

PROTOKOLL 28

Abschlussbericht über Brückendurchfahrtshöhen für die Containerfahrt mit drei Containerlagen auf der Strecke Straßburg - Basel (1999-II-22)

Beschluss

Die Zentralkommission

nimmt Kenntnis von dem Bericht ihres Ständigen Technischen Ausschusses über die allgemeinen Anforderungen an Brückendurchfahrtshöhen für die Containerfahrt mit drei Containerlagen auf der Strecke Straßburg – Basel, der in der Anlage beigefügt ist,

empfiehlt den Delegationen bei Planungen von Brückenneubauten auf der genannten Strecke den zuständigen Behörden diesen Bericht als eine Planungsgrundlage bei Festlegung der Brückendurchfahrtshöhe zur Verfügung zu stellen.

Anlage zu Protokoll 28

Ständiger technischer Ausschuss

Abschlussbericht Brückenhöhen für die Containerfahrt mit drei Containerlagen auf dem Oberrhein

1. Veranlassung

Anlässlich der Verabschiedung der "Mindestanforderungen und Empfehlungen für die technische Gestaltung von Bauwerken am Rhein" fand auf der Frühjahrsplenarsitzung der Zentralkommission 1995 eine Erörterung der Brückendurchfahrtshöhen oberhalb von Straßburg statt, wobei von einigen Delegationen die vorgesehene Höhe von 7,00 m für den dreilagigen Containerverkehr bis Basel als nicht ausreichend bezeichnet wurde. Die "Mindestanforderungen und Empfehlungen" wurden mit Beschluss 1995-I-29 zur Kenntnis genommen und damit zur Anwendung gebilligt, jedoch mit der Auflage an den ständigen technischen Ausschuss, die Mindestbrückenhöhen oberhalb von Straßburg nochmals zu überprüfen.

Der Ausschuss hat seine ständige technische Arbeitsgruppe mit der Prüfung dieser Frage beauftragt. Das Ergebnis der Erörterung wird in dem vorliegenden Bericht mitgeteilt.

2. Vorgehensweise und Basisdokumente

Die Arbeitsgruppe TP/G hat ihrer Prüfung folgende Dokumente und Studien zugrundegelegt

- Europäisches Übereinkommen über die Hauptbinnenwasserstraßen von internationaler Bedeutung (AGN) vom 19. Januar 1996, Dok. TP (00) 3;
- Studie: Höhe von Containerschiffen auf dem Rhein - Niederlande, 1996 - Dok. TP/G (98) 4;
- Messungen der Ladehöhen der Containerschiffahrt an der Schleuse Iffezheim - deutsche Delegation, 1999 - Dok. TP/G (99) 3,
- Vorschlag zur generellen Beurteilung von Durchfahrtshöhen - Sekretariat, 1999 - Dok. TP/G (99) 6;
- Containerverkehr und mittlere Containergewichte am Oberrhein- Sekretariat 1998 – Dok. TP/G (98) 6;
- Eignung der Binnenschiffahrtsstraßen für den Containertransport - Verein für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen, 1991.

Darüber hinaus wurden zahlreiche Mitteilungen der Delegationen sowie des internationalen Schifffahrtsgewerbes in die Erörterung und Prüfung einbezogen.

3. Problembeschreibung

Für die Brücken oberhalb von Straßburg (Rhein-km 295) werden in den "Mindestanforderungen und Empfehlungen für die technische Gestaltung von Bauwerken am Rhein" der Zentralkommission eine Durchfahrtshöhe von 7,00 m über dem jeweils geltenden höchsten Schifffahrtswasserstand (HSW), aber nicht weniger als 7,00 m über dem höchsten auftretenden Wasserstand während des Schifffahrtsbetriebes vorgeschlagen. Die Mindesthöhe von neuen Brücken soll jedoch nicht geringer sein als die Durchfahrtshöhe von Brücken, die in der Nähe bereits vorhanden oder geplant sind, damit kein zusätzlicher Engpass entsteht.

Das AGN empfiehlt für den dreilagigen Containerverkehr bei einem Anteil von Leercontainern von 50 % ebenfalls eine Brückendurchfahrtshöhe von 7,00 m.

Argumente der schweizerischen Sachverständigen sowie Unterlagen der niederländischen Delegation lassen vermuten, dass *eine Durchfahrtshöhe von 7,00 m für den dreilagigen Containerverkehr nicht in jedem Fall ausreicht* und daher als Planungsmaß für zukünftige Brücken besser 7,30 bis 7,80 m empfohlen werden sollte. Demgegenüber standen Auffassungen insbesondere der französischen und deutschen Sachverständigen, die eine bestimmte Festlegung von Höhen *nur für jeden einzelnen Planungsfall* und unter Einsatz *gesamtwirtschaftlicher* Kriterien befürworteten.

In Anbetracht der Tatsache, dass der Containerverkehr für die Binnenschifffahrt der Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnt und einer der wichtigsten und zukunftssträchigsten Bereiche der Rheinschifffahrt ist, muss diese Frage sorgfältig geprüft werden. Denn eine größere Durchfahrtshöhe speziell bei Neubauten kann nur zu relativ geringen Mehrkosten führen, fördert dagegen auf sämtlichen Binnenwasserstraßen langfristig die Containerschifffahrt erheblich, selbst wenn durch Einzelmaßnahmen noch keine sofort merkbaren positiven Effekte auftreten.

4. Ausgangsdaten

4.1 Containerabmessungen

Für die Bewertung der Brückendurchfahrtshöhen sind in erster Linie die Containerhöhen, darüber hinaus die Längen und maximalen Ladegewichte (zur Ermittlung der Abladung) von Bedeutung. Die Höhen der Container schwanken zwischen 8' (2,45 m) und 9 ½' (2,90 m) wie die folgende Tabelle zeigt:

ISO-Form	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

Das am häufigsten vorkommende Maß beträgt 8 ½' (2,59 m). Container mit größerer Höhe werden als "High-cube" (HC-)Container bezeichnet. Die maximale Höhe, die sich zur Zeit auf den konkurrierenden Verkehrsträgern (z.B. in den meisten Tunneln) befördern lässt, liegt bei etwa 2,90 m.

4.2 Untersuchungen der ECE

Untersuchungen der ECE (Dok. TRANS/WP.24/R37 Ad.1), die auf Studien einer PIANC-Arbeitsgruppe aus 1982 basieren, geben für ein Containerschiff der Abmessungen 110 m x 11,40 m mit vier Containerbreiten und drei Containerhöhen eine gesamte Schiffshöhe von 8,47 m an. Die Schiffshöhe über Wasser mit drei Containerlagen (h) ergibt sich daraus in Abhängigkeit von den Beladungsgrad (b) der (40') Container in % zu

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

und die hieraus abgeleitete folgende Tabelle:

b (%)	Höhe über Wasser h	
	Bei 40' Containern	Bei 20' Containern
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

Hinzu wird ein Sicherheitszuschlag von 0,30 m empfohlen. Die PIANC-Arbeitsgruppe hatte seiner Zeit zum Ausdruck gebracht, dass sie nur wenige praktische Erfahrungen berücksichtigen konnte.

4.3 Messungen in den Niederlanden

In den Niederlanden wurden die Höhen von 135 fahrenden Schiffen, davon 89 mit drei Containerlagen, bei Rhein km 867 (Millingen) an 16 Tagen in 1996 gemessen. In diesem Bereich ist die Containerfahrt von keinen Beschränkungen durch Brückenhöhen betroffen. Die Auswertung dieser Messungen ergibt einen Mittelwert (Standardabweichung in Klammern) für die gesamte Containerschiffahrt mit drei Lagen von

Berg- und Talfahrt 6,72 m (0,58 m)

Interessant ist eine Aufteilung in Fahrzeuge, bei denen maximal nur drei und solche, bei denen vier Containerlagen möglich waren. Bei maximal drei möglichen Containerlagen ergaben sich

6,90 m (0,55)

Bei maximal vier möglichen Lagen

6,61 m (0,57)

Für die fahrenden Schiffe wurde eine Einsenkung (Squat) von etwa 0,20 m angegeben. Die Werte für ruhende Schiffe sind entsprechend zu erhöhen.

4.4 Messungen an der Schleuse Iffezheim

An der Schleuse Iffezheim wurden in der Zeit von Februar bis Mai 1998 sowie von August bis November 1998 in der Berg- und Talfahrt jeweils getrennt die tatsächliche Ladehöhe der dreilagigen Containerfahrt bei 570 stillliegenden Schiffen in der Schleusenkammer gemessen sowie die Schiffsführer gebeten, die ihrer Meinung nach für ihr Schiff vorhandene Ladehöhe anzugeben. Die Ergebnisse der Messungen lassen sich wie folgt zusammenfassen (Standardabweichung in Klammern)

Ladehöhe (Messung):	Bergfahrt	6,87 m (0,37 m)
	Talfahrt	6,83 m (0,32 m)
Ladehöhe (Angaben):	Bergfahrt	6,95 m (0,47 m)
	Talfahrt	7,06 m (0,33 m)

4.5 Mittlere Containergewichte

Bei den Messungen in den Niederlanden wurde ein mittleres Containergewicht sämtlicher Container, somit einschließlich der leeren Container, von 9,6 t pro TEU ermittelt. Es ergab sich als Gewicht des beladenen Containers

für die Bergfahrt 10,7 t und

für die Talfahrt 13,4 t pro TEU

Für den Bereich des Oberrheines wurden die mittleren Containergewichte sämtlicher Container aus der Verkehrsstatistik der WSD Südwest an der Schleuse Iffezheim ermittelt. Es ergaben sich die folgenden Werte (Standardabweichung in Klammern):

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

Die mittlere Containerladung in Gütertonnen pro Schiff an der Schleuse Iffezheim ergab sich aus der gleichen Statistik wie folgt:

	1996	1997	1998
Bergfahrt	761	751	746
Talfahrt	841	911	991

4.6 Höhen der Containerladung

Der Standardcontainer nach ISO hat eine Höhe von 8 ½' (2,591 m). Darüber hinaus werden jedoch zunehmend HC-Container mit 9 ½' (2,896 m) befördert. Hierdurch kann die Ladehöhe nochmals vergrößert werden (max. bei drei Lagen etwa um 3 x 0,305 m = 0,915 m). Der Anteil der HC-Container lag 1996 auf dem Niederrhein bei etwa 7 %.

Fahrten mit unvollständiger dritter Containerlage ergeben größere Ladehöhen. So hat im Extremfall ein Containerschiff mit zwei Lagen bei 50 % Beladungsgrad und einem zusätzlichen Container in der dritten Lage eine Höhe von 7,03 m. Derartige Sonderfälle können jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht für die Festlegung von Brückendurchfahrtshöhen maßgebend sein.

4.7 Vorhandene Brückendurchfahrtshöhen

Die gemessenen Brückendurchfahrtshöhen an Oberrhein oberhalb von Straßburg für acht Brücken im Schleusenbereich und sechs weiteren Straßen- und Eisenbahnbrücken wurden von der französischen und deutschen Delegation mitgeteilt. Sie sind, wie folgende Tabelle zeigt, abhängig vom jeweiligen Abflusszustand und damit zeitlich zwischen den angegebenen Werten schwankend.

Brücke	Rhein- km	Brückendurchfahrtshöhen in m bei			
		Hydrost. Stau	1000 m³/s	2100 m³/s	HSW
		Größere Durchfahrtshöhe vorhanden an im Mittel			
		*)	50 % des Jahres	97 % des Jahres	99 % des Jahres
Palmrainbrücke Weil	171,33	7,25 *)	7,30 *)	7,35 *)	7,40 *)
Schleuse Kembs	179,28	8,54	7,93	--	7,48
Schleuse Ottmarsheim	193,83	8,47	7,88	--	7,48
Brücke A 36 Ottmarsheim	194,30	--	--	--	7,83
Brücke Chalampé	199,26	7,81	7,46	--	7,06
Schleuse Fessenheim	210,69	8,55	8,10	--	7,56
Schleuse Vogelgrün	224,73	8,85	8,50	--	8,00
Schleuse Marckolsheim	240,06	9,30	9,13	8,24	7,70
Schleuse Rhinau	256,33	8,80	8,54	8,20	7,67
Schleuse Gerstheim	272,42	9,23	9,08	8,21	7,50
Brücke Altenheim- Eschau	282,80	7,30 **)	7,28 **)	**)	7,25 **)
Schleuse Strasbourg	287,55	10,62	9,72	8,57	7,70
Europabrücke	293,48	9,07	8,47	7,87	6,79
Eisenbahnbrücke	293,69	8,95	8,55	7,85	6,75

*) Für die Brückendurchfahrtshöhe gelten nicht die angegebenen Jahreshäufigkeiten, da sie von den Abflussverhältnissen am Wehr Markt abhängt. Die Brücke hat eine bogenförmige Unterkannte, die auf 80 m Breite etwa 7,80 m Durchfahrtshöhe gewährleistet.

***) Die Brücke hat eine bogenförmige Unterkannte, die auf etwa 100 m Breite etwa 7,80 m Durchfahrtshöhe gewährleistet.

5. Bewertung der Ausgangsdaten im Hinblick auf eine vertretbare Brückendurchfahrtshöhe

Zur Bewertung der Messdaten im Hinblick auf die Ermittlung einer vertretbaren Brückendurchfahrtshöhe können stochastische Ansätze verwendet werden, die bei Annahme einer bestimmten Häufigkeitsverteilung für Schiffshöhe, Wasserstände und Geschwindigkeiten eine Aussage darüber erlauben, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Containerschiff bei dem Passieren einer Brücke unter den herrschenden Umständen Schwierigkeiten haben wird und welches Sicherheitsmaß gewählt werden muss. Die Methode ist in der Anlage B ausführlicher dargestellt.

6. Aussagen und Schlussfolgerung

6.1 Allgemein

Die Untersuchung und Diskussion der Ergebnisse zeigen, dass eine Brückendurchfahrtshöhe von 7,00 m für die Containerfahrt mit drei Lagen in der Regel nicht ausreichend ist, insbesondere in Hinblick auf die zukünftige Entwicklung des Containerverkehrs, der nach allgemeinen Prognosen stark zunehmen wird. Die konkret erforderliche Mindestbrückendurchfahrtshöhe von

$$7,00 + x \text{ m}$$

ist jedoch situationsbedingt und muss auf den jeweiligen Einzelfall bezogen werden. Der Wert "x" kann erst bei Bedarf unter Ansatz der Parameter für

- Squat
- Beladungsgrad
- Sicherheitszuschlag (= gegebenenfalls aus einer Betrachtung der Wahrscheinlichkeit)
- Art und Bauweise der Brücke

ermittelt werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass bei sämtlichen möglichen Situationen kein neuer Engpass entsteht.

6.2 Oberrhein-Strecke Basel-Straßburg

Im Falle des Oberrheins auf der Strecke Basel-Straßburg sind die Wasserstände vom Abfluss des Rheines abhängig. Die angegebenen Mindesthöhen bei HSW treten nur an etwa drei Tagen pro Jahr auf und stellen somit bei normalen Abflüssen keine Behinderung dar. Auch an der Brücke Chalampé ist während fast der Hälfte des Jahres eine Durchfahrtshöhe von 7,46 m vorhanden. Jedoch sollte bei Planungen von neuen Brücken oder von Umbauten bestehender Brücken in jedem Einzelfall die erforderliche Brückenhöhe unter Berücksichtigung der Containerfahrt in drei Lagen sowie sämtlicher Abflusszustände bis zur Hochwassermark II besonders festgelegt werden.

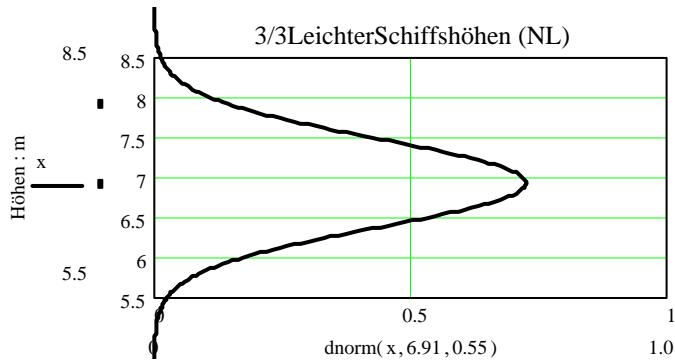
Anlagen zum Bericht

A Verteilung der Schiffshöhen

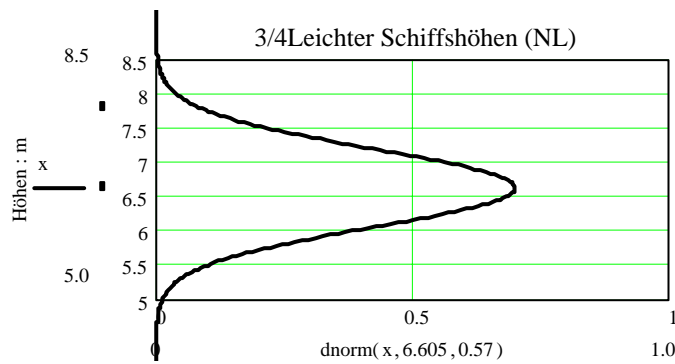
Die gemessenen Höhen von dreilagigen Containerschiffen zeigen die folgende Normalverteilungen:

Messungen in Millingen:

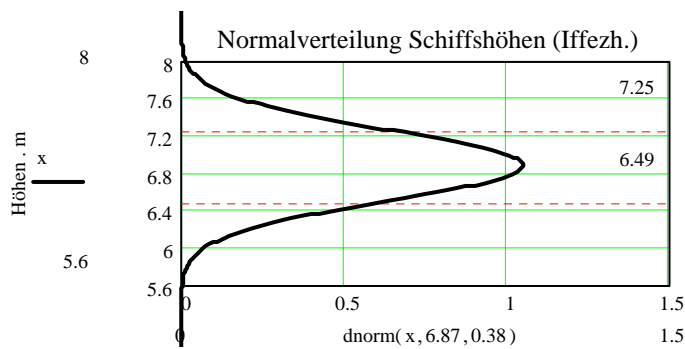
a) Schiffe, auf denen maximal drei Containerlagen möglich sind:



b) Schiffe, auf denen maximal vier Containerlagen möglich sind:



Messungen in Iffezheim:



B. Bewertung der Ausgangsdaten im Hinblick auf eine vertretbare Brückendurchfahrtshöhe

1. Verfahren

Die Brückendurchfahrtshöhe kann mit Hilfe der folgenden Parameter ermittelt werden

- H_L - Ladehöhe des Containerschiffes gemessen in Ruhelage
- q - Einsinktiefen des Schiffes während der Fahrt (Squat)
- S - Gewähltes Sicherheitsmaß
- H_P - vorhandene Brückendurchfahrtshöhe.

Es gilt die Beziehung

$$H_P = H_L - q + S$$

Die Beziehung kann durch Addition bzw. Subtraktion von Einzelparametern ermittelt werden. Zahlreiche dieser Parametergrößen sind jedoch nicht fest, sondern schwanken von Natur aus zufällig oder lassen sich nicht völlig fehlerfrei messen. Diese Effekte können durch pauschale Zuschläge zu den ermittelten Abmessungen berücksichtigt werden. Weitergehende Aussagen werden dann möglich, wenn neben den Mittelwerten auch entsprechende Standardabweichungen bekannt sind und dadurch statistische Ereigniswahrscheinlichkeiten angegeben werden können.

Die Parameter unterliegen einem Fehlergesetz, das durch eine Normalverteilung angenähert werden kann. Die Parameter streuen um einen Mittelwert, wobei die Streuung durch die sogenannte Gaussche Glockenkurve und das Streuungsmaß durch die Angabe der Standardabweichung charakterisiert wird. Dieser Ansatz ergibt z. B. bei einer Schiffshöhe von 6,50 m und einer Informationsgenauigkeit, ausgedrückt durch eine Standardabweichung von 0,30 m, eine tatsächlich vorhandene Höhe von:

- 6,20 m bis 6,80 m: mit einer Wahrscheinlichkeit von 68,26 %;
- 5,90 m bis 7,10 m: mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,44 %.

Entscheidungskriterium ist die Wahrscheinlichkeit/ Häufigkeit des Auftretens.

Eine Berücksichtigung von Extremwerten, die mit nur einer geringen Wahrscheinlichkeit, d.h. äußerst selten auftreten und die zu aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht vertretbaren Anforderungen führen, wird dadurch vermieden.

Sind die Standardabweichungen einzelner Parameterwerte bekannt und wird angenommen, dass die Streuungen der Werte nach der Normalverteilung erfolgen, so kann die gesamte Standardabweichung nach dem "Fehlerfortpflanzungsgesetz" der Statistik ermittelt werden:

Die tatsächlichen Brückenhöhen liegen für die Strecke Straßburg– Basel vor vgl. Nr. 4.6. Daraus kann als Kriterium für die Brückenhöhe das Sicherheitsmaß S abgeleitet werden

$$S = H_P - H_L + q$$

Unter Verwendung der Standardabweichung wird die Wahrscheinlichkeit errechnet, dass bei einer bestimmten Brückenhöhe ein Sicherheitsmaß vorhanden, d.h. S größer als 0 ist:

$$\Phi (S > 0)$$

2. Bewertung der Ausgangsdaten

Zur Bewertung werden die niedrigsten Höhen der Brücke Chalampé zugrundegelegt
Messungen Niederlande:

a) bei HSW (etwa an drei Tagen)

$$H_L + q = 6,72\text{m mit } s = 0,58\text{m und } S = 0.44\text{m}$$

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

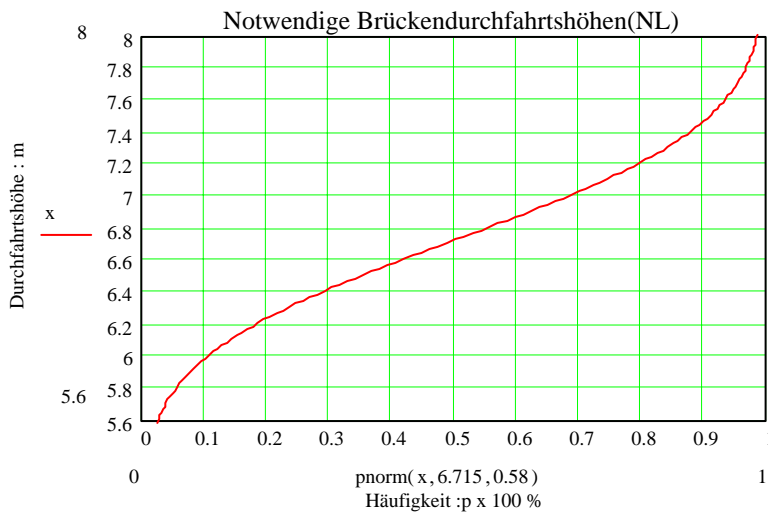
d. h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 77,3 % ist für ein dreilagiges Containerschiff am Oberrhein an der Brücke Chalampé zur Zeit des HSW eine ausreichende Durchfahrtshöhe vorhanden. Allgemeine Tabelle für

a- sämtliche Messergebnisse

b- Messergebnisse für nur drei mögliche Containerlagen (3/3)

c- Messergebnisse für vier mögliche Containerlagen (3/4)

Brückenhöhe m	Wahrscheinlichkeit ausreichender Höhe		
	a-Alle Werte	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%



Messungen Schleuse Iffezheim

Die Einsinktiefen (Squat) des Schiffes in Abhängigkeit von seiner Geschwindigkeit und der vorhandenen Wassertiefe wird auch für den Oberrhein angenommen zu:

$$q = 0,20 \text{ m mit einer Standardabweichung von } s_q = 0,05 \text{ m}$$

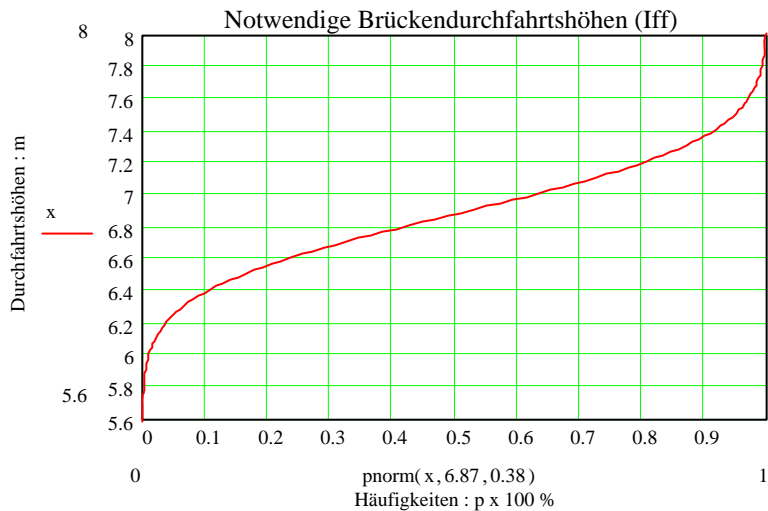
a) bei HSW (etwa an drei Tagen)

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

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

d. h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 90,2 % ist für ein dreilagiges Containerschiff am Oberrhein an der Brücke Chalampé zur Zeit des HSW eine ausreichende Durchfahrtshöhe vorhanden. Allgemeine Tabelle

Brückenhöhe	Wahrscheinlichkeit ausreichender Höhe
7,0	63,4 %
7,2	80,7 %
7,4	91,9 %
7,6	97,3 %



b) bei $1100 \text{ m}^3/\text{sec}$ Abfluss (etwa 185 Tage)

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

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

d. h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 98,5 % ist für ein dreilagiges Containerschiff an der Brücke Chalampé an etwa 185 Tagen eine ausreichende Durchfahrtshöhe vorhanden.

Berechnung von Schiffshöhen

Die niederländische Studie hat eine Berechnungsmethode für Schiffshöhen aufgezeigt. Diese erlaubt für jedes einzelne Schiff eine Berechnung, wenn sämtliche erforderlichen Angaben vorliegen. Sie erlaubt jedoch auch allgemeine Aussagen auf der Basis von Mittelwerten und kann darüber hinaus auch weitergehende Aussagen ermöglichen, falls neben den Mittelwerten auch entsprechende Standardabweichungen bekannt sind und dadurch statistische Häufigkeiten angegeben werden können.

Bei Anwendung der Methode auf die drei Lagen Containerfahrt eines Musterschiffes in der Baselfahrt (Länge 94,7 m, Breite 11,4 m, Tiefgang 2,8 m) ergibt sich hier für den Fall einer mittleren Ladung zu Berg in 1997 von 751 Gütertonnen (ungünstigstes Jahresmittel) mit einer Standardabweichung von 102,08 t eine Einsenkung infolge der Ladung von 0,82 m (0,11 m) bei einer gesamten Abladetiefe von 1,62 m und damit eine Höhe des Schiffes von 6,62 m (0,11 m). Hierbei ist der Squat noch nicht berücksichtigt.
