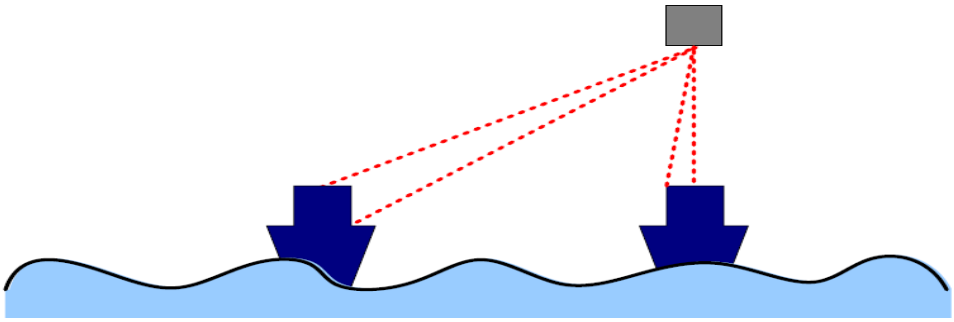
6.2 Proefmetingen

De metingen bleken in eerste instantie niet te voldoen aan de vereiste precisie: een standaardafwijking kleiner dan 5 cm. De afwijking was het grootst bij schepen die zijn gemeten met een grote scanhoek. Een scanhoek rond de 0° betekent dat het schip vrijwel recht onder de scanner doorgevaren is. Een scanhoek richting +90° of -90° duidt op een schip, dat op grotere afstand van de scanner gevaren heeft (figuur 8). Het gevolg hiervan is een grotere scanafstand en een scherpe insnijding. Beide effecten komen de nauwkeurigheid niet ten goede. Het bleek dat de scanner niet exact horizontaal opgesteld stond. Het gevolg daarvan is, dat de onder een grote hoek verrichte metingen een grote afwijking vertonen. In de eigenlijke meetcampagne is dit ondervangen door de scanner te monteren aan een constructie met automatisch stelschroevenblok. Hiermee is volgens Fugro aan de vereiste nauwkeurigheid voldaan. Uiteraard is tevoren nauwgezette calibratie van het instrumentarium nodig, opdat de vereiste nauwkeurigheid wordt behaald. Dit bleek inderdaad het geval te zijn.



Figuur 7: Opstelling van de scanners boven de rivier (afb. Fugro)

Op basis van de meetresultaten stelde Fugro een maximale horizontale meetafstand van 45 meter voor. De overspanning over de Waal bedraagt ongeveer 225 meter. Figuur 7 toont schematisch de opstelling van de drie scanners. Van elk schip zijn derhalve drie simultane hoogtemetingen gedaan. De meest nauwkeurige meting is afkomstig van een scanner, die recht boven het schip hangt, rechts in figuur 8.



Figuur 8: Nauwkeurigheid in relatie tot hoek van scannen (afb. Fugro)

Gedurende de metingen is de waterstand bepaald door middel van zogeheten divermetingen, drukmeters die op een bekende hoogte in een peilbuis zijn geplaatst. Als gevolg van golfbewegingen en voorbijvarende schepen, kwamen grote uitslagen in de gemeten waarden voor. De standaardafwijking van de divermetingen bedroeg 1,5 centimeter.

6.3 Meetcampagne

De scanners zijn eind september 2012 opgehangen. Er zijn enkele controlemetingen uitgevoerd, welke aan de vereiste nauwkeurigheid bleken te voldoen. De feitelijke metingen zijn op 1 oktober begonnen en liepen tot 28 oktober met een onderbreking van 11 tot 14 okto-

ber vanwege een storing in het systeem. Oktober valt in de periode van het jaar, waarin het meeste scheepvaartverkeer te verwachten is.

Tegelijk met het automatisch inwinnen van hoogtegegevens zijn scheeps- en ladinggegevens geregistreerd door medewerkers van de firma SwetsODV, die op weekdagen van 8 tot 16 uur op de verkeerspost Nijmegen waren gestationeerd. De vereiste gegevens zijn te vinden in het volgsysteem ERINOT (Electronic Reporting International Notification), dan wel per telefoon aan de schipper gevraagd. De informatie over vaarsnelheid wordt ontleend aan gegevens van het AIS (Automatisch Identificatie Systeem). Tevoren is de scheepvaart geïnformeerd over de metingen en gevraagd medewerking er aan te verlenen.

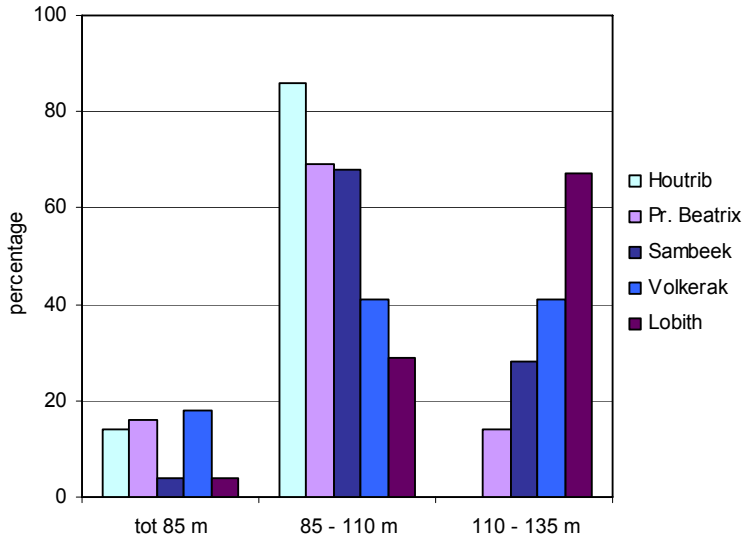
Tijdens de meetcampagne passeerden volgens het ERINOT 518 containerschepen de spoorbrug te Nijmegen. Van niet alle schepen kon Fugro de gegevens uit het ERINOT of door middel van AIS verkrijgen. Daardoor bleven uiteindelijk 328 valide hoogtemetingen van containerschepen over. De registraties van SwetsODV leverden onder andere informatie over het aantal lagen containers aan boord. Uiteindelijk zijn van 137 schepen zowel een valide scannermeting als een registratie van het aantal lagen containers beschikbaar. Enkele waarnemingen zijn geschrapt, omdat ze buiten het aannemelijke bereik lagen. Het aantal valide metingen is weergegeven in tabel 10.

aantal lagen	schepen	aandeel
2	22	16 %
3	73	53 %
4	35	26 %
5	7	5 %
totaal	137	100 %

Tabel 10: Geregistreerd èn gemeten aantal lagen containers

Grote containerschepen, dat wil zeggen 135 m lengte of de tot 185 m lange koppelverbanden zijn sterk dominant: de gemiddelde lengte van de passerende containerschepen is 130 m, 70% is gelijk aan of langer dan 135 m. De gemiddelde breedte bedroeg 13,1 m, meer dan de 11,4 m van een klasse V schip en iets minder dan de 14,2 m van een klasse VI schip. Een klasse VI schip van 135 x 14,2 m heeft een capaciteit van ca. 340 TEU. De capaciteit van het gemiddeld geregistreerde schip is alsdan op 300 TEU te stellen.

Een analyse van de in 2012 in NIS geregistreerde vrijvarende containerschepen (dus exclusief duw- en koppelverbanden) te Lobith (Rijn), Volkeraksluizen (Schelde-Rijnverbinding), Sambeek (Maas), Prinses Beatrixsluizen (Amsterdam-Rijnkanaal) en Houtribsluizen (IJsselmeer) wijst uit, dat de schepen van 110 tot en met 135 m bij Lobith inderdaad in de meerderheid zijn (figuur 9). Bij de Volkeraksluizen houden de lengteklassen 85-110 m (DVS scheepsklasse M0 tot en met M6) en 110-135 m (klasse M9 + M11 + M12) elkaar in evenwicht, elders heeft 85-110 m (klasse M7 + M8 + M10) de overhand. Landelijk is de tendens: groei in de categorie 110-135 m. Voor een specificatie van de DVS-klassen: zie Richtlijnen Vaarwegen.

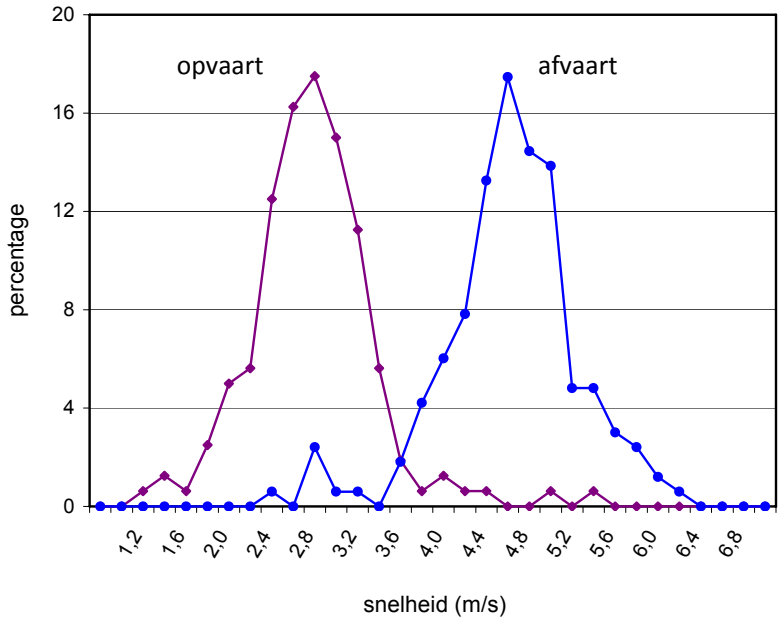


Figuur 9: Lengte van containerschepen anno 2012 (bron: NIS)

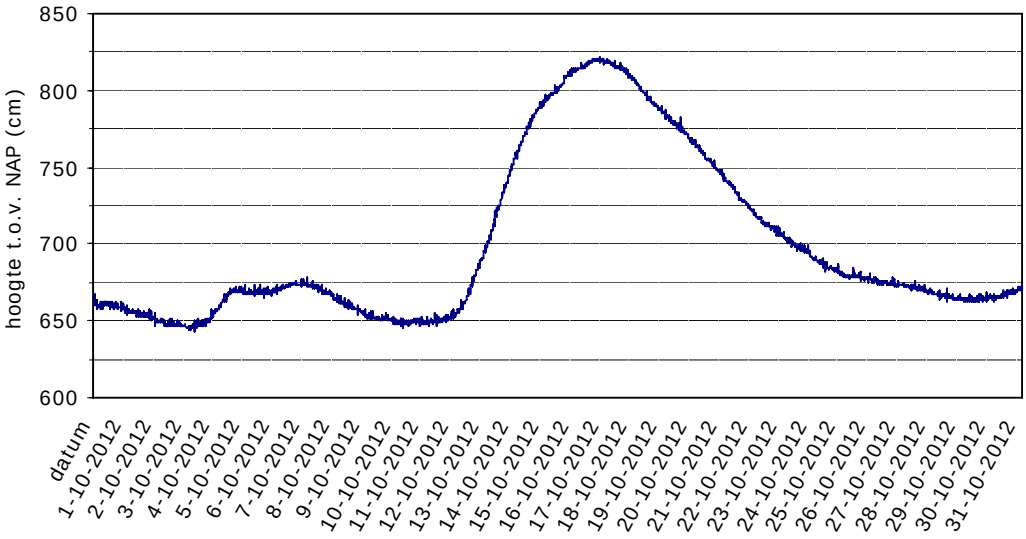
Bij 150 schepen is zowel het aantal containers aan boord als het aantal high-cube containers aan boord geregistreerd. Gemiddeld hadden de schepen 195 TEU aan boord. Bij een 300 TEU schip is de bezettingsgraad alsdan 65%. Dit getal is in lijn met eerdere onderzoeken (zie onder meer 'Containervervoer per binnenschip', DVS 2012) en dus representatief te achten. Het gemiddelde aantal high-cubes aan boord was 43 oftewel 65 TEU, dus 34%. Dit getal is hoger dan het getal van 17%, gemeten op basis van aantal containers (22% van de TEU's), dat uit het ERINOT volgt voor de Rijnvaart in het algemeen (bijlage 3). Het is aannemelijk dat dit een kwestie van toeval is vanwege de betrekkelijk kleine steekproef, die de metingen vormen. Een andere mogelijkheid is, dat ERINOT niet goed wordt ingevuld. Achteraf is niet te achterhalen wat de oorzaak is geweest. Slechts één van die 150 schepen gaf aan geen high-cube containers aan boord te hebben. In de Rijnvaart is de aanwezigheid van high-cube containers aan boord dus als standaard te beschouwen! In de hoogste stapel containers bevinden zich veelal 2 high-cubes (26% van de gevallen), 3 high-cubes (45%) of 4 high-cubes (16%).

Van 326 containerschepen is een valide snelheidsmeting op basis van AIS-data beschikbaar (figuur 10), waaronder 159 opvarende (oostwaarts) en 169 afvarende (westwaarts) schepen. De opvarende schepen hadden over de grond gemeten gemiddeld een snelheid van 2,9 m/sec (= 10,4 km/u). De afvarende schepen voeren gemiddeld 4,7 m/sec (= 16,9 km/u). Het gemiddelde van op- en afvaart ligt op 3,8 m/s (13,7 km/u).

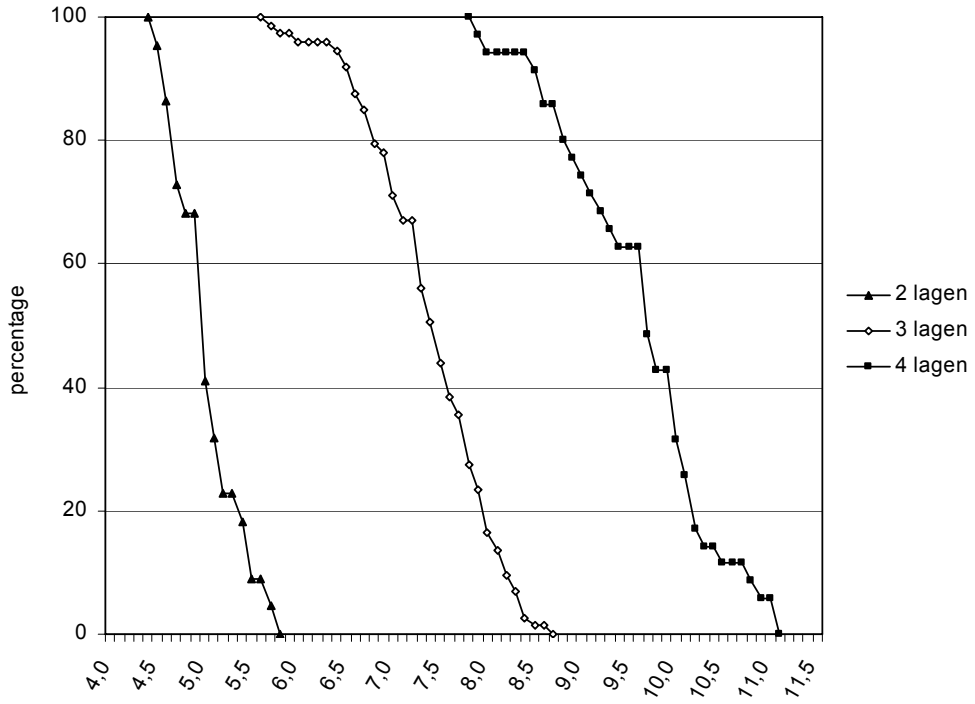
De twee krommen lijken veel op elkaar, zij het dat de toppen 1,8 m/s verschoven zijn. Dit is het effect van stroom mee of stroom tegen: het stroomeffect bedroeg gemiddeld 0,9 m/s (= 3,2 km/u). De waterstand was tijdens de meetcampagne gemiddeld 7,00 m + NAP, gemeten in de haven van Nijmegen (figuur 11), ter hoogte van de meetlocatie. Deze waterstand was 70 cm lager dan het jaargemiddelde ter plaatse van 7,70 m + NAP. De stroomsnelheid zal derhalve ook iets lager dan gemiddeld zijn geweest.



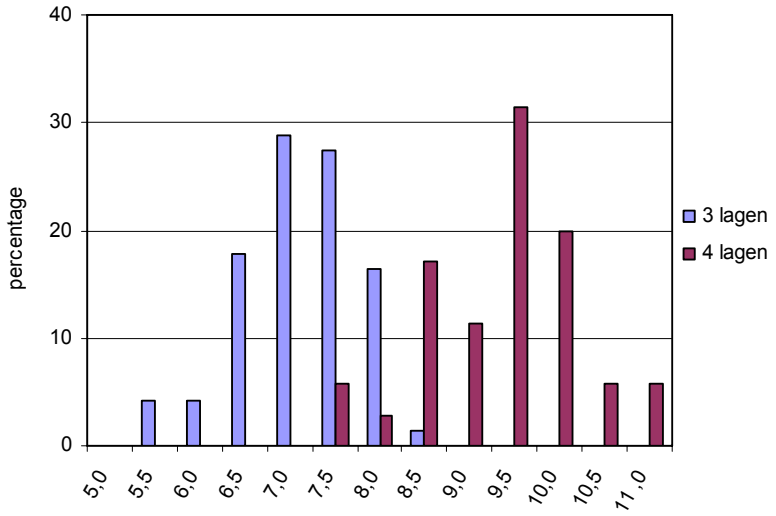
Figuur 10: Scheepssnelheden over de grond gemeten



Figuur 11: Waterstand haven Nijmegen in oktober 2012



Figuur 12: Onderschrijdingskrommen voor scheepshoogte (m) bij stilliggend schip, 2012



Figuur 13: Histogram scheepshoogte (m) bij stilliggend schip
(5,0 m betekent: hoogte tussen 5,0 en 5,5 m)

De gemeten hoogten zijn die van varende schepen. Deze hebben vergeleken met een stilliggend schip een diepgangsvermeerdering, de zogeheten *squat*, door inzinking in hun spiegeldalingskuil. Dit resulteert in een hoogtevermindering tijdens de metingen, die achteraf gecompenseerd moet worden. Een schip kan immers ook stil komen te liggen

onder een brug. Deze inzinking wordt sterk bepaald door de aanwezige waterdiepte. Een waterstand van 7,00 + NAP te Nijmegen is 1,55 m boven de ter plaatse geldende OLR. Bij OLR is 2,80 m waterdiepte beschikbaar, dus tijdens de metingen 4,35 m. Bij deze waterstand, een gemiddelde snelheid van 3,8 m/s en de berekende gemiddelde diepgang van 2,2 m bedraagt de inzinking van een klasse V of VI schip van 135 x 14,2 m, berekend met de door DVS gehanteerde methode De Koning Gans (bijlage 5) 17 cm. Deze waarde is als opslag verwerkt in de figuren 12 en 13. Voor schepen met 2, 3 of 4 lagen containers zijn de onderschrijdingshoogten volgend uit figuur 12 in tabel 11 weergegeven.

aantal lagen	50%	90%	95%
2	4,95	5,50	5,70
3	7,40	8,20	8,35
4	9,70	10,75	10,90

Tabel 11: Gemeten scheepshoogte (m) horend bij een percentage onderschrijding bij een stilliggend schip, 2012 (excl. veiligheidsmarge)

In de Richtlijnen Vaarwegen is brughoogte gekoppeld aan de strijkhoogte van 90% van de lege schepen in een bepaalde klasse. Strijkhoogte is per definitie de hoogte van een stilliggend schip met alle strijkbare onderdelen (radar, masten, antennes e.d.) gestreken. Het is dan consequent om ook voor containerlading de grens bij 90% te leggen.

De te Nijmegen passerende containerschepen is gevraagd naar de mogelijkheid om te ballasten. Van de 188 schepen, die een volledig antwoord gaven, bleek 89% te kunnen ballasten met een gemiddelde ballastmogelijkheid van 370 m^3. De ballastmogelijkheden liepen uiteen van 20 tot 1200 m^3. Opmerkelijk is dat van de schepen met de mogelijkheid tot ballasten 84% aangaf géén ballast te hebben ingenomen. De gemiddelde hoeveelheid ballast bedroeg 140 m^3 (= 140 ton) met uiterste waarden van 15 tot 500 m^3.
De ballast van 140 m^3 doet een klasse V schip circa 12 cm dieper inzinken en een klasse VI schip nog minder. Dit bevestigt de stelling dat ballast vooral bedoeld is en ook gebruikt wordt om het schip te stabiliseren, dat wil zeggen de effecten van ongelijke belading te compenseren en slagzij tegen te gaan. De ballast is, uitzonderingen daargelaten (zie paragraaf 7.2) niet bedoeld om de scheepshoogte te verminderen.

7. Ontwikkelingen

7.1 Zeevaart

In de zeevaart is een doorbraak geweest naar Ultra Large Container Carriers (ULCC), schepen van meer dan 10.000 TEU. Dergelijke schepen zijn vooral bestemd voor de dienst van Europa naar het Verre Oosten. Inmiddels zijn meer dan honderd ULCC's in de vaart of besteld. De Deense rederij Maersk heeft orders geplaatst voor twintig eenheden van 18.000 TEU met afmetingen 400 x 59 m en 14,5 m diepgang, met een optie voor nog eens tien exemplaren. Het zijn dubbelschroevers, die ontworpen zijn voor een dienstsnelheid van 19 knopen. Kosten: $ 190 miljoen per stuk. Ze zijn te breed voor de nieuwe sluizen in het Panamakanaal, die 55 m wijd worden en niet verder gaan dan schepen van omstreeks 12.500 TEU.

Artist-impression van een schip van de Triple-E klasse (afb. Maersk Lines)

Het is opmerkelijk dat deze zogeheten Triple-E schepen (Economy of scale, Energy efficient, Environmentally improved) van Maersk ongeveer dezelfde breedte hebben als die van het Malaccca-max schip, een ontwerp van prof. N. Wijnolst van enkele jaren geleden. Maar de diepgang is veel minder dan de 20 m van de Malacca-max, de grootste diepgang die mogelijk is in de Straat Malacca. Maersk heeft in de afweging waarschijnlijk meegenomen, dat er maar weinig containerhavens in de wereld zijn die schepen met 20 m diepgang kunnen ontvangen. De eerste van deze Ultra Large Container Carriers (meer dan 10.000 TEU) komt medio 2013 in de vaart. Volgens plan zullen de schepen slechts drie havens in Europa aandoen: Rotterdam, Bremerhaven en Felixstowe. Voor de zeehavens betekent deze ontwikkeling, dat de containers in zeer grote hoeveelheden tegelijk binnen komen en een groot beslag op de terminalruimte leggen. Om die reden moeten ze zo snel mogelijk naar het achterland of over zee afgevoerd worden met zo groot mogelijke eenheden.

7.2 Binnenvaart

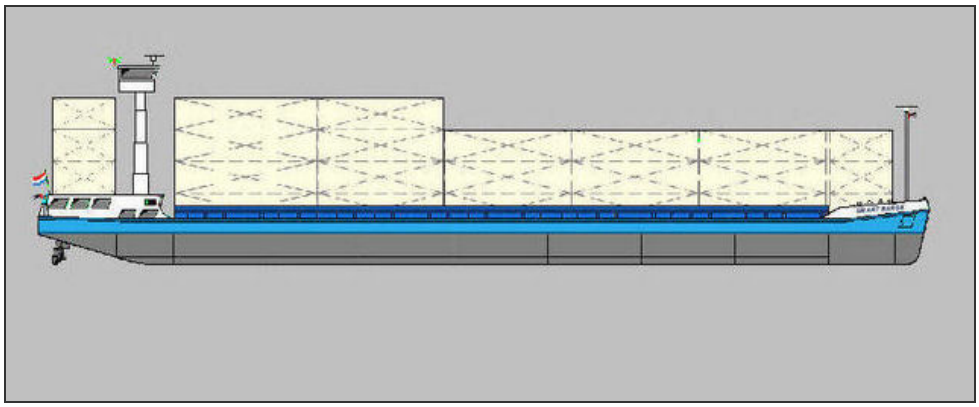
Bij de planning van Maasvlakte 2 is een grote rol aan de binnenvaart toegedacht. Prognoses reppen van een verdubbeling of verdrievoudiging van het totale containervervoer per binnenschip. Om die ambitie te realiseren is het absoluut nodig, dat de binnenvaart bij elke zeeterminal eigen kaden en kranen krijgt. Een consequentie is dat er vooral vraag zal zijn naar grote binnenschepen van klasse Va, klasse VIa en koppelverbanden. Met het laatste wordt bedoeld: een motorschip met een ervoor of ernaast gekoppelde duwbak of duwbakken. De laatste jaren is er een ontwikkeling naar motorschip met permanente duwbak. De achtersteven van de duwbak sluit letterlijk naadloos aan op de boeg van het schip, opdat de overgang zo min mogelijk weerstand door het water veroorzaakt. Men noemt dit ook wel een zwaluwstaartverbinding.

Koppelverband met zwaluwstaartverbinding (foto: Leo Schuitemaker)

Het is ook denkbaar dat een pendeldienst met duwkonvooien naar het achterland ontstaat, met name naar Duisburg. Duwbakken van het type Europa IIa zijn feitelijk gebouwd om erts te vervoeren en door hun grote eigen gewicht niet optimaal geschikt voor containers. Dit geldt niet of in mindere mate voor het type Europa III, dat nog in studie is. De gedachte is met vier bakken met de afmetingen 110 x 12,5 m met een gezamenlijk laadvermogen van 1024 TEU van Rotterdam naar Duisburg te pendelen. De containers zouden dan niet gesorteerd naar verlader of eindbestemming in de bakken geplaatst worden. Pas op de terminal in Duisburg vindt de sortering plaats en worden de laadkisten naar eindbestemming in gewone containerschepen geplaatst. Veel hangt af van de mate, waarin verladers bereid zijn samen te werken en iets van hun greep op de vervoersketen uit handen te geven.

Men zoekt de innovatie niet alleen in grote schepen, maar ook in de kleine en middelgrote maten. Als voorbeeld is te noemen het type Neokemp, dat speciaal ontworpen is voor de vaart op de kleine Brabantse kanalen met lage bruggen (zie de foto op pagina 16). In de zijtanks kan de Neokemp maximaal 140 m^3 ballastwater innemen. Dit geeft een extra inzinking van 35 cm. Extra inzinking is uiteraard alleen mogelijk als het kanaal voldoende diep is. Juist kleine kanalen schieten nogal eens tekort als het om diepte gaat!

De Smart Barge, een containerschip van 86 x 11,45 m met, door een uitgekiend ontwerp, een capaciteit van maximaal 132 TEU in drie lagen en 181 TEU in vier lagen. Zelfs op de woning kunnen containers geplaatst worden. Het onderwaterschip is geoptimaliseerd voor de vaart op kanalen met 15 tot 18,5 km/uur. In zij- en bodemtanks kan circa 700 m^3 ballastwater ingenomen worden, waardoor het schip ruim 80 cm dieper zinkt. Deze optie is volgens rederij Mercurius feitelijk bedoeld voor de vaart met bulklading op de Duitse kanalen, waar zeer laag gelegen bruggen voorkomen.



De Smart Barge (afb. Marasoft)

Een tweede voorbeeld is het schip For-Ever. Het heeft afmetingen 90 x 10,5 m, de maximale maat die op de Gouwe is toegestaan. Door geen woning in het voorschip te situeren, maar twee woningen op het achterschip te stapelen, is extra lengte voor de lading geschapen. Daardoor kan het op de route naar de containerterminal te Alphen 104 TEU in 3 lagen meenemen. Het grootste toegelaten standaardschip is klasse IV met een capaciteit van 90 TEU. Per reis heeft de For-Ever dus een winst van 14 TEU, een winst van 16% dus. Door de mogelijkheid 1000 ton ballastwater in te nemen, kan het schip met 3 lagen high-cube containers onder de spoorbrug in Gouda passeren, iets wat normale klasse IV schepen niet kunnen. Scenario 74 (bijlage 3) bevestigt deze claim, zij het dat er maar 8 cm speling is.

For-Ever met maximaal 104 TEU in 3 lagen gestapeld (www.vlootschouw.nl)

De economische crisis van de afgelopen jaren heeft tot een stop op het bestellen van nieuwe binnenschepen geleid. Eerdaags zullen weer nieuwe orders komen, waarschijnlijk vooral in het genoemde segment van de grote eenheden voor het internationale vervoer. Voor het binnenlandse vervoer zijn klasse IV en V beter geschikt.

Er is sinds kort een aan boord te installeren systeem op de markt om schippers te waarschuwen voor het gevaar van aanvaring met een brugdek (bijlage 6). Het systeem richt zich momenteel uitsluitend op hefbare stuurhuizen, een versie om te waarschuwen voor te hoog gestapelde containers is in ontwikkeling

7.3 Containers

Voor de binnenvaart zijn twee typen containers van overwegend belang: de container van 20 voet (6,06 m) lengte en die van 40 voet (12,20 m) lengte. Volgens het Rijkswaterstaatsrapport 'Containervervoer per binnenschip' (2012) bedraagt het aandeel 40 voets containers omstreeks 60% van het totaal op de Rijn. Dit getal komt globaal overeen met het cijfer van de rederij Maersk, die een dominante positie heeft in de Rijnvaart. Het aandeel 20 voeters is in de loop der jaren verminderd, maar ze zullen niet verdwijnen. Ze zijn vooral nodig voor de export van zware lading uit Duitsland. Binnen de groep 40 voeters zijn er standaard containers van 8½ voet (2,591 m) hoog en high-cubes van 9½ voet (2,896 m) hoog. De laatste worden gebruikt voor lading met een laag soortelijk gewicht voor met name de import van Azië naar Europa. Deze route is zo dominant dat binnen de groep 40 voeters het aandeel high-cube tot meer dan 50% is gestegen, aldus Maersk. Navraag bij de twee grootste containerfabrikanten, de COSCO Group en Singama Container Holding, leert dat het aandeel van de high-cubes in de productie van 40 voets containers als volgt verlopen is:

2008: 78%
2009: 76%
2010: 92%

Uiteindelijk, beweren deze firma's, wordt de high-cube dé standaard voor een 40 voets container. Maar dit zal nog wel een decennium duren, want de levensduur van een container is gemiddeld zo'n 15 jaar. Een container is beslist geen wegwerpartikel. Bij beschadiging wordt de box gerepareerd en kan weer jaren mee.

type	buitenmaten (m) lengte x breedte x hoogte	eigen gewicht (ton)	ladinggewicht (ton)	bruto gewicht (ton)
20 voet standaard	6,06 x 2,44 x 2,591	2,28	28,20	30,48
40 voet standaard	12,20 x 2,44 x 2,591	3,70	28,80	32,50
40 voet high-cube	12,20 x 2,44 x 2,896	3,88	28,80	32,50
45 voet high-cube	13,72 x 2,44 x 2,896	4,90	27,60	32,50

Tabel 12: Kenmerken van de belangrijkste standaardcontainers (bron: Maersk)

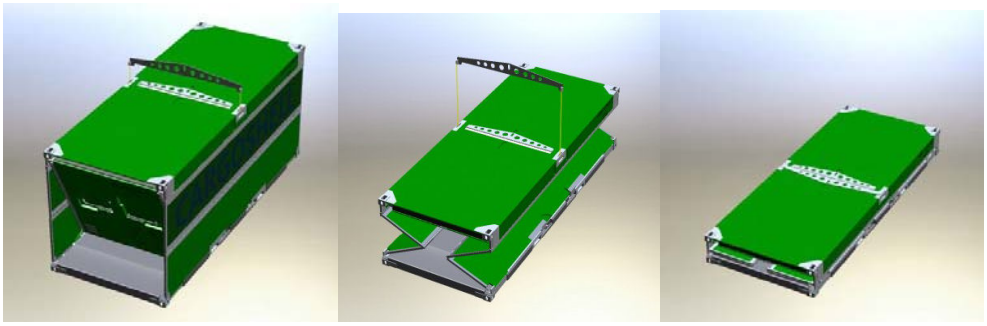
Er zijn met name in de gewichten variaties mogelijk tussen fabrikanten, aanbieders en de verschillende typen containers.

Er bestaan ook andere lengtematen met als voornaamste de 45 voet lengte (13,72 m). 45 voeters zijn altijd high-cube. De groei van het aandeel 45 voets containers in het vervoer per binnenschip zet evenwel niet door, omdat de 45 voets container vooral worden gebruikt voor het short-sea verkeer op het Verenigd Koninkrijk met voor- en natransport per truck. Tabel 12 vermeldt enkele kenmerken van de genoemde containertypen.

Het aandeel koelcontainers maakt wel kans te groeien. Koelcontainers zijn In de regel standaard 40 voeters. Koelcontainers zijn 5 cm hoger dan standaard containers.

Dan zijn er nog de palletbrede containers, ook wel *wide-bodies* genoemd. Deze zijn beter dan de standaardcontainer geschikt om laadborden oftewel pallets te vervoeren. Pallets hebben standaardmaten van 1,2 x 0,8 m en 1,2 x 1,0 m. Een normale 40 voeter kan 25 pallets van 1,2 x 0,8 m laden, een palletbrede 40 voeter 30 pallets en de 45-voeter 33 stuks. De uitwendige breedte is om deze reden iets groter dan die van de standaardcontainer maar de posities van de *corner castings*, de aangrijpingspunten voor het hijsgerei, zijn hetzelfde. De palletbrede container is voornamelijk in gebruik voor de binnenlandse distributie per truck en gaat niet of nauwelijks per binnenschip.

De container lijkt technisch gezien vrijwel uitontwikkeld. Innovaties, bijvoorbeeld kleine laadkisten voor stedelijke distributie of inklapbare containers van kunststof tasten het vervoersconcept niet aan. Vier ingeklapte containers hebben dezelfde hoogte als een standaardcontainer en zijn dus makkelijker te vervoeren. Het succes van deze ontwikkelingen moet nog bewezen worden. Inklapbare containers zijn namelijk gevoelig voor mechanische beschadiging, waardoor het opvouwen problemen kan opleveren. Bovendien vormt de twijfel aan de waterdichtheid vooralsnog een minpunt.



Inklapbare kunststof container (afb. Mike Hanlon)

De conclusie ten aanzien van de container luidt, dat het aandeel high-cube containers met zekerheid zal stijgen ten koste van 40 voets standaard container. Uiteindelijk wordt de high-cube overheersend binnen de vloot van 40 voeters. De 20 voeter zal zich in een bescheiden rol handhaven. Afwijkende lengte- of breedtematen, waaronder de 45 voet container, zijn voor de binnenvaart van betrekkelijk geringe betekenis.

8. Synthese

8.1 Vergelijking 1996 met 2012

In zowel 1996 als 2012 is onderzoek uitgevoerd naar de hoogte van containerschepen op de Rijn. Tabel 13 geeft enkele karakteristieken van de gemeten containerlading weer.

parameter	1996	2012
valide hoogtemetingen	135	137
waaronder 2 lagen containers	-	16%
3 lagen containers	66%	53%
4 lagen containers	34%	26%
5 lagen containers	-	5%

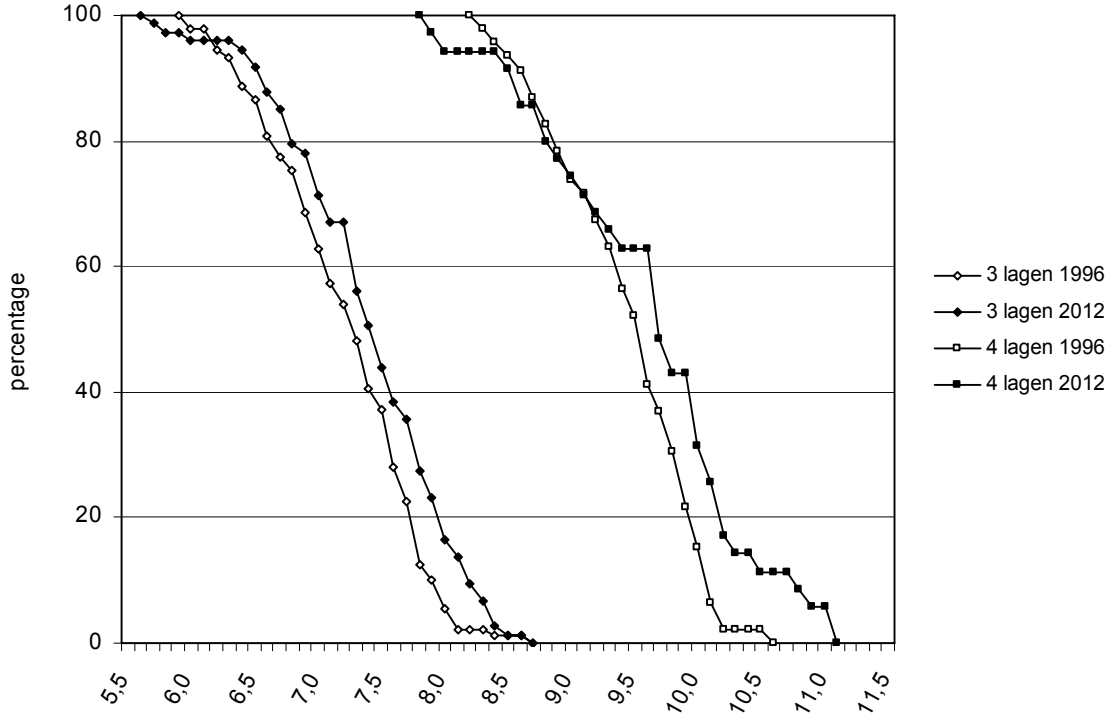
Tabel 13: Enkele karakteristieken van de gemeten schepen in 1996 en 2012

Voor de scheepshoogte speelt het aandeel high-cube containers een belangrijke rol. In 1996 was dit aandeel, uitgedrukt in TEU, 7%. De registraties tijdens de metingen in oktober 2012 komen uit op 34% high-cubes, hoewel een veel grotere en daardoor meer representatieve steekproef uit ERINOT een aandeel van 22% high-cube containers oplevert, berekend naar aantal TEU's.

Er is een opmerkelijk verschil in snelheid tussen de metingen van 1996 en 2012: een gemiddelde snelheid door het water van 4,6 m/s resp. 3,8 m/s. De verklaring hiervoor is wellicht te vinden in het 'nieuwe varen', het met gereduceerd motorvermogen varen om het brandstofgebruik te verminderen, een niet onbelangrijke wijze van kosten besparen in crisistijd. Snelheid heeft in combinatie met waterstand een belangrijke invloed op de squat, de inzinking van het schip in zijn spiegeldalingskuil. Omdat het schip onder een brug stil kan komen te liggen en er op dat moment geen sprake is van inzinking, moet de inzinking bij de gemeten scheepshoogte worden opgeteld. Berekening met de methode De Koning Gans resulteerde bij de omstandigheden van 2012 in een inzinking van 17 cm. Herberekening van de metingen van 1996 toonde aan, dat de waarde toentertijd 40 cm had moeten zijn in plaats van de toegepaste 20 cm. In figuur 14 zijn alleen de gecorrigeerde meetresultaten van 1996 weergegeven.

Tijdens beide metingen is geïnformeerd naar de mogelijkheid te ballasten. Duidelijk komt naar voren, dat ballasten in specifieke gevallen kan helpen de doorvaarthoogte te verminderen, maar als generieke oplossing niet in aanmerking komt.

Figuur 14 en tabel 14 tonen de verschillen tussen de hoogtemetingen van 1996 en 2012. De hoogte van twee lagen containers is alleen in 2012 gemeten. Wat opvalt bij vergelijking van de metingen van 1996 en 2012, is dat de gemiddelde scheepshoogte niet veel uiteen loopt, maar de extremen verschillen in toenemende mate en bij vier lagen containers meer dan bij drie lagen. De verklaring ligt in de toename van het aandeel high-cube containers. In tabel 14 is de veiligheidsmarge toegevoegd.



Figuur 14: Onderschrijdingskromme voor scheepshoogte bij stilliggend schip

lagen	jaar	50%	90%	95%
2	2012	5,25	5,80	6,00
3	1996	7,55	8,20	8,30
3	2012	7,70	8,50	8,65
3	verschil	0,15	0,30	0,35
4	1996	9,80	10,35	10,45
4	2012	10,00	11,05	11,20
4	verschil	0,20	0,70	0,75

Tabel 14: Gemeten scheepshoogte (m) horend bij een percentage onderschrijding,bij stilliggend schip, inclusief de veiligheidsmarge van 0,30 m

De hoogste gemeten waarden in figuur 14, beide 10,85 m, betreffen twee klasse VI schepen (135 x 14,0 m en 135 x 17,0 m). De bezettingsgraad was 85% resp. 63%, het aandeel high-cube containers 90% resp. 32% van de lading. De ladinghoogte werd bepaald door vier op elkaar gestapelde high-cube containers. Geen van beide schepen was geballast. Met de toeslag voor inzinking (squat) van 17 cm en de veiligheidsmarge van 30 cm zou voor deze schepen een doorvaarthoogte van (afgerond) 11,30 m vereist zijn. Deze waarde komt nagenoeg overeen met de berekende doorvaarthoogte voor 100% lege containers, zijnde optie 6 in tabel 15.

Een klasse VI schip is relatief breder dan een klasse V schip: een breedte-/lengte verhouding van 1 : 9,7 resp. 1 : 7,9. Het klasse VI schip ligt daarom hoger op het water bij eenzelfde belading dan het klasse V schip. Bij de bepaling van brughoogte op kanalen gaat het vaak om het klasse V schip (zie figuur 9). Om de uitkomsten van de metingen te herleiden naar klasse V is een correctie nodig. De tabellen 3 tot en met 6 tonen een verschil tussen klasse V en klasse VI van 17 à 24 cm, gemiddeld 20 cm. De waarden voor vier lagen containers in tabel 14 moeten dientengevolge met 0,20 m worden verminderd om tot het klasse V schip te komen, zoals vermeld in tabel 15.

opties		2 lagen containers (klasse III)	3 lagen containers (klasse IV)	4 lagen containers (klasse V)	4 lagen containers (klasse VI)
1	volgens de streefbeelden van de Nota Infrastructuur en Ruimte 2012	5,25	7,00	9,10	9,10
2	berekening met uitgangspunten CEMT geen high-cube containers	4,62	6,87	8,92	9,12
3	berekening met uitgangspunten CEMT 2, 3 of 4 high-cubes	5,23	7,78	10,14	10,34
4	meting 2012, 90% onderschrijding incl. compensatie voor inzinking	5,80	8,50	10,85	11,05
5	meting 2012, 95% onderschrijding incl. compensatie voor inzinking	6,00	8,65	11,00	11,20
6	berekening 100% geladen containers 2, 3 of 4 high-cubes	4,81	7,14	9,18	9,35
7	berekening gemiddelde belading 2, 3 of 4 high-cubes	5,36	7,97	10,42	10,64
8	berekening 100% lege containers 2, 3 of 4 high-cubes	5,65	8,43	11,10	11,33

Tabel 15: Opties voor de bepaling van doorvaarthoogte incl. veiligheidsmarge (m)

8.2 Opties voor doorvaarthoogte

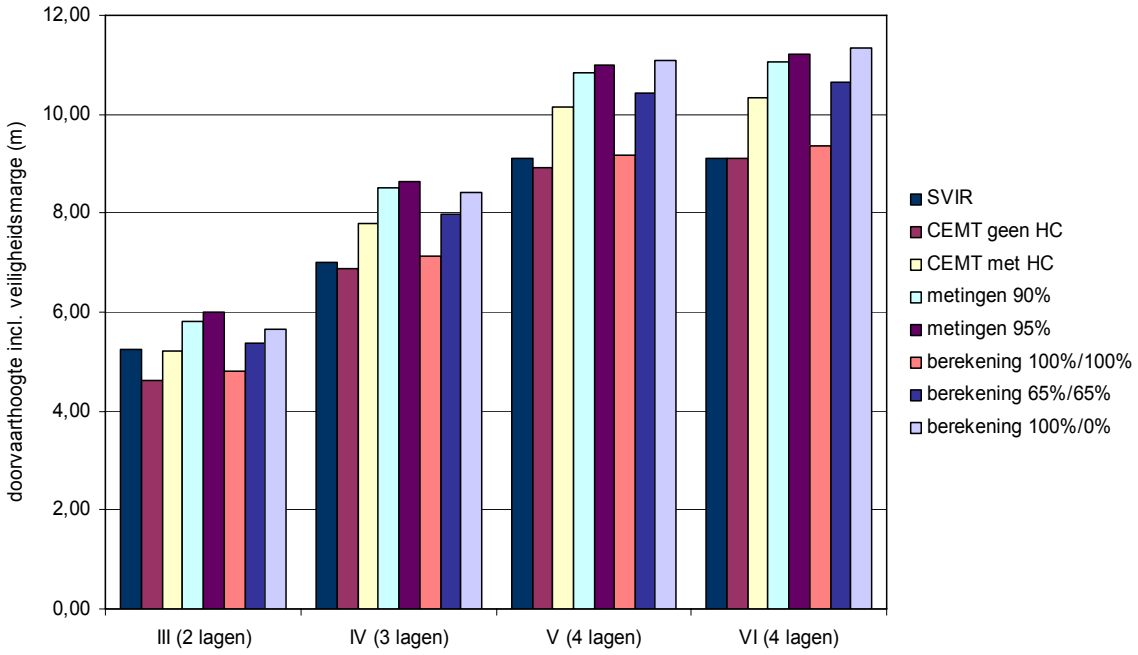
Als vast staat dat de huidige normen op kanalen ontoereikend zijn, volgt de vraag welke normen dan wel adequaat zijn. Hierbij dient men te bedenken dat de hoogtenormen weliswaar theoretisch ook voor rivieren gelden, maar vooral van belang zijn op kanalen met hun weinig wisselende waterstand. De volgende opties zijn in beschouwd:

1. de huidige hoogtematen, volgend uit de streefbeelden van de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR, maart 2012)
2. volgens berekening met de uitgangspunten van de CEMT, dat wil zeggen 100% bezetting met 50% geladen en 50% lege containers, zonder high-cube containers (tabel 4)
3. als 2: berekening met de uitgangspunten van de CEMT, maar nu met 2, 3 of 4 lagen high-cube containers containers (tabel 4)
4. de meting van 2012, een hoogte die door 90% van de schepen onderschreden wordt; 90% is het percentage dat de CVB destijds hanteerde voor de vaststelling van brughoogte (tabel 14)

5. als 4, met 95% onderschrijding (tabel 14)
6. volgens berekening met een 100% bezetting met 100% geladen containers, waarbij 2, 3 of 4 high-cubes op elkaar staan (tabel 3)
7. volgens berekening met gemiddelde belading, dat wil zeggen 65% bezetting en 65% geladen containers, waarbij 2, 3 of 4 high-cubes op elkaar staan (tabel 5)
8. volgens berekening met 100% bezetting met 0 % geladen, dus 100% lege containers, waarbij 3 resp. 4 high-cube containers op elkaar staan (tabel 6)

De opties 1, 2 en 3 zijn te beschouwen als de zienswijze uit het verleden. De opties 4 en 5 geven de huidige situatie aan, zoals gemeten op de Rijn. De opties 6, 7 en 8 zijn berekeningen van een mogelijk toekomstige situatie. Schepen met 100% bezetting en 100% geladen of lege containers aan boord zijn uitersten, maar niet ondenkbaar. Een en ander is in beeld gebracht in figuur 15.

Welke optie voortaan als uitgangspunt voor brughoogte wordt gekozen, is een beleidsmatige keuze, die buiten het bestek van dit rapport valt.



Figuur 15: Doorvaarthoogte incl. veiligheidsmarge (m) voor de 8 opties

8.3 Monitoring ontwikkelingen

In paragraaf 7.2 zijn de ontwikkelingen in het vervoer van containers over de binnenwateren geschetst. Deze ontwikkelingen betreffen zowel de groeiverwachting van het aantal vervoerde containers, bijvoorbeeld in de aanvoer van en naar de Tweede Maasvlakte, als in de afmetingen van de vervoerde containers en dan met name de high cube containers. De verwachte groei kan leiden tot grote problemen bij de doorvaart onder bruggen. Om deze ontwikkelingen voor te blijven, is het aan te raden een aantal relevante kenmerken van het containervervoer te monitoren.

De te monitoren gegevens dienen op structurele basis ter beschikking te staan. Het is dus nodig een inventarisatie te maken van zowel de gevraagde als aanwezige gegevens (high cubes, standaard TEU, geladen TEU, bezettingsgraad, belading, enz.).

Gezien de in dit rapport beschreven omstandigheden, waaronder doorvaarthoogten tot risico's en beperkingen voor de scheepvaart leidt, is het advies de doorvaarthoogten te onderzoeken op de kanalen; rivieren blijken immers nergens tot problemen te leiden. Indien wordt besloten tot monitoren, is het wenselijk de ontwikkeling van de maten van containers op jaarbasis te meten en daarnaast voor de ontwikkeling van doorvaarthoogte in de tijd een periodieke meting als uitgangspunt te nemen.

Bijlagen

1. Afkortingen en begrippen *50*

2. CEMT-tabel 1992 *52*

3. Berekening doorvaarthoogte bij diverse scenario's *53*

4. Steekproef containervervoer Rijnvaart, april 2012 *61*

5. Berekeningswijze squat *63*

6. Brugalarm voor stuurhuizen *64*

Bijlage 1: Afkortingen en begrippen

AIS	Automatic Identification System, een positiebepalingsysteem
Bezettingsgraad	Het actuele aantal TEU's aan boord als percentage van het maximale aantal TEU's
Blokcoëfficiënt	Verhouding tussen het onderwaterschip en de balk (lengte x breedte x diepgang) waarin het onderwaterschip precies past
Brughoogte	Zie doorvaarthoogte
CCR	Centrale Commissie voor de Rijnvaart, gevestigd te Straatsburg
CEMT	European Conference of Ministers of Transport, Parijs
CVB	Commissie Vaarwegbeheerders
Doorvaarthoogte	Verticale afstand tussen de Maatgevende Hoge Waterstand en de onderkant van de volbelaste brug. De doorvaarthoogte wordt bepaald door bij de hoogte van het maatgevende schip bij de maatgevende hoge waterstand een veiligheidsmarge van 30 cm te tellen
ECE	United Nations Economic Commission for Europe, gevestigd te Geneve
ELWIS	Elektronischer Wasserstraßen Informationsservice
ERINOT	Electronic Reporting International Notification
Gemiddelde belading	De gemiddelde belading van containerschepen is thans: 65% van de capaciteit met 35% lege en 65% beladen containers
GLW	Gleichwertiger Wasserstand, dezelfde definitie als OLR
Grenspeil	Waterstand op getijdenrivieren, die eens per 2 jaar overschreden wordt
High-cube container	Container met een lengte 20, 40 of 45 voet, breedte 8 voet en hoogte van 9½ voet = 2,896 m
HSW	Höchster Schiffbaren Wasserstand, boven deze waterstand is de scheepvaart op de Duitse Rijn verboden; ook wel Marke II genoemd
ISO	International Organization for Standardization De standaard ISO 6346 beschrijft de afmetingen containers

Koppelverband	Motorschip met een ernaast, doch meestal ervoor gekoppelde duwbak of duwbakken
KP	Kanaalpeil, het nagestreefde peil op het kanaal
MHW	Maatgevende Hoge Waterstand, waterstand die gemiddeld 1% van de tijd wordt overschreden, gemeten over een langjarige periode
OLR	Overeengekomen Lage Rivierafvoer, de afvoer die gedurende een langjarige periode 20 ijsvrije dagen per jaar onderschreden wordt; vaak bedoelt men met OLR de bij de overeengekomen lage rivierafvoer behorende waterstand
NIS	Netwerk Informatie Systeem
NoMo	Nota Mobiliteit, uitgebracht in 2004
PIANC	The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, met het hoofdkantoor in Brussel
Referentievlak	Vlak ten opzichte waarvan de doorvaarthoogte gemeten wordt
Rijnvaarthoogte	Door de CCR vastgesteld op 9,10 m boven de hoogst bevaarbare waterstand; in Nederland de MHW, in Duitsland HSW
SOS	Scheepsongevallensysteem
Schrikhoogte	Zie veiligheidsmarge
Standaardcontainer	Container met een lengte 20 of 40 voet, breedte 8 voet en hoogte van 8½ voet = 2,591 m
Strijkhoogte	De verticale afstand tussen de waterlijn en het hoogste punt van het stilliggende schip met alle makkelijk te strijken onderdelen in neergeklapte toestand
SVIR	Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte, uitgebracht 2012
TEU	Twenty feet Equivalent Unit, container van 20 voet lengte, rekeneenheid om de capaciteit van containerschepen of de omvang van het vervoer in uit te drukken
ULCC	Ultra Large Container Carrier, zeeschip met een capaciteit van meer dan 10.000 TEU
Veiligheidsmarge	Marge tussen de onderkant van de volbelaste brug en het hoogste punt van het schip, in de regel 30 cm

Bijlage 2: CEMT-tabel 1992

Type de voies navigables Type of Inland waterways	Classe de voies navigables Classes of navigables waterways	Automoteurs et chalands Motor vessels and barges					Convois poussés Pushed convoys						Hauteur minimale sous les ponts Minimum height under bridges
		Type de bateaux: caractéristiques générales Type of vessel: générales characteristics					Type de convoi- Caractéristiques générales Type of convoy- Générales characteristics						
		Dénomination Designation	Longueur Length	Largeur Beam	Tirant déau Draught	Tonnage Tonnage		Longueur Length	Largeur Beam	Tirant déau Draught	Tonnage Tonnage		
			m	m	m	t		m	m	m	t		m
D'INTERET REGIONAL	OF REGIONAL IMPORTANCE												
	I	Péniche Barge	38.50	5.05	1.80-2.20	250-400							4.00
	II	Kast-Caminois Campine-Barge	50-55	6.60	2.50	4.00-650							4.00-5.00
	III	Gustav Koenings	67-80	8.20	2.50	650-1000							4.00-5.00
D'INTERET INTERNATIONAL	OF INTERNATIONAL IMPORTANCE												
	IV	Johan Welker	80-85	9.50	2.50	1000-1500		85	9.50	2.50-2.80	1250-1450		5.25/or 7.00
	Va	Grand bateaux Rhenands/Large Rhine Vessels	95-110	11.40	2.50-2.80	1500-3000		95-110	11.40	2.50-4.50	1600-3000		5.25/or 7.00/or 9.10
	Vb							172-185	11.40	2.50-4.50	3200-6000		
	VIa							95-110	22.80	2.50-4.50	3200-6000		7.10/or 9.10
	VIb		140	15.00	3.90			185-195	22.80	2.50-4.50	6400-12000		7.10/or 9.10
	VIc							270-280 193-200	22.80 33.00-34.20	2.50-4.50 2.50-4.50	9600-18000		9.10
	VII							285 195	33.00 34.20	2.50-4.50	14500-27000		9.10

Bijlage 3: Berekening doorvaarthoogte bij diverse scenario's

scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
beladingstoestand	100% volle containers	uitgangspt. CEMT	gemiddelde belading	100% lege containers	100% volle containers	uitgangspt. CEMT	gemiddelde belading	100% lege containers	100% volle containers	uitgangspt. CEMT
CEMT-klasse	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV	V	V
lengte (m)	63	63	63	63	85	85	85	85	110	110
breedte (m)	7,0	7	7,0	7,0	9,5	9,5	9,5	9,5	11,4	11,4
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	32	32	32	32	90	90	90	90	208	208
bezettingsgraad (%)	**100**	**100**	**65**	**100**	**100**	**100**	**65**	**100**	**100**	**100**
TEU aan boord	32	32	21	32	90	90	59	90	208	208
aandeel geladen TEU (%)	**100**	**50**	**65**	**0**	**100**	**50**	**65**	**0**	**100**	**50**
aandeel lege TEU (%)	0	50	35	100	0	50	35	100	0	50
geladen TEU aan boord	32	16	14	0	90	45	38	0	208	104
lege TEU aan boord	0	16	7	32	0	45	20	90	0	104
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	400	234	184	67	1125	657	518	189	2600	1518
inzinking door lading (m)	1,01	0,59	0,46	0,17	1,55	0,90	0,71	0,26	2,30	1,35
aantal lagen standaard cont.	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,77	0,77	0,77	0,77	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**4,20**	**4,62**	**4,75**	**5,04**	**6,23**	**6,87**	**7,06**	**7,51**	**7,96**	**8,92**

scenario	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
beladingstoestand	gemiddelde belading	100% lege containers	100% volle containers	uitgangspt. CEMT	gemiddelde belading	100% lege containers	als 1 1 laag HC	als 1 2 lagen HC	als 5 1 laag HC	als 5 2 lagen HC
CEMT-klasse	V	V	VI	VI	VI	VI	III	III	IV	IV
lengte (m)	110	110	135	135	135	135	63	63	85	85
breedte (m)	11,4	11,4	17,2	17,2	17,2	17,2	7,0	7,0	9,5	9,5
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	208	208	398	398	398	398	32	32	90	90
bezettingsgraad (%)	**65**	**100**	**100**	**100**	**65**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
TEU aan boord	135	208	398	398	259	398	32	32	90	90
aandeel geladen TEU (%)	**65**	**0**	**100**	**50**	**65**	**0**	**100**	**100**	**100**	**100**
aandeel lege TEU (%)	35	100	0	50	35	100	0	0	0	0
geladen TEU aan boord	88	0	398	199	168	0	32	32	90	90
lege TEU aan boord	47	208	0	199	91	398	0	0	0	0
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	1198	437	4975	2905	2292	836	400	400	1125	1125
inzinking door lading (m)	1,06	0,39	2,38	1,39	1,10	0,40	1,01	1,01	1,55	1,55
aantal lagen standaard cont.	4	4	4	4	4	4	1	0	2	1
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**2**	**1**	**2**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,95	0,77	0,77	0,8	0,8
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**9,20**	**9,88**	**8,13**	**9,12**	**9,42**	**10,11**	**4,51**	**4,81**	**6,53**	**6,84**

= volbeladen: bezettingsgraad 100% met 100% geladen TEU's

scenario	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
beladingstoestand	als 5 3 lagen HC	als 9 1 laag HC	als 9 2 lagen HC	als 9 3 lagen HC	als 9 4 lagen HC	als 13 1 laag HC	als 13 2 lagen HC	als 13 3 lagen HC	als 13 4 lagen HC	als 2 1 laag HC
CEMT-klasse	IV	V	V	V	V	VI	VI	VI	VI	III
lengte (m)	85	110	110	110	110	135	135	135	135	63
breedte (m)	9,5	11,4	11,4	11,4	11,4	17,2	17,2	17,2	17,2	7
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	90	208	208	208	208	398	398	398	398	32
bezettingsgraad (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
TEU aan boord	90	208	208	208	208	398	398	398	398	32
aandeel geladen TEU (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**50**
aandeel lege TEU (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
geladen TEU aan boord	90	208	208	208	208	398	398	398	398	16
lege TEU aan boord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	1125	2600	2600	2600	2600	4975	4975	4975	4975	234
inzinking door lading (m)	1,55	2,30	2,30	2,30	2,30	2,38	2,38	2,38	2,38	0,59
aantal lagen standaard cont.	0	3	2	1	0	3	2	1	0	1
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**3**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,77
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**7,14**	**8,27**	**8,57**	**8,88**	**9,18**	**8,44**	**8,74**	**9,05**	**9,35**	**4,93**

= volbeladen: bezettingsgraad 100% met 100% geladen TEU's

= uitgangspunten CEMT: bezettingsgraad 100% met 50% geladen en 50% lege TEU's

scenario	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
beladingstoestand	als 2 2 lagen HC	als 6 1 laag HC	als 6 2 lagen HC	als 6 3 lagen HC	als 10 1 laag HC	als 10 2 lagen HC	als 10 3 lagen HC	als 10 4 lagen HC	als 14 1 laag HC	als 14 2 lagen HC
CEMT-klasse	III	IV	IV	IV	V	V	V	V	VI	VI
lengte (m)	63	85	85	85	110	110	110	110	135	135
breedte (m)	7	9,5	9,5	9,5	11,4	11,4	11,4	11,4	17,2	17,2
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	32	90	90	90	208	208	208	208	398	398
bezettingsgraad (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
TEU aan boord	32	90	90	90	208	208	208	208	398	398
aandeel geladen TEU (%)	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**
aandeel lege TEU (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
geladen TEU aan boord	16	45	45	45	104	104	104	104	199	199
lege TEU aan boord	16	45	45	45	104	104	104	104	199	199
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	234	657	657	657	1518	1518	1518	1518	2905	2905
inzinking door lading (m)	0,59	0,90	0,90	0,90	1,35	1,35	1,35	1,35	1,39	1,39
aantal lagen standaard cont.	0	2	1	0	3	2	1	0	3	2
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**2**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,77	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,30	0,30	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**5,23**	**7,17**	**7,48**	**7,78**	**9,22**	**9,53**	**9,83**	**10,14**	**9,43**	**9,73**

= uitgangspunten CEMT: bezettingsgraad 100% met 50% geladen en 50% lege TEU's

scenario	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
beladingstoestand	als 14 3 lagen HC	als 14 4 lagen HC	als 3 1 laag HC	als 3 2 lagen HC	als 7 1 laag HC	als 7 2 lagen HC	als 7 3 lagen HC	als 11 1 laag HC	als 11 2 lagen HC	als 11 3 lagen HC
CEMT-klasse	VI	VI	III	III	IV	IV	IV	V	V	V
lengte (m)	135	135	63	63	85	85	85	110	110	110
breedte (m)	17,2	17,2	7,0	7,0	9,5	9,5	9,5	11,4	11,4	11,4
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	398	398	32	32	90	90	90	208	208	208
bezettingsgraad (%)	**100**	**100**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**
TEU aan boord	398	398	21	21	59	59	59	135	135	135
aandeel geladen TEU (%)	**50**	**50**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**
aandeel lege TEU (%)	50	50	35	35	35	35	35	35	35	35
geladen TEU aan boord	199	199	14	14	38	38	38	88	88	88
lege TEU aan boord	199	199	7	7	20	20	20	47	47	47
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	2905	2905	184	184	518	518	518	1198	1198	1198
inzinking door lading (m)	1,39	1,39	0,46	0,46	0,71	0,71	0,71	1,06	1,06	1,06
aantal lagen standaard cont.	1	0	1	0	2	1	0	3	2	1
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**3**	**4**	**1**	**2**	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	1,0	1,0	0,77	0,77	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
constructiehoogte bodem (m)	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**10,04**	**10,34**	**5,05**	**5,36**	**7,36**	**7,67**	**7,97**	**9,51**	**9,81**	**10,12**

= uitgangspunten CEMT: bezettingsgraad 100% met 50% geladen en 50% lege TEU's

= gemiddelde belading: bezettingsgraad 65% met 65% geladen en 35% lege TEU's

scenario	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
beladingstoestand	als 11 4 lagen HC	als 15 1 laag HC	als 15 2 lagen HC	als 15 3 lagen HC	als 15 4 lagen HC	als 4 1 laag HC	als 4 2 lagen HC	als 8 1 laag HC	als 8 2 lagen HC	als 8 3 lagen HC
CEMT-klasse	V	VI	VI	VI	VI	III	III	IV	IV	IV
lengte (m)	110	135	135	135	135	63	63	85	85	85
breedte (m)	11,4	17,2	17,2	17,2	17,2	7,0	7,0	9,5	9,5	9,5
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	208	398	398	398	398	32	32	90	90	90
bezettingsgraad (%)	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
TEU aan boord	135	259	259	259	259	32	32	90	90	90
aandeel geladen TEU (%)	**65**	**65**	**65**	**65**	**65**	0	0	0	0	0
aandeel lege TEU (%)	35	35	35	35	35	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
geladen TEU aan boord	88	168	168	168	168	0	0	0	0	0
lege TEU aan boord	47	91	91	91	91	32	32	90	90	90
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	1198	2292	2292	2292	2292	67	67	189	189	189
inzinking door lading (m)	1,06	1,10	1,10	1,10	1,10	0,17	0,17	0,26	0,26	0,26
aantal lagen standaard cont.	0	3	2	1	0	1	0	2	1	0
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**1**	**2**	**3**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,77	0,77	0,8	0,8	0,8
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**10,42**	**9,72**	**10,03**	**10,33**	**10,64**	**5,35**	**5,65**	**7,82**	**8,12**	**8,43**

= gemiddelde belading: bezettingsgraad 65% met 65% geladen en 35% lege TEU's

= alleen lege containers: bezettingsgraad 100% met 100% lege TEU's

scenario	61	62	63	64	65	66	67	68
beladingstoestand	als 12 1 laag HC	als 12 2 lagen HC	als 12 3 lagen HC	als 12 4 lagen HC	als 16 1 laag HC	als 16 2 lagen HC	als 16 3 lagen HC	als 16 4 lagen HC
CEMT-klasse	V	V	V	V	VI	VI	VI	VI
lengte (m)	110	110	110	110	135	135	135	135
breedte (m)	11,4	11,4	11,4	11,4	17,2	17,2	17,2	17,2
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	208	208	208	208	398	398	398	398
bezettingsgraad (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
TEU aan boord	208	208	208	208	398	398	398	398
aandeel geladen TEU (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
aandeel lege TEU (%)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
geladen TEU aan boord	0	0	0	0	0	0	0	0
lege TEU aan boord	208	208	208	208	398	398	398	398
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	437	437	437	437	836	836	836	836
inzinking door lading (m)	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40
aantal lagen standaard cont.	3	2	1	0	3	2	1	0
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,95	0,95	0,95	0,95
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,30	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
doorvaarthoogte (m)	**10,18**	**10,49**	**10,79**	**11,10**	**10,42**	**10,72**	**11,03**	**11,33**

= alleen lege containers: bezettingsgraad 100% met 100% lege TEU's

scenario	69	70	71	72	73	74
beladingstoestand	nacalculatie ongevallen					Gouwe-max schip
CEMT-klasse	IV	V	VI	VI	IV	IV
lengte (m)	85	110	135	135	84,8	90
breedte (m)	9,5	11,5	17,1	17,1	9,6	10,5
blokcoefficient	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TEU capaciteit	90	208	398	398	90	104
bezettingsgraad (%)	**80**	**55**	**95**	**83**	**100**	**100**
TEU aan boord	72	114	378	331	90	104
aandeel geladen TEU (%)	0	0	0	100	0	0
aandeel lege TEU (%)	**100**	**100**	**100**	**0**	**100**	**100**
geladen TEU aan boord	0	0	0	331	0	0
lege TEU aan boord	72	114	378	0	90	104
gewicht geladen TEU (ton)	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
gewicht lege TEU (ton)	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
totaal ladinggewicht (ton)	151	239	3463	2324	189	1218
inzinking door lading (m)	0,21	0,21	1,67	1,12	0,26	1,43
aantal lagen standaard cont.	3	2	3	4	2	0
hoogte standaard cont. (m)	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591	2,591
aantal lagen HC containers	**0**	**1**	**2**	**0**	**1**	**3**
containerhoogte HC (m)	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896	2,896
diepgang lege schip (m)	0,8	0,9	0,95	0,95	0,8	0,8
constructiehoogte bodem (m)	0,5	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5
veiligheidsmarge (m)	0,3	0,3	0,3	0,30	0,3	0
doorvaarthoogte (m)	**7,56**	**7,77**	**12,05**	**9,40**	**7,82**	**6,96**

56 = aanvaring spoorbrug Gouda 17 november 2011
57 = aanvaring brug Burgerdaam 11 dec. 2011
58 = aanvaring Willemsbrug 18 april 2012
59 = aanvaring Bathsebrug 13 juli 2012
60 = aanvaring Ir. Hamersbrug 31 juli 2012

Bijlage 4

Steekproef Rijnvaart, april 2012

lengte	hoogte	ISO type	aantal
onbekend	onbekend		14.543
20 voet	standaard	2210	36.678
		22A0	36
		22G0	191.734
		22R0	325
		22T0	17.509
		22U0	335
	high-cube	25G0	12
30 voet	standaard	32G0	2.630
		32T0	32
	high-cube	35G0	60
40 voet	standaard	4210	11.844
		42A0	6
		42G0	185.570
		42R0	39
		42T0	43
		42U0	740
	high-cube	4510	20.721
		45G0	47.090
		45R0	5.965
45 voet	standaard	L2G0	3.346
	high-cube	L5G0	22.487
		L5R0	32
totaal excl. onbekend			547.234

samengevat

berekend naar containers			
lengte	20 voet	246.629	45%
	30 voet	2.722	0%
	40 voet	272.018	50%
	45 voet	25.865	5%
hoogte	standaard	450.867	82%
	high-cube	96.367	18%
berekend naar TEU			
lengte	20 voet	246.629	29%
	30 voet	4.083	0%
	40 voet	544.036	64%
	45 voet	51.730	6%
hoogte	standaard	653.786	78%
	high-cube	192.692	22%

bron: ERINOT

verhouding TEU/containers = 1,55

Bijlage 5: Berekeningswijze squat

Als een schip vaart dan treden er in het omringende water snelheden op. Omdat een snelheidsverhoging volgens de wet van Bernouilli samenhangt met een drukverlaging ontstaat er een soort kuil in het water rond het schip; het schip zakt daardoor dieper weg dan in stilliggende toestand. Dit effect wordt 'squat' genoemd.
Uiteraard is de grootte van de squat afhankelijk van de vaarsnelheid, maar ook de waterdiepte en de vorm van het schip spelen een belangrijke rol. De literatuur geeft diverse schattingsmethoden voor de squat, vaak op empirische grondslag, soms ook met een fysische ondergrond. Door de Koning Gans zijn verschillende schattingsformules met elkaar, met een numeriek stromingsmodel (3D potentiaalmodel, panelenmethode) en met metingen vergeleken.
De algemene vorm van de schattingsmethoden is te schrijven als:

$$s = f(F_h)g(Geom)$$

waarin: s = de squat

F_h = het Froudegetal op basis van de waterdiepte h: $F_h = \frac{v}{\sqrt{g.h}}$

Hier zijn *v* de vaarsnelheid en *g* de gravitatieversnelling.

De invulling van de functies *f* en *g* hangt af van de schattingsmethode. Met name de *g*-functie heeft een empirische basis, terwijl *f* een fysische achtergrond heeft.

Voor g wordt gebruikt: $g(Geom) = 2.4\frac{C_b BT}{L}$

met:

L = scheepslengte
B = scheepsbreedte
T = diepgang (stilliggend)
C_b = de blokcoëfficiënt, (Volume waterverplaatsing) / (LBT)

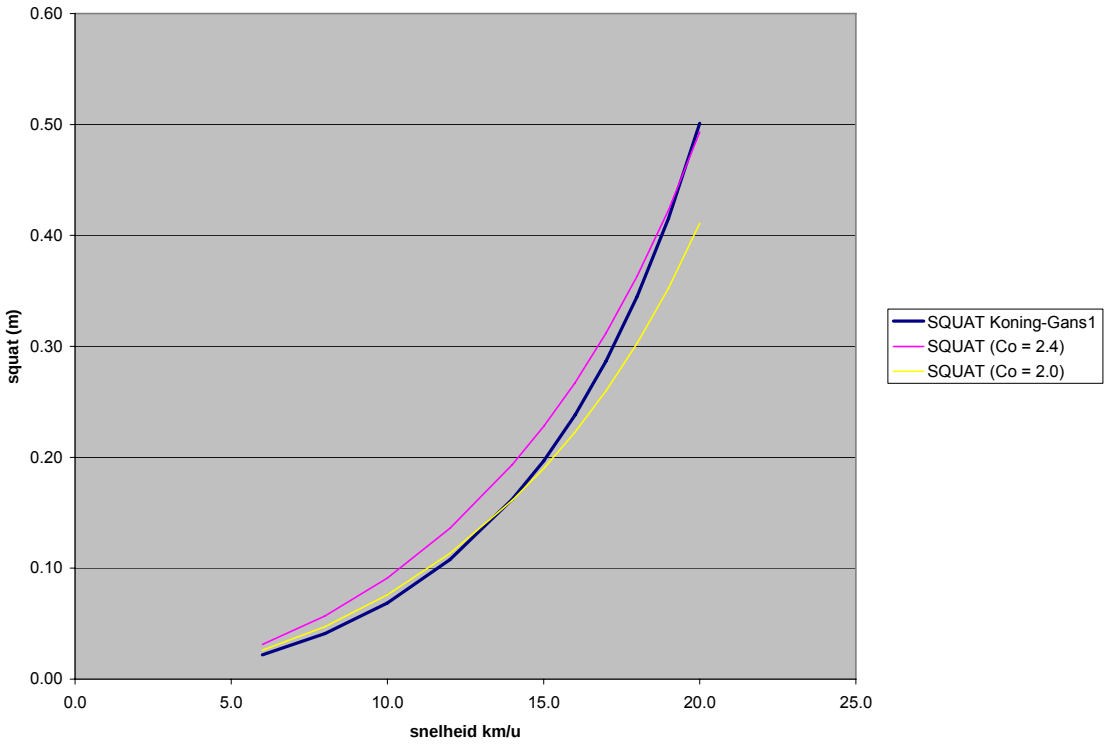
De door Koning Gans voorgestelde functie f is gebaseerd op het werk van Tuck die met berekeningen voor 2D potentaalstroming heeft laten zien dat de krachten op diep water evenredig zou zijn met $F_h^{\,2} / \sqrt{1 - F_h^{\,2}}$. De methode van Tuck blijkt een overschatting van de squat te geven.
Omdat de stroming om het schip afhangt van de vertikale positie van het schip introduceert de Koning Gans een iteratiestap waarmee:

$$f(F_h) = \frac{2F_h^{\,2}(1 + F_h^{\,2})}{3\sqrt{1 - F_h^{\,2}}}$$

Als voorbeeld is de squat van een binnenschip, als functie van de vaarsnelheid, met enkele van de genoemde formules berekend. De C_0 in de legenda is de constante in *g*(Geom); door ICORELS is de waarde 2.4 aanbevolen, maar voor volle schepen worden ook wel lagere waarden (1.7 of 2.0) gebruikt.

L = 135m
B = 11.4m
T = 4m
C_b = 0.8
H = 6m

Ir. E. Bolt

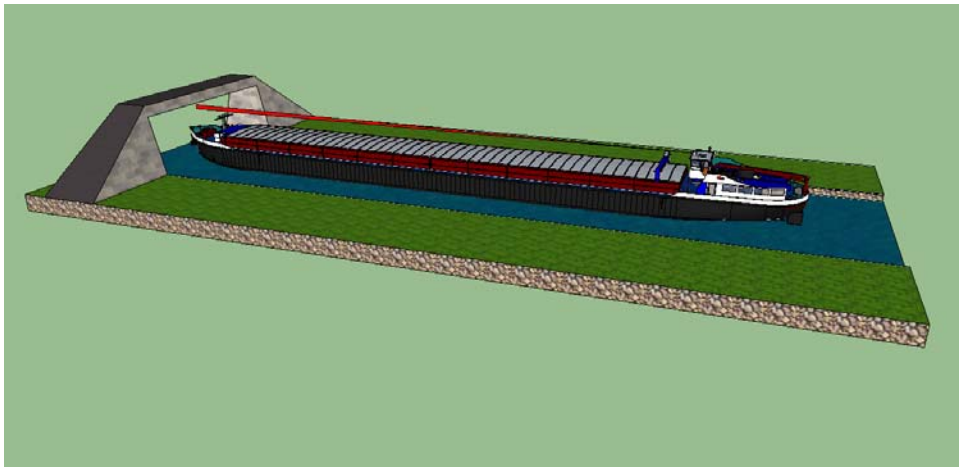


Bijlage 6

Brugalarm voor stuurhuizen

Jask uit Papendrecht werkt samen met Sensor Partners uit Drunen aan een laser-sensor die waarschuwt als het stuurhuis van een schip de onderkant van een brug dreigt te raken. De brugverkenner of 'Bridgescout', zoals de laser-sensor is gedoopt, meet vanaf het dak van het stuurhuis de afstand tot de brug en slaat alarm als het stuurhuis 200 meter voor de brug nog in een te hoge stand staat.
Hoe dichter bij de brug hoe harder het alarm klinkt. 'De afstand waarop het brugalarm voor het eerst klinkt kan ook groter zijn. De laser heeft een bereik van 500 meter en kan waarschuwen wanneer op die afstand een object wordt waargenomen. Alleen is de meting van de laser op grote afstand minder zuiver', zegt directeur Michel van den Herik van Jask. 'De diameter van een laserstraal wordt namelijk groter naarmate de afstand groter is. Op een afstand van 300 meter is de diameter bijvoorbeeld al één meter. We onderzoeken nu of dat kan worden gecompenseerd door de instelling van het alarm zo aan te passen dat het op grotere afstand pas afgaat wanneer een voldoende groot percentage van de uitgezonden laserpulsen via de brug reflecteert op de sensor.

overgenomen uit: Weekblad Schuttevaer, 16 januari 2013



Artist's impression van de werking van het waarschuwingssysteem. (Illustratie Jask)

Hoe werkt het? Op het stuurhuisdak wordt een RVS kastje geplaatst met daar in een lasersensor met reflectie ontvanger. Een mechanisch elektrische schommel die de sensor altijd waterpas houdt. Een impuls vertrager die er voor zorgt dat niet ieder object voor een alarm zorgt (bijv. een vogel die er door heen vliegt). In of op de lessenaar wordt een scherm gebouwd waar op men af kan lezen hoever het getraceerde object nog verwijderd is van de lasersensor. Een hoorbaar alarm die af gaat als de ingestelde afstand bereikt is. Dit geluid is oplopend, bij 175 meter komt het eerste alarm bij 75 meter een hard geluid. Dit is eventueel aan te sluiten op het alarm in de woning. De afstandmeting wordt pas gedaan op het moment dat de sensor waterpas hangt. Het apparaat wordt aangestuurd door middel van een PLC waarin zich de software bevindt. De lasersensor , PLC en de schommel wordt geplaatst in een RVS huis met daar in speciaal glas waardoor de lasersensor kan zenden en ontvangen.

tekst: Jask bv