

KURZBERICHT

Titel: **Hydraulische Berechnungen im Zuge des
Ersatzneubaus der Ostebrücke in Bremervörde**

Datum: 18.03.2015
Auftraggeber: Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr
Geschäftsbereich Stade
Harsefelder Straße 2
21680 Stade
Auftrag vom: 15.07.2014
Ansprechpartner: Herr Dipl.-Ing. F. Salomon

Auftragnehmer: BWS GmbH

Aktenzeichen: BRB/14.P.38
Projektleitung: Herr Dr.-Ing. C. Peters
Projektbearbeitung: Herr Dr.-Ing. C. Peters
 Herr Dipl.-Ing. N. Petersen

Ausfertigung Nr.:

I N H A L T		S e i t e
Text		
1	Anlass und Aufgabenstellung	3
2	Datengrundlagen	4
3	Hydraulische Berechnungen	5
3.1	Vorgehensweise	5
3.2	Ergebnisse	5
4	Statistische Auswertung des Pegels Bremervörde UW	8
4.1	Vorgehensweise	8
4.2	Ergebnisse	10
5	Zusammenfassung und Fazit	12
Abbildungen		
Abb. 1:	Für die Modellierung verwendete Bauwerksprofile und Querschnittsflächen	6
Abb. 2:	Hydraulischer Längsschnitt	7
Abb. 3:	Zeitreihe der Tidescheitelwerte (Thw und Tnw) und jährliche Serie der Hochwasserstände (HW)	9
Abb. 4:	Kriterien für hydrologisch unabhängige Hochwasserscheitelwerte (Pegelvorschrift Stammtext Abb. 6-4, LAWA 1997)	9
Abb. 5:	Ergebnis der Trendanalyse	10
Abb. 6:	Ergebnis der Hochwasserstatistik	11
Dokumentation		
Dok. 1:	Profile und Querschnittsflächen	
Dok. 2:	Hydraulische Längsschnitte	
Dok. 3:	Hochwasserstatistik	
Dok. 4:	Bauzustände	

1 Anlass und Aufgabenstellung

(Das folgende Kapitel wurde in Teilen aus der Leistungsbeschreibung übernommen.)

Die Brücke der B73 über die Oste in Bremervörde muss erneuert werden. Die BWS GmbH hat für das NLWKN, Betriebsstelle Stade eine hydraulische Modellierung zur Ermittlung der natürlichen Überschwemmungsgrenzen für die Oste durchgeführt. Dabei wurde der vorhandene Brückenquerschnitt berücksichtigt. Durch ein neues Bauwerk mit einem neuen statischen System wird der Durchflussquerschnitt verändert, sowohl während der Bauzeit (ca. 1,5 Jahre) als auch dauerhaft nach Fertigstellung des Neubaus. Um das Ergebnis des o.g. Gutachtens mit den neuen Randbedingungen einzuhalten, sind mit dem vorhandenen hydraulischen Modell die im folgenden genannten Planvarianten zu berechnen und hinsichtlich des Einflusses auf die Wasserspiegellagen zu untersuchen:

1. nach Fertigstellung: Endzustand der Brücke gem. Anlage 4 der Leistungsbeschreibung (Variante 1.b, 1-feld Spannbetonrahmenbrücke)
2. nach Fertigstellung: Endzustand der Brücke gem. Anlage 5 der Leistungsbeschreibung (Variante 2.b, 3-feld Spannbetonbrücke)
3. nach Fertigstellung: Endzustand der Brücke gem. Anlage 6 der Leistungsbeschreibung (Variante 3.b, 3-feld Spannbetonrahmenbrücke)
4. 2 Bauwerksvarianten (Varianten 2.b und 3.b) während der Bauzeit (mit rückgebauter Schalung)

Als Ergebnis ist eine Aussage zu treffen, ob mit den vorgegebenen Längsschnitten der Bauwerke das relevante Hochwasser abgeleitet werden kann oder welche Änderungen sich daraus ergeben.

Die Schalungsunterkanten während der Bauphase liegen unter dem bekannten Wasserspiegel bei Hochwasser. Das bedeutet, dass die Schalungen im Hochwasserfall zurückgebaut werden müssten. Über eine statistische Auswertung der Wasserstandsaufzeichnungen des Pegels Bremervörde UW ist daher eine Aussage zu treffen, ab welcher Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses die Schalung betroffen wäre.

2 Datengrundlagen

Für die Bearbeitung des Projektes wurden die folgenden Datengrundlagen verwendet:

- Anlagen der Leistungsbeschreibung:
 - Bauwerkspläne der 3 Varianten (Anlagen 4 bis 6 der Leistungsbeschreibung)
 - 2 Längsschnitte während der Bauzeit (per E-Mail am 07.11.2014, siehe Dok. 4)
- Ermittlung des technischen Überschwemmungsgebietes der Unteren Oste (BWS 2013)
 - Bericht und verwendete Datengrundlagen, insbesondere die hydraulischen Modelle
- Zeitreihen der Tidescheitelwerte (Thw und Tnw) des Pegels Bremervörde UW bezüglich Pegelnull (PN) vom 01.11.1973 bis zum 01.11.2013 (Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven)
- Auskunft zum Pegelnull (Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven)
 - PN = NN - 5,01 m
 - PN = NN - 5,00 m (ab 11.12.2000)

3 Hydraulische Berechnungen

3.1 Vorgehensweise

Die in Kapitel 1 beschriebenen Planungsvarianten und Bauzustände wurden aus den Plänen digitalisiert. Dabei wurde zur besseren Vergleichbarkeit die Sohlage der geplanten Brücken an die bestehende Sohlage (aus der ein etwas kleinerer Fließquerschnitt resultiert) angepasst. Bei den Bauzuständen wurde davon ausgegangen, dass die Spundwände stehen und die Schalung zurückgebaut wurde (siehe Dok. 1, S. 4 und 5).

Für jede der Planungsvarianten und Bauzustände wurde aus dem Bestandsmodell (BWS 2013) eine eigenständige Modellvariante erzeugt, in der die Bauwerke entsprechend angepasst wurden.

Mit dem so angepassten Modell wurde ein 100-jährliches Hochwasserereignis gerechnet.

Da sich die Brücke in Bremervörde im tidebeeinflussten Bereich befindet, können hohe Wasserstände sowohl durch einen hohen Binnenabfluss als auch durch hohe Elbwasserstände (Sturmflut) verursacht werden. Daher wurden für die Ermittlung der Überschwemmungsgebiete vom NLWKN zwei Lastfälle definiert, die für die Ermittlung des HW_{100} zu betrachten sind:

- Lastfall Binnenhochwasser $HQ_{100} + 1$ m erhöhte Tide (BWS 2013, LF1)
- Lastfall Sturmflut $HQ_{10} + 36$ h Sperrzeit (BWS 2013, LF3)

Der maßgebliche Wasserstand HW_{100} ergibt sich als Maximalwasserstand der genannten Lastfälle.

Die mit dem Modell ermittelten Ergebnisse wurden durch Handrechnungen plausibilisiert (Reibungsverluste, Verengungs- und Aufweitungsverluste).

3.2 Ergebnisse

In Abb. 1 sind die für die Modellierung verwendeten Bauwerksprofile dargestellt (siehe auch Dok. 1, dort befinden sich auch separate Abbildungen für die einzelnen Varianten).

Ferner sind zu den entsprechenden Profilen die Querschnittsflächen als Funktion des Wasserstandes aufgetragen. Die Querschnittsflächen der einzelnen Varianten unterscheiden sich nur geringfügig. Die Bauzustände weisen deutlich kleinere Querschnittsflächen auf, insbesondere in der Variante 3.b.

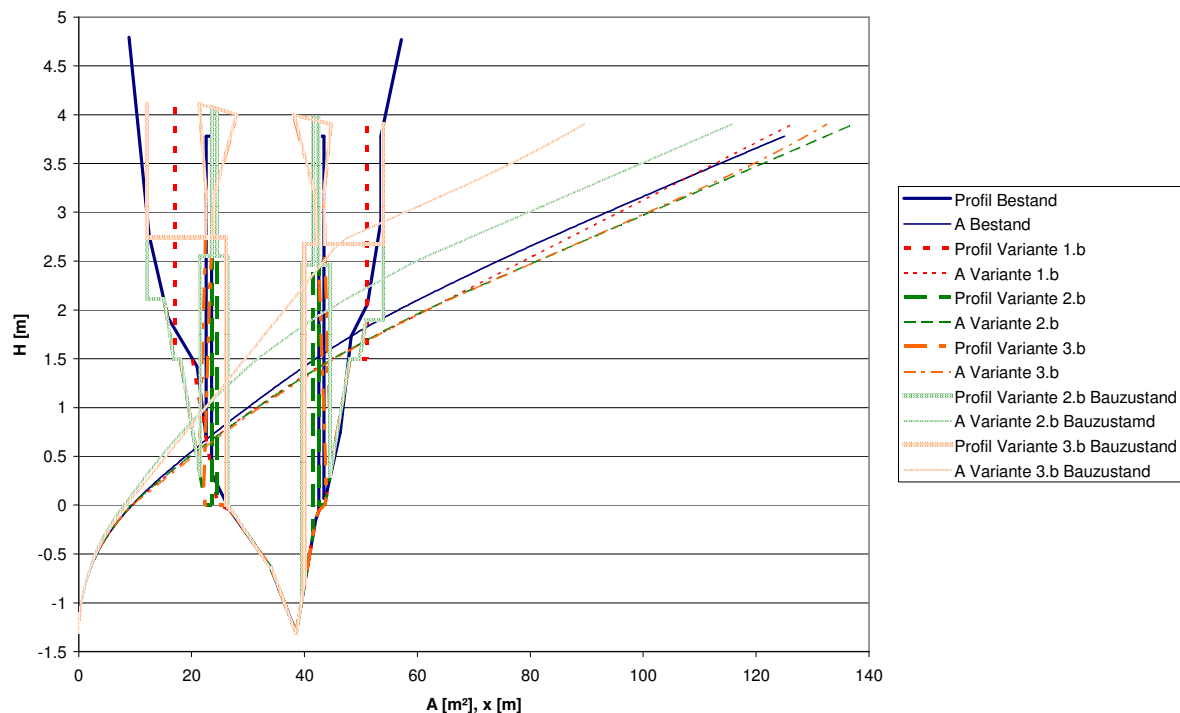


Abb. 1: Für die Modellierung verwendete Bauwerksprofile und Querschnittsflächen

Abb. 2 stellt einen hydraulischen Längsschnitt im Bereich der Brücke dar (siehe auch Dok. 2). Die Brücke befindet sich ca. bei Station 73860 (km 73+860). Keines der fertiggestellten Bauwerke verursacht einen nennenswerten Aufstau. Die errechneten Wasserstände stromaufwärts (südlich) der Brücke entsprechen in allen Varianten dem Bestand (LF1: $W = 3,03 \text{ m}$, LF3: $W = 3,21 \text{ m}$).

Während der Bauphase verursacht die Variante 2.b im LF1 (Binnenhochwasser) einen Aufstau von ca. 2 - 3 cm, die Variante 3.b verursacht einen Aufstau von ca. 5 cm. Im LF3 (Sturmflut) verursachen beide Varianten einen Aufstau von weniger als 1 cm. Die geringen Unterschiede im LF3 sind dadurch begründet, dass der Maximalwasserstand maßgeblich vom erhöhten Unterwasserstand (Sturmflut) und nicht von der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Brücke bestimmt wird. Da der Wasserspiegel im LF3 höher ist als im LF1, resultiert aus LF3 der maßgebliche Wasserspiegel HW_{100} . Das bedeutet, dass aus beiden Varianten auch während der Bauphase keine nennenswerte Erhöhung des maßgeblichen Wasserstandes HW_{100} resultiert.

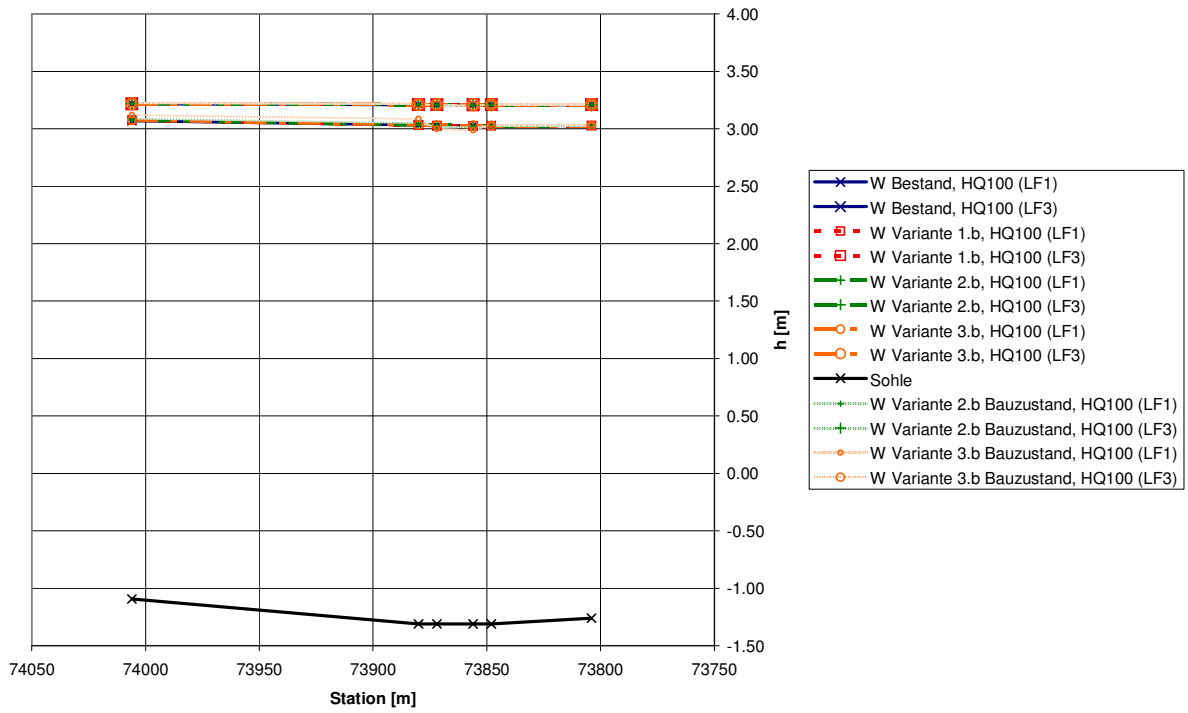


Abb. 2: Hydraulischer Längsschnitt

4 Statistische Auswertung des Pegels Bremervörde UW

Die Schalungsunterkanten der Brücken liegen in der Bauphase unter den bekannten Wasserspiegeln bei Hochwasser. Eine theoretische Möglichkeit, die Schalung vor Hochwasser zu schützen, wäre, eine komplett trockene Baustelle herzustellen, d.h. stromaufwärts und stromabwärts der Baustelle eine Spundwand zu errichten und das Gewässer an der Baustelle komplett zu sperren. Dann müsste allerdings der gesamte Abfluss über die Umflut westlich von Klein Helgoland abgeleitet werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dafür im Hochwasserfall die Leistungsfähigkeit der Umflut nicht ausreicht.

Somit verbleibt als Möglichkeit, die Schalungen im Hochwasserfall zurückzubauen. Über eine statistische Auswertung der Wasserstandsaufzeichnungen des Pegels Bremervörde UW kann bestimmt werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit bzw. ab welcher Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses die Schalung zurückgebaut werden müsste.

Der Pegel Bremervörde UW befindet sich im Bermervörder Hafen. Zwischen dem Pegel und der Brücke ist auch im Hochwasserfall nahezu kein Wasserspiegelgefälle vorhanden. Der Wasserspiegel am Pegel entspricht mit guter Genauigkeit dem Unterwasserstand der Brücke (Abweichungen bei $HW_{100} < 1$ cm).

4.1 Vorgehensweise

Die Zeitreihen der Tidescheitelwerte (Thw, Tnw) des Pegels Bremervörde UW wurden durch Addition des Pegelnull (PN = NN - 5,01 m bis 10.12.2000, PN = NN - 5,00 m ab 11.12.2000) auf mNN umgerechnet und dann zu einer gemeinsamen Zeitreihe (Thw und Tnw) kombiniert (Abb. 3, blau). Aus dieser Zeitreihe wurde die jährliche Serie der Hochwasserstände (HW), bezogen auf das Wasserwirtschaftsjahr (WWJ, 01. November bis 31. Oktober), ermittelt (Abb. 3, rot).

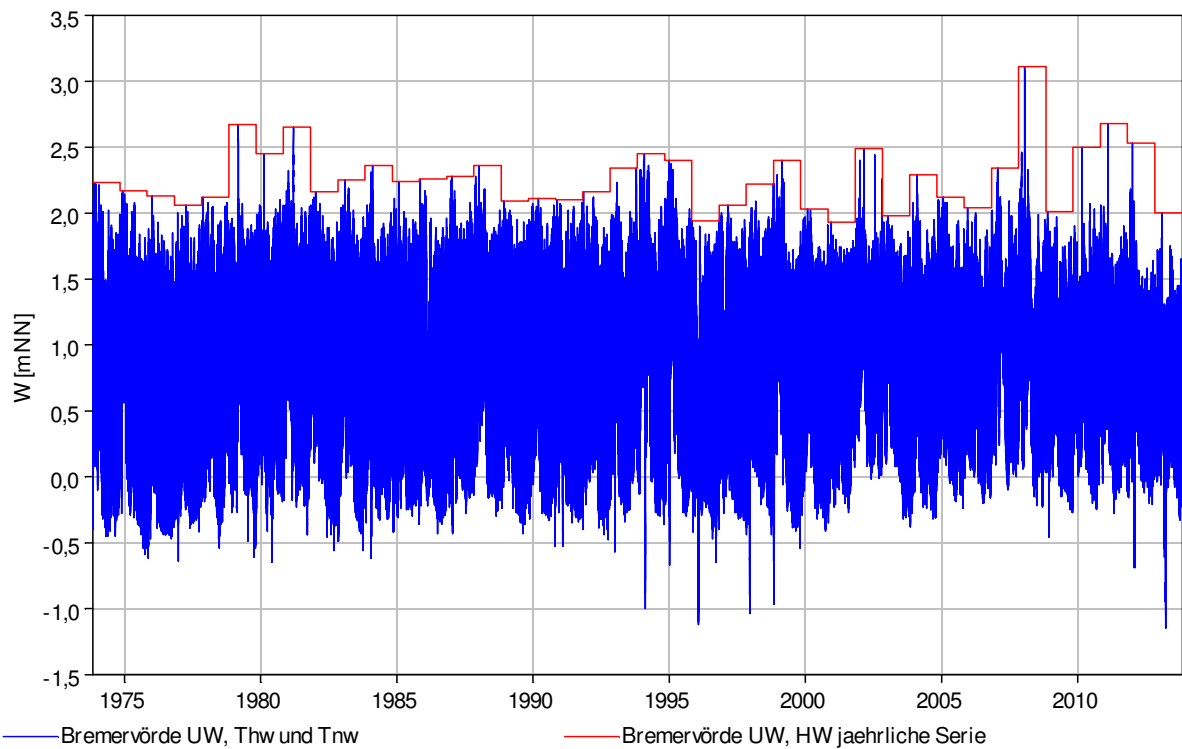


Abb. 3: Zeitreihe der Tidescheitelwerte (Thw und Tnw) und jährliche Serie der Hochwasserstände (HW)

Dabei wurde die Unabhängigkeit der Scheitelwerte am Jahreswechsel mit der Zeitreihe der Tidehochwasser analog zur LAWA-Pegelvorschrift (wie in Abb. 4 dargestellt, bezogen auf den Wasserstand) überprüft.

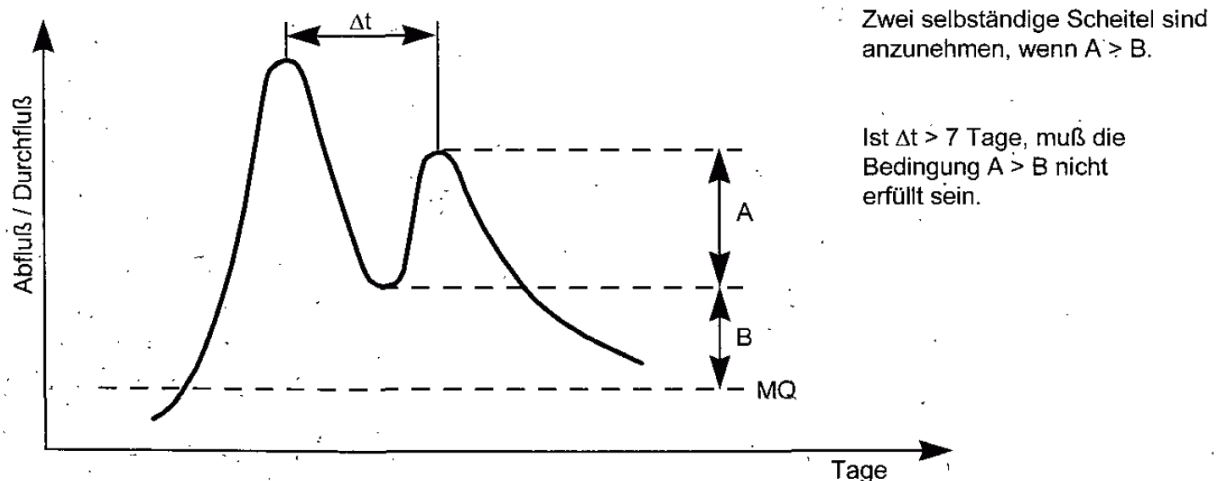


Abb. 4: Kriterien für hydrologisch unabhängige Hochwasserscheitelwerte (Pegelvorschrift Stammtext Abb. 6-4, LAWA 1997)

Die in Abb. 3 (rot) dargestellte jährliche Serie ist die Grundlage für die Trendanalyse und die Hochwasserstatistik, die mit der Software HQ-EX 3.0 durchgeführt wurden.

Abb. 5 zeigt das Ergebnis der Trendanalyse. Bei einem Signifikanzniveau von 0,05 wurde kein signifikanter Trend festgestellt.

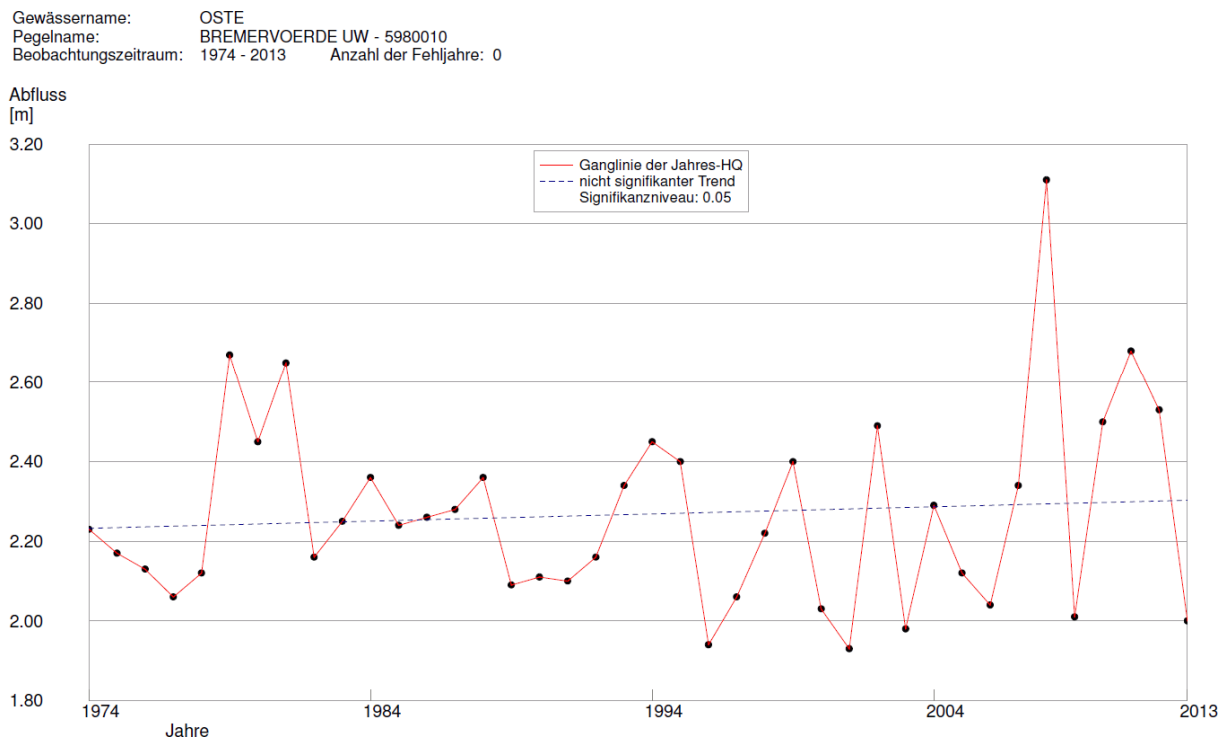


Abb. 5: Ergebnis der Trendanalyse

Die Ergebnisse der Hochwasserstatistik sind ausführlich in Dok. 3 dargestellt. In der zusammenfassenden Ergebnisgrafik (Kap 4.2, Abb. 6) ist jeweils der Mittelwert der drei bestangepassten Verteilungsfunktionen dargestellt. Für Jährlichkeiten $\leq 5a$ unterschätzt die jährliche Serie die Hochwasserabflüsse (vgl. DVWK Merkblatt 251, 1999). Daher ist in Abb. 6 die korrigierte Jährlichkeit T^* (DVWK Merkblatt 251, 1999) dargestellt.

4.2 Ergebnisse

In Abb. 6 ist das Ergebnis der Hochwasserstatistik als Verteilungsfunktion dargestellt. D.h., auf der Hochachse kann der Wasserstand zu einer gegebenen Jährlichkeit abgelesen werden bzw. auf der Längsachse kann die Jährlichkeit zu einem gegebenen Wasserstand abgelesen werden.

Die Unterkanten der Schalung der Varianten 2.b (3-feld Spannbetonbrücke, 2,5 mNN) und 3.b (3-feld Spannbetonrahmenbrücke, 2,9 mNN) sind mit einem Kreuz markiert und mit Jährlichkeit und Wasserstand beschriftet.

Der Wasserstand 2,5 mNN (Variante 2.b) wird statistisch etwa einmal alle 5 bis 6 Jahre überschritten, mit anderen Worten gesagt: Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass innerhalb eines Jahres ein Wasserstand von 2,5 mNN überschritten wird, beträgt etwa 17% ($n^* = 1/T^* = 1/5,8 = 0,17$).

Der Wasserstand 2,9 mNN (Variante 3.b) wird etwa einmal alle 50 Jahre überschritten. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass innerhalb eines Jahres ein Wasserstand von 2,9 mNN überschritten wird, beträgt etwa 2% ($n^* = 1/T^* = 1/50 = 0,02$).

Wenn ein zusätzlicher Freibord eingehalten werden soll, verringern sich die Jährlichkeiten (bzw. erhöhen sich die Wahrscheinlichkeiten).

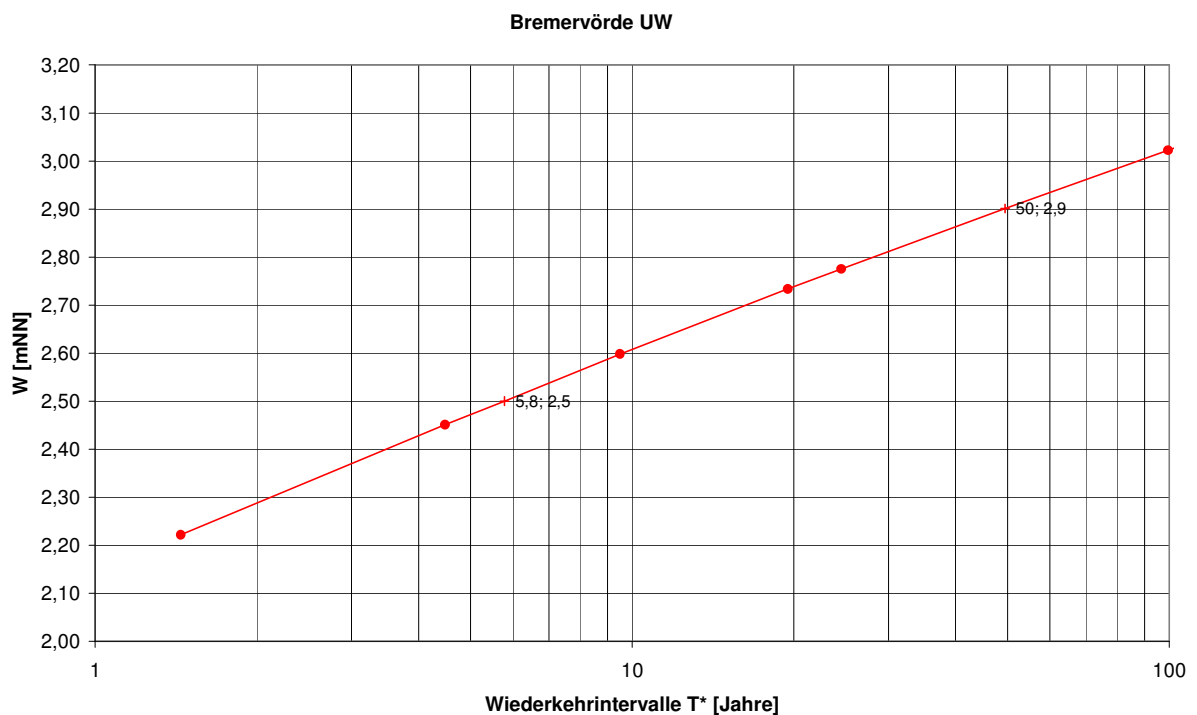


Abb. 6: Ergebnis der Hochwasserstatistik

5 Zusammenfassung und Fazit

Die Brücke der B73 über die Oste in Bremervörde muss erneuert werden. In diesem Zusammenhang wurden drei unterschiedliche Planungsvarianten hinsichtlich des Wasserstandes HW_{100} miteinander verglichen. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die Varianten untereinander und gegenüber dem Bestand gleichwertig sind.

Die Bauwerksvarianten 2.b und 3.b wurden auch während der Bauphasen betrachtet.

Die Schalungsunterkanten der Brücken liegen unter den bekannten Wasserspiegeln bei Hochwasser. Eine theoretische Möglichkeit, die Schalung vor Hochwasser zu schützen, wäre, eine komplett trockene Baustelle herzustellen, d.h. stromaufwärts und stromabwärts der Baustelle eine Spundwand zu errichten und das Gewässer an der Baustelle komplett zu sperren. Dann müsste allerdings der gesamte Abfluss über die Umflut westlich von Klein Helgoland abgeleitet werden. Dafür reicht im Hochwasserfall die Leistungsfähigkeit der Umflut nicht aus.

Somit verbleibt als Möglichkeit, die Schalungen im Hochwasserfall zurückzubauen. Der Pegel Bremervörde UW befindet sich im Bremervörder Hafen. Der Wasserspiegel entspricht mit guter Genauigkeit dem Unterwasserstand der Brücke (Abweichungen bei $HW_{100} < 1$ cm). Eine statistische Auswertung der Wasserstandszeichnungen des Pegels führt zu dem Ergebnis, dass die Schalung der Variante 2.b bereits bei einem ca. 5-jährlichen Hochwasser betroffen wäre. Variante 3.b wäre erst bei einem ca. 50-jährlichen Hochwasser betroffen.

Ferner war zu überprüfen, ob im Bauzustand (bei rückgebauter Schalung) negative Auswirkungen für die Oberlieger resultieren. Bei einem hundertjährigen Binnenhochwasser resultiert aus Variante 2.b ein Aufstau von ca. 2 - 3 cm, Variante 3.b verursacht einen Aufstau von ca. 5 cm. Beim für den hundertjährigen Wasserstand HW_{100} maßgeblichen Lastfall (Sturmflut, Rückstau) führt keine der beiden Varianten zu einer nennenswerten Erhöhung der Wasserspiegel.

Hamburg, 18.03.2015

Lutz Krob
(Geschäftsführer)

Christian Peters
(Dr.-Ing.)

Quellen

LAWA (1991): Pegelvorschrift Anlage D: Richtlinie für das Messen und Ermitteln von Abflüssen und Durchflüssen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Bundesminister für Verkehr, Hamburg und Bonn.

DVWK Merkblatt 251 (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn.