

PROTOCOL 28

Eindverslag inzake de brugdoorvaarthoogte voor containervaart met drie lagen containers in het riviergedeelte Straatsburg - Basel (1999-II-22)

Besluit

De Centrale Commissie,

neemt kennis van het bijgevoegde verslag van haar Permanent Technisch Comité over de algemene vereisten voor de doorvaarthoogten voor containervaart met drie lagen containers op het traject Straatsburg - Basel,

beveelt de delegaties aan dit verslag ter beschikking te stellen aan de bevoegde autoriteiten als basis voor het vaststellen van het ontwerp en de doorvaarthoogte van nieuwe bruggen in het genoemde riviergedeelte.

Bijlage bij protocol 28

Permanent Technisch Comité

Eindverslag inzake de hoogte van bruggen voor de containervaart met drie containerlagen op de Boven-Rijn

1. Achtergrond

Ter gelegenheid van de goedkeuring van de "Minimum eisen en aanbevelingen voor de technische vormgeving van bouwwerken in en aan de Rijn" kwam tijdens de plenaire vergadering van de Centrale Commissie in het voorjaar van 1995 de doorvaarthoogte van bruggen boven Straatsburg ter sprake. Sommige delegaties waren van mening dat de voorgestelde hoogte van 7,00 m voor containervervoer met drie lagen niet toereikend is. De Centrale Commissie heeft de "Minimale eisen en aanbevelingen" met haar Besluit 1995-I-29 ter kennis genomen en zodoende de toepassing goedgekeurd, onder voorwaarde dat het Permanent Technisch Comité de minimale hoogte voor bruggen boven Straatsburg nogmaals zou onderzoeken.

Het Comité heeft de permanente technische werkgroep de opdracht gegeven deze kwestie te onderzoeken. Het resultaat van dit onderzoek is weergegeven in onderhavig verslag.

2. Werkwijze en basisdocumenten

De werkgroep TP/G heeft voor haar werkzaamheden gebruik gemaakt van de volgende documenten en onderzoeken :

- Europees Verdrag inzake grote waterwegen van internationaal belang (AGN) van 19 januari 1996, Doc. TP (00) 3;
- Onderzoek: De hoogte van containerschepen op de Rijn - Nederland, 1996 - Doc. TP/G (98) 4;
- Metingen van de laadhoogte van containerschepen bij de sluis Iffezheim - Duitse delegatie, 1999 - Doc. TP/G (99) 3,
- Voorstel voor een algemene beoordeling van doorvaarthoogten - Secretariaat, 1999 - Doc. TP/G (99) 6;
- Containervervoer en gemiddelde containergewichten op de Boven-Rijn - Secretariaat 1998 – Doc. TP/G (98) 6;
- De mogelijkheden van waterwegen voor het containervervoer - "Verein für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen", 1991.

Afgezien hiervan werd bij de werkzaamheden rekening gehouden met talrijke mededelingen van delegaties en internationale beroepsverenigingen voor de binnenvaart.

3. Omschrijving van het probleem

Voor de bruggen boven Straatsburg (km 295) wordt in het document van de Centrale Commissie " Minimale eisen en aanbevelingen voor de technische vormgeving van bouwwerken in en aan de Rijn" een doorvaarthoogte van 7,00 m boven de hoogste waterstand (HWS) voorgesteld, waarbij de doorvaarthoogte evenwel niet minder dan 7,00 m mag bedragen bij de hoogste waterstand die scheepvaart nog toelaat. De minimale hoogte van nieuwe bruggen mag in ieder geval niet minder zijn dan de doorvaarthoogte van bruggen die in de nabijheid reeds bestaan of voorzien zijn, zodat er geen nieuwe belemmeringen ontstaan.

Ook het AGN heeft voor containervervoer met drie lagen en een aandeel lege containers van 50% een doorvaarthoogte van 7,00 m aanbevolen.

Op grond van mededelingen van Zwitserse deskundigen en documenten die verstrekt werden door de Nederlandse delegatie kan verondersteld worden dat een doorvaarthoogte van 7,00 m voor containervervoer met drie lagen in sommige gevallen ontoereikend zou kunnen zijn en derhalve voor nieuwe projecten beter een doorvaarthoogte van 7,30 tot 7,80 m zou kunnen worden aangeraden. De deskundigen van de Franse en Duitse delegatie waren daarentegen van mening dat de doorvaarthoogte van geval tot geval zou moeten worden bepaald, rekening houdend met macro-economische criteria.

Gezien het feit dat het containervervoer voor de binnenvaart in de toekomst steeds meer belang zal krijgen en het potentieel in zich draagt om één van de belangrijkste sectoren van de Rijnvaart te worden, moet dit vraagstuk zorgvuldig onderzocht worden. Bij nieuwe bouwwerken leidt een grotere doorvaarthoogte immers tot een relatief geringe stijging van de kosten, terwijl de containervaart op alle waterwegen op lange termijn aanzienlijk hierdoor bevorderd kan worden, ook al kunnen de positieve effecten van deze afzonderlijke maatregelen nog niet meteen worden vastgesteld.

4. Uitgangssituatie

4.1 Containerafmetingen

De belangrijkste criteria voor de vaststelling van de doorvaarthoogte zijn op de eerste plaats de hoogte van de containers, de lengte en het maximale laadgewicht (voor het bepalen van de laaddiepte). De hoogte van de containers ligt tussen 8' (2,45 m) en 9 ½' (2,90 m), zoals aangegeven in onderstaande tabel :

ISO-vorm	L (m)	H		max. gewicht
20/8'	6,035	2,438 m	8'	20,32 t
20/ 8 ½'	6,035	2,591 m	8 ½'	24,00 t
40 /9 ½'	12,190	2,896 m	9 ½'	30,48 t

De meeste containers hebben een afmeting van 8 ½' (2,59 m). Containers die hoger zijn, worden "high-cube" (HC-) containers genoemd. De maximale hoogte die op dit moment vervoerd kan worden door andere, concurrerende vervoersmiddelen (bijv. in de meeste tunnels) ligt bij ongeveer 2,90 m.

4.2 Onderzoeken van de ECE/VN

Onderzoeken van de ECE/VN (Doc. TRANS/WP.24/R37 ad.1), die gebaseerd zijn op studies van de PIANC-werkgroep en verricht werden in 1982, geven aan dat de totale hoogte van een containerschip van 110 m x 11,40 m met vier containers in de breedte en drie lagen containers boven elkaar 8,47 m bedraagt. De hoogte ten opzichte van het water van een schip dat geladen is met drie lagen containers (h) hangt af van de beladingsgraad (b) van (40') containers uitgedrukt in % volgens de volgende formule:

$$h = 7,550 - 0,0186 \times b \text{ (b in \%)}$$

waaruit de volgende tabel kan worden afgeleid:

b (%)	hoogte boven het water h	
	bij 40' containers	bij 20' containers
0	7,55 m	7,50 m
20	7,18 m	6,90 m
40	6,81 m	6,30 m
50	6,62 m	6,01 m
60	6,39 m	5,70 m

Het wordt aangeraden met het oog op de veiligheid een marge van 0,30 m te nemen. De PIANC-werkgroep heeft er destijds op gewezen dat zij slechts over weinig gegevens uit de praktijk beschikte.

4.3 Metingen in Nederland

In Nederland werd in 1996 op de Rijn bij Millingen (km 867) gedurende een periode van 16 dagen de hoogte gemeten van 135 varende schepen, waarvan 89 met drie lagen containers. Op dit riviergedeelte ondervindt de containervaart geen beperkingen ten gevolge van de hoogte van bruggen. Aan de hand van deze metingen kon een gemiddelde waarde worden berekend voor alle containerschepen die met drie lagen varen (de standaardafwijking staat tussen haakjes):

opvaart en afvaart 6,72 m (0,58 m)

Het is eveneens interessant om een onderscheid te maken tussen schepen die maximaal 3 lagen containers kunnen vervoeren en zulke die in staat zijn vier lagen containers te vervoeren. Bij een maximaal laadvermogen van drie lagen containers, bedraagt de hoogte

6,90 m (0,55)

Bij een maximale laadhoogte van vier containers bedraagt de hoogte

6,61 m (0,57)

Voor de varende schepen werd een inzinking (squat) van ongeveer 0,20 m aangegeven. De waarden voor stilliggende schepen moeten dienovereenkomstig verhoogd worden.

4.4 Metingen bij de sluis Iffezheim

In de periode van februari tot mei 1998 en van augustus tot november 1998 werd de effectieve laadhoogte van containerschepen met drie lagen gemeten in de sluis van Iffezheim. Op- en afvaart werden gescheiden gemeten. Er werden metingen verricht in de sluis bij 570 stilliggende schepen. Tevens werd de schippers gevraagd wat volgens hen de laadhoogte van hun boot was. De resultaten van de metingen kunnen als volgt worden samengevat (de standaardafwijking staat tussen haakjes):

laadhoogte (meting):	opvaart	6,87 m (0,37 m)
	afvaart	6,83 m (0,32 m)
laadhoogte (mededeling):	opvaart	6,95 m (0,47 m)
	afvaart	7,06 m (0,33 m)

4.5 Gemiddeld containergewicht

Bij de metingen in Nederland werd een gemiddeld containergewicht berekend voor alle containers, dus met inbegrip van de lege containers. Dit bedroeg 9,6 t per TEU. Voor de geladen containers was het gewicht voor de opvaart 10,7 t per TEU en voor de afvaart 13,4 t per TEU.

Voor de Boven-Rijn werd het gemiddeld gewicht van alle containers verkregen door gebruik te maken van vervoersstatistieken van de WSD Südwest ter plaatse van de sluis Iffezheim. De resultaten staan in de hieronder afgebeelde tabel (de standaardafwijking staat tussen haakjes):

	1996	1997	1998
opvaart	12,4 (0,70)	10,6 (0,86)	10,9 (0,75)
afvaart	13,5 (0,96)	15,2 (0,54)	14,9 (0,63)

Volgens de bovengenoemde statistieken bedraagt de gemiddelde containerlading uitgedrukt in ton-vervoerde goederen per schip bij de sluis Iffezheim :

	1996	1997	1998
opvaart	761	751	746
afvaart	841	911	991

4.6 Hoogte van de containerlading

Een standaardcontainer volgens ISO heeft een hoogte van 8 ½' (2,591 m). Er worden echter steeds meer HC-containers met een hoogte van 9 ½' (2,896 m) vervoerd. Hierdoor stijgt de laadhoogte nog verder (bij drie lagen max. met 3 x 0,305 m = 0,915 m). In 1996 bedroeg het aantal HC-containers op de Beneden-Rijn ongeveer 7%.

Het varen met een niet volledige derde laag containers heeft een grotere laadhoogte tot gevolg. In extreme gevallen kan een containerschip met twee lagen met een beladingsgraad van 50% en één extra container in de derde laag een hoogte bereiken van 7,03 m. Economisch gezien kan voor het bepalen van de doorvaarthoogte van bruggen echter geen rekening worden gehouden met dergelijke uitzonderlijke situaties.

4.7 De doorvaarthoogte van bestaande bruggen

De Franse en Duitse delegatie hebben de doorvaarthoogte verstrekt van de bestaande bruggen over de Boven-Rijn boven Straatsburg. Daarbij gaat het om 8 bruggen bij sluisen en zes spoorweg- en verkeersbruggen. Uit de onderstaande tabel blijkt dat de hoogte afhangt van de hoeveelheid afgevoerd water en derhalve ergens tussen de aangegeven waarden zal liggen.

Brug	Rijn-km	Brugdoorvaarthoogten in m bij			
		stuwpeil	1000 m ³ /s	2100 m ³ /s	HWS
		Grotere doorvaarthoogte beschikbaar in (gemiddeld)			
		*)	50 % van het jaar	97 % van het jaar	99 % van het jaar
Palmrainbrug Weil	171,33	7,25 *)	7,30 *)	7,35 *)	7,40 *)
Sluis Kembs	179,28	8,54	7,93	--	7,48
Sluis Ottmarsheim	193,83	8,47	7,88	--	7,48
Brug A 36 Ottmarsheim	194,30	--	--	--	7,83
Brug Chalampé	199,26	7,81	7,46	--	7,06
Sluis Fessenheim	210,69	8,55	8,10	--	7,56
Sluis Vogelgrün	224,73	8,85	8,50	--	8,00
Sluis Marckolsheim	240,06	9,30	9,13	8,24	7,70
Sluis Rheinau	256,33	8,80	8,54	8,20	7,67
Sluis Gerstheim	272,42	9,23	9,08	8,21	7,50
Brug Altenheim- Eschau	282,80	7,30 **)	7,28 **)	**)	7,25 **)
Sluis Straatsburg	287,55	10,62	9,72	8,57	7,70
Europabrug	293,48	9,07	8,47	7,87	6,79
Spoorwegbrug	293,69	8,95	8,55	7,85	6,75

*) De gegevens met betrekking tot de jaarlijkse frequentie zijn niet van toepassing op de doorvaarthoogte van bruggen, aangezien deze afhangt van de hoeveelheid water die via de stuw van Märkt wordt doorgelaten. De brug heeft een boogvormige onderkant, die over een breedte van 80 m een doorvaarthoogte van 7,80 m biedt.

***) De brug heeft een boogvormige onderkant met een doorvaarthoogte van circa 7,80 m over een breedte van ongeveer 100 m.

5. Beoordeling van de uitgangsgegevens voor de bepaling van een aanvaardbare doorvaarthoogte

Het beoordelen van de meetresultaten voor het vastleggen van een aanvaardbare doorvaarthoogte van bruggen kan geschieden door gebruik te maken van stochastische principes. Uitgaande van een bepaalde frequentieverdeling van scheepshoogten, waterstanden en snelheid kan een uitspraak worden gedaan over de waarschijnlijkheid dat een containerschip bij het passeren van een brug onder bepaalde omstandigheden met moeilijkheden te kampen krijgt en hoe groot de veiligheidsmarge zou moeten zijn. De hier gevolgde methode wordt in bijlage B meer in detail uiteengezet.

6. Consequenties en conclusies

6.1 Algemeen

Het onderzoek en de bespreking van de resultaten hebben aangetoond dat een brugdoorvaarthoogte van 7,00 m voor de containervaart met drie lagen door de band genomen niet toereikend is. Dit geldt met name wanneer eveneens rekening wordt gehouden met de toekomstige ontwikkeling van het containervervoer, dat naar alle verwachting sterk zal gaan toenemen. De in de praktijk vereiste doorvaarthoogte van

7,00 + x m

hangt echter eveneens af van de gegeven situatie en moet in ieder specifiek geval afzonderlijk bekeken worden. De waarde "x" kan uitsluitend worden bepaald als een specifieke situatie hiertoe aanleiding geeft. Bij de berekening spelen de volgende parameters een rol:

- squat
- beladingsgraad
- veiligheidsmarge (= eventueel uitgaand van de waarschijnlijkheid)
- **constructie en type brug.**

Er moet echter hoe dan ook voor gezorgd worden dat er onder alle omstandigheden geen nieuwe belemmeringen ontstaan.

6.2 Het riviergedeelte Straatsburg-Bazel

In het geval van het riviergedeelte tussen Straatsburg en Basel hangt de waterstand af van het debiet van de Rijn. De minimale hoogten die bij HWS gemeten worden, doen zich slechts ongeveer drie dagen per jaar voor en vormen derhalve bij een normale waterafvoer geen belemmering. Ook bij de brug Chalampé is bijna de helft van het jaar een doorvaarthoogte van 7,46 m beschikbaar. Bij de planning van nieuwe bruggen of een verbouwing van bestaande bruggen moet echter in elk afzonderlijk geval de vereiste doorvaarthoogte worden bepaald door uit te gaan van een containervaart met drie lagen en alle mogelijke afvoersituaties tot het hoogwatermerkteken II.

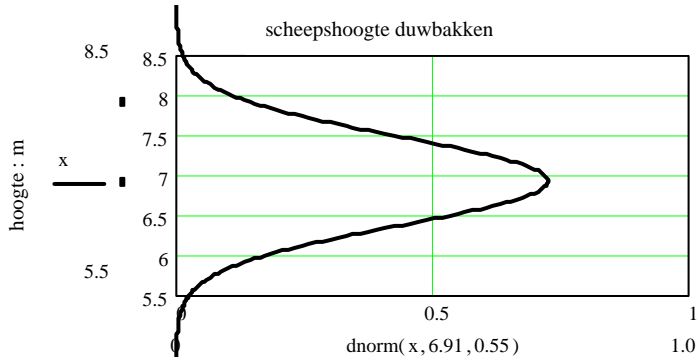
Bijlagen bij het verslag

A Verdelingscurve scheepshoogten

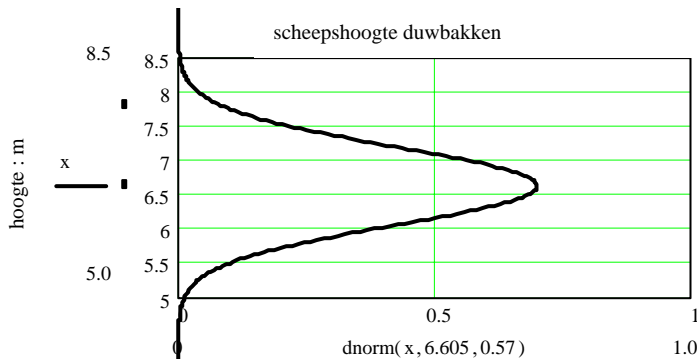
De hoogten die gemeten werden bij containerschepen met drie lagen tonen de volgende standaardverdeling:

Metingen in Millingen:

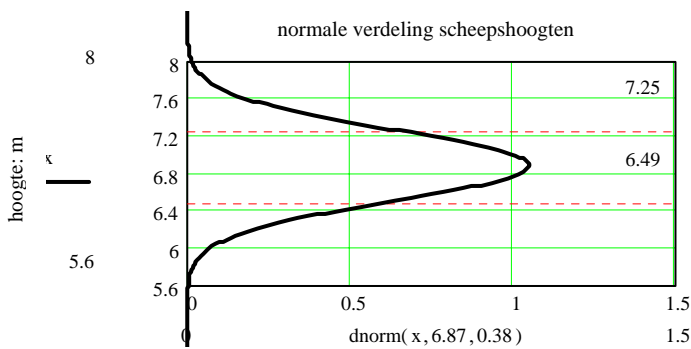
a) Schepen waarop maximaal drie lagen containers mogelijk zijn:



b) Schepen waarop maximaal vier lagen containers mogelijk zijn:



Metingen in Iffezheim:



B. Beoordeling van de uitgangsgegevens voor de bepaling van een aanvaardbare brugdoorvaarthoogte

1. Methode

De doorvaarthoogte van bruggen kan met behulp van de volgende parameters bepaald worden:

- H_L - laadhoogte gemeten bij een stilliggend containerschip
- q - inzinking van het schip tijdens de vaart (squat)
- S - de gewenste veiligheidsmarge
- H_P - de beschikbare brugdoorvaarthoogte.

Hiervoor geldt de volgende vergelijking:

$$H_P = H_L - q + S$$

De verhouding tussen de waarden kan door optellen resp. aftrekken van de afzonderlijke parameters worden verkregen. De waarden van de parameters zijn in veel gevallen echter niet vast, maar variabel. Zij schommelen, afhankelijk van hun aard of door toeval, en kunnen vaak niet exact bepaald worden. Men kan rekening houden met deze effecten door de berekende afmetingen met een vaste marge te verhogen. Het is pas mogelijk om met een grotere nauwkeurigheid een uitspraak hierover te doen als naast de gemiddelde waarden ook de dienovereenkomstige standaardafwijkingen bekend zijn. Als deze gegevens eveneens beschikbaar zijn, kan de statistische waarschijnlijkheid van een bepaalde gebeurtenis berekend worden.

De parameters zijn onderhevig aan een foutenmarge die door een normale verdeling kan worden benaderd. De parameters liggen rond een gemiddelde waarde, waarbij de strooiing gekenmerkt wordt door de zogenaamde normale kromme, een klokvormige grafiek, ook wel "gaussverdeling" genaamd, en de strooiingsomvang wordt gekenmerkt door de standaardafwijking. Voor een scheepshoogte van bijvoorbeeld 6,50 m en een meetnauwkeurigheid met een standaardafwijking van 0,30 m, levert dat een effectief voorhandene hoogte op van:

6,20 m tot 6,80 m: met een waarschijnlijkheid van 68,26 %;

5,90 m tot 7,10 m: met een waarschijnlijkheid van 95,44 %.

Het doorslaggevende criterium is de waarschijnlijkheid/frequentie van een bepaalde gebeurtenis. Hierdoor hoeft men geen rekening te houden met extreme waarden met een zeer geringe waarschijnlijkheid, m.a.w., met gebeurtenissen die zich slechts zeer zelden voordoen en die tot eisen zouden kunnen leiden die economisch gezien niet te rechtvaardigen zijn.

Als de standaardafwijkingen van de verschillende waarden die de parameters kunnen aannemen bekend zijn, en men er vanuit gaat dat de strooiing van deze waarden overeenkomt met die van een normale verdeling, dan kan volgens de zogenaamde statistische natuurwet van de "voortplanting van fouten" de totale standaardafwijking worden bepaald.

Het is bekend wat de effectieve hoogte is van de bruggen in het riviergedeelte tussen Straatsburg en Bazel, zoals beschreven in punt 4.6.

Hieruit kan als criterium voor de hoogte van de brug de veiligheidsmarge S worden afgeleid:

$$S = H_P - H_L + q$$

Gebruik makend van de standaardafwijking wordt de waarschijnlijkheid berekend dat bij een bepaalde brughoogte een zekere veiligheidsmarge voorhanden is, oftewel, dat S groter is dan 0:

$$\Phi (S > 0)$$

2. Beoordeling van de uitganggegevens

Voor de beoordeling is uitgegaan van de laagst mogelijke hoogte van de brug Chalampé.

Metingen Nederland:

a) bij HWS (ongeveer drie dagen)

$H_L + q = 6,72\text{m}$ waarbij $s = 0,58\text{m}$ en $S = 0,44\text{m}$

$\Phi(0,44/0,58) = 77,3\%$

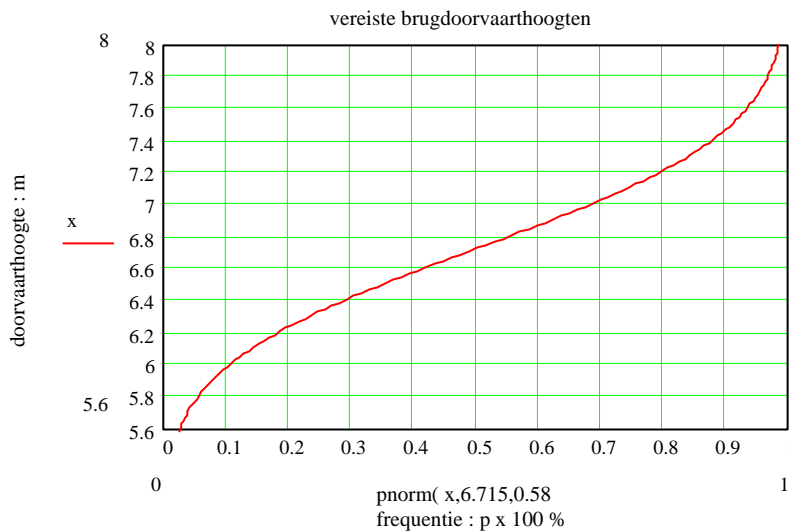
d.w.z. dat de waarschijnlijkheid 77,3 % bedraagt, dat voor een containerschip op de Boven-Rijn bij de brug Chalampé op het moment van HWS voldoende doorvaarthoogte voorhanden is. Overzichtstabel van

a- de resultaten van alle metingen in totaal

b- de resultaten van de metingen voor schepen met maximaal drie lagen containers (3/3)

c- de resultaten van de metingen voor schepen met maximaal vier lagen containers (3/4)

brughoogte m	waarschijnlijkheid toereikende hoogte		
	a-alle waarden	b-3/3	c-3/4
6,8	55,8%	42,1%	63,4%
7,0	70,0%	56,5%	76,6%
7,2	79,8%	70,1%	85,2%
7,4	88,1%	81,4%	91,8%
7,6	93,6%	89,5%	96,0%



Metingen in de sluis Iffezheim

De inzinking (squat) van het schip hangt af van de snelheid en de diepte van het water, zodat ook voor de Boven-Rijn wordt uitgegaan van:

$q = 0,20\text{ m}$ met een standaardafwijking van $s_q = 0,05\text{ m}$

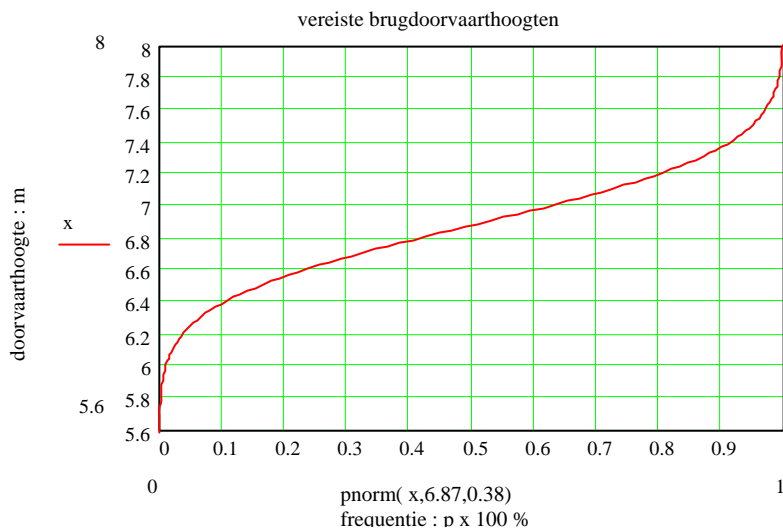
a) bij HWS (ongeveer drie dagen per jaar)

Opvaart $H_L = 6,87\text{ m}$; $s_{HL} = 0,37\text{ m}$; $\Sigma s = 0,38\text{ m}$; $S = 0,49\text{ m}$

$\Phi(0,49/0,38) = 90,15\%$

d.w.z. dat de waarschijnlijkheid 90,2 % is dat een containerschip met drie lagen op de Boven-Rijn ter hoogte van de brug Chalampé op het moment van een HWS over voldoende doorvaarthoogte beschikt. Overzichtstabel:

brughoogte	waarschijnlijkheid toereikende hoogte
7,0	63,4 %
7,2	80,7 %
7,4	91,9 %
7,6	97,3 %



b) bij 1100 m³/sec afvoer (circa 185 dagen)

Opvaart $H_L = 6,87$ m; $s_{HL} = 0,37$ m; $\Sigma s = 0,38$ m; $S = 0,79$ m

$\Phi(0,79/0,38) = 98,5$ %

d.w.z. dat de waarschijnlijkheid 98,5 % is dat een containerschip met drie lagen containers bij de brug Chalampé ongeveer 185 dagen per jaar over voldoende doorvaarthoogte beschikt.

De berekening van de hoogte van een schip

Het Nederlandse onderzoek levert een methode waarmee de hoogte van een schip kan worden berekend. Aan de hand van deze methode kan voor elk afzonderlijk schip de hoogte worden berekend onder voorwaarde dat alle gegevens bekend zijn. Verder kan met deze methode een algemene uitspraak worden gedaan, die gebaseerd is op gemiddelde waarden. Als afgezien van de gemiddelde waarden ook de dienovereenkomstige standaardafwijkingen bekend zijn, zodat de statistische frequentie kan worden berekend, kunnen er meer gedetailleerde uitspraken worden gedaan.

Wordt de methode toegepast op een doorsneeschip dat met drie lagen containers richting Bazel vaart (lengte 94,7 m, breedte 11,4 m, diepgang 2,8 m) met een gemiddelde lading stroomopwaarts in 1997 van 751 ton-vervoerde goederen (het meest ongunstige gemiddelde over een jaar) en een standaardafwijking van 102,08 t, dan bedraagt de inzinking als gevolg van de lading 0,82 m (0,11 m) bij een totale laaddiepte van 1,62 m, zodat de hoogte van het schip komt te liggen op 6,62 m (0,11 m). Er is dan nog geen rekening gehouden met de squat.
