

WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES  
**Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven**  
**Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen**



## **Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser an die Entwicklungen im Schiffsverkehr (WAP)**

### **WAP-Studie 2005 - 2**

#### **Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenweser**

#### **Überflutungshäufigkeit und ausbaubedingte Änderungen**

Dr. rer. nat. Dipl. Geophys. Dietrich Lange, WSA Bremerhaven

Dezember 2005



Projektgruppe Weseranpassung



## 1. INHALT

### 1.1 Inhaltsverzeichnis

<b>1. INHALT</b> .....	<b>2</b>
1.1 INHALTSVERZEICHNIS .....	2
1.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	2
1.3 TABELLENVERZEICHNIS .....	3
1.4 ANLAGENVERZEICHNIS .....	4
<b>2. VERLASSUNG UND ZIELE</b> .....	<b>5</b>
<b>3. EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>4. LANGFRISTIGE VERÄNDERUNGEN SEIT 1969</b> .....	<b>6</b>
4.1 DATENGRUNDLAGE UND UNTERSUCHUNGSMETHODE.....	6
4.2 ERGEBNISSE – GAUSS-FUNKTION.....	6
4.3 ERGEBNISSE – ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEITEN BESTIMMTER NN-NIVEAUS.....	10
4.3.1. <i>Generelle Verteilungsmuster im Weserästuar</i> .....	10
4.3.2. <i>Veränderungen der Verteilungsmuster / Besonderheiten in einzelnen Niveaus</i> .....	10
4.4 GLEITENDE ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEITEN .....	19
<b>5. AUSBAUBEDINGTE VERÄNDERUNGEN</b> .....	<b>26</b>
5.1 DATENGRUNDLAGE UND UNTERSUCHUNGSMETHODE.....	26
5.2 ERGEBNISSE .....	27
5.3 UNTERSCHIEDUNG SOMMER- UND WINTERHALBJAHR .....	34
<b>6. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>38</b>

### 1.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung des Zentrums der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tidehochwassers.....	7
Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung des Zentrums der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tideniedrigwassers. ....	8
Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Breite der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tidehochwassers.....	8
Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der Breite der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tideniedrigwassers. ....	9
Abbildung 5: Niveauhöhe NN +1,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	13
Abbildung 6: Niveauhöhe NN +2,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	13
Abbildung 7: Niveauhöhe NN +2,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	14
Abbildung 8: Niveauhöhe NN +3,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	14
Abbildung 9: Niveauhöhe NN +3,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	15
Abbildung 10: Niveauhöhe NN +4,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	15
Abbildung 11: Niveauhöhe NN -2,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	16
Abbildung 12: Niveauhöhe NN -2,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	16
Abbildung 13: Niveauhöhe NN -1,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	17
Abbildung 14: Niveauhöhe NN -1,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	17
Abbildung 15: Niveauhöhe NN -0,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	18

Abbildung 16: Niveauhöhe NN -0,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003. ....	18
Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Alte Weser für die 5-Jahres-Zeiträume 1164-1069 bis 1198-1003. ....	20
Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Bremerhaven für die 5-Jahres-Zeiträume 1165-1070 bis 1198-1003. ....	20
Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Brake für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.....	21
Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Elsfleth für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.....	21
Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Farge für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.....	22
Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Vegesack für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003. ....	22
Abbildung 23: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Alte Weser für die 5-Jahres-Zeiträume 1164-1069 bis 1198-1003. ....	23
Abbildung 24: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Bremerhaven für die 5-Jahres-Zeiträume 1165-1070 bis 1198-1003. ....	23
Abbildung 25: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Brake für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.....	24
Abbildung 26: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Elsfleth für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.....	24
Abbildung 27: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Farge für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.....	25
Abbildung 28: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Vegesack für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003. ....	25
Abbildung 29: Beispiel für eine gleichmäßige Verschiebung der Häufigkeitsverteilung hier zur Verdeutlichung um +25 cm.....	26
Abbildung 30: Überschreitungshäufigkeiten des Thw für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack für den Zeitraum 1999 – 2003 und angepasste Verteilungsfunktionen.....	27
Abbildung 31: Unterschreitungshäufigkeiten des Tnw für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack für den Zeitraum 1999 – 2003 und angepasste Verteilungsfunktionen.....	28
Abbildung 32: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit angegeben in Tiden pro Jahr der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 3 cm. ....	29
Abbildung 33: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit (angegeben in Prozent) der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 3 cm. ....	29
Abbildung 34: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit angegeben in Tiden pro Jahr der Tnw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MTnw um -6 cm.....	30
Abbildung 35: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit (angegeben in Tiden pro Jahr) der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 1, 2 und 3 cm am Beispiel des Pegels Robbensüdsteert. ....	30
Abbildung 36: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit (angegeben in Tiden pro Jahr) der Tnw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MTnw um -1, -2, -4 und -6 cm am Beispiel des Pegels Robbensüdsteert.....	31
Abbildung 37: Überschreitungshäufigkeiten des Thw für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack für den Zeitraum 1999 – 2003 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.....	34
Abbildung 38: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit angegeben in Tiden pro Halbjahr der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 3 cm für Sommer- und Winterhalbjahre. ....	37

### 1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zentralwerte $x_c$ der angepassten Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen der Pegel Alte Weser, Bremerhaven, Brake, Elsfleth und Vegesack für die Jahresreihen 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.....	6
Tabelle 2: Breite $w$ der angepassten Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen der Pegel Alte Weser, Bremerhaven, Brake, Elsfleth und Vegesack für die Jahresreihen 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.....	7
Tabelle 3: Überschreitungshäufigkeiten des Thw für verschiedene NN-Niveaus in 5-Jahres-Zeiträumen zwischen 1969 und 2003.....	11
Tabelle 4: Überschreitungshäufigkeiten des Tnw für verschiedene NN-Niveaus in 5-Jahres-Zeiträumen zwischen 1969 und 2003. ....	12
Tabelle 5: Parameter der angepassten Funktionen für Thw .....	27

Tabelle 6: Parameter der angepassten Funktionen für Tnw .....	28
Tabelle 7: MThw und MTnw an den Untersuchungspegeln für den Zeitraum 1999 - 2003 .....	31
Tabelle 8: Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit des Thws bei einer Veränderung des MThw um +3 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack.....	32
Tabelle 9: Veränderungen der Unterschreitungshäufigkeit des Tnws bei einer Veränderung des MTnw um -6 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack.....	33
Tabelle 10: Parameter der angepassten Funktionen für Thw Sommerhalbjahr.....	35
Tabelle 11: Parameter der angepassten Funktionen für Thw Winterhalbjahr .....	35
Tabelle 12: Sommerhalbjahr: Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit des Thws bei einer Veränderung des MThw um +3 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack.....	35
Tabelle 13: Winterhalbjahr: Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit des Thws bei einer Veränderung des MThw um +3 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack.....	36
Tabelle 14: Ausbaubedingte Zunahme der Überflutungshäufigkeit von Sommerdeichen im Sommer- und Winterhalbjahr für die Pegel Brake und Vegesack. Angabe des Zeitraums in Jahren für die Zunahme um 1 Tide. Veränderung des MThws um +3 cm. ....	37

## 1.4 Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Häufigkeitsverteilung Alte Weser Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 2: Häufigkeitsverteilung Bremerhaven Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 3: Häufigkeitsverteilung Brake Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 4: Häufigkeitsverteilung Elsfleth Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 5: Häufigkeitsverteilung Vegesack Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 6: Häufigkeitsverteilung Alte Weser Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 7: Häufigkeitsverteilung Bremerhaven Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 8: Häufigkeitsverteilung Brake Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 9: Häufigkeitsverteilung Elsfleth Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.
- Anlage 10: Häufigkeitsverteilung Vegesack Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.

## 2. VERLASSUNG UND ZIELE

Im Rahmen der Scopingtermine und weiterer Informationsveranstaltungen zur geplanten Anpassung der Unter- und Außenweser wurden Befürchtungen genannt, dass es durch die Baumaßnahme und ihre Folgen zu einer deutlichen Zunahme von Überflutungen der Sommerdeiche kommen wird und schon in den letzten Jahren und Jahrzehnten diese Überflutungen (stark) zugenommen haben. Andererseits wird durch die zunehmende Absenkung des Niedrigwassers um die Standsicherheit von z.B. Spundwänden gefürchtet.

Anhand von Pegeldaten sollen Aussagen zu diesen Problemfeldern gemacht werden. Hierzu beschäftigt sich diese Studie mit der Häufigkeitsverteilung von Scheitelwasserständen, wobei im ersten Teil ihre zeitliche Variabilität und das Signal aus historischen Baumaßnahmen am Strom untersucht wird. Im zweiten Teil werden die Veränderung der Häufigkeitsverteilung durch die geplante Anpassung von Unter- und Außenweser anhand der prognostizierten Veränderung der mittleren Tidehoch- und Tideniedrigwasserstände ermittelt. Hieraus wird die Zunahme der Überflutungshäufigkeit (für Thw) und der Trockenfallhäufigkeit (für Tnw) für verschiedene Niveaus z.B. Sommerdeichhöhen abgeschätzt.

## 3. EINLEITUNG

Durch die Variation des astronomischen Einflusses (tägliche Ungleichheit, Spring-Nipp-Zyklus, jährliche Variation, usw.) und des wechselnden Einflusses von Wind und Oberwasser liegen die Scheitelwasserstände von Hoch- und Niedrigwasser in einem Streubereich. Betrachtet man nur die astronomischen Tiden, so erhält man eine relativ gleichmäßige Verteilung um den Mittelwert in Form einer gaussischen Glockenkurve. Besonders durch den Einfluss des Windes treten größere Abweichungen zu höheren Wasserständen als zu niedrigeren auf, so dass die Verteilungskurve asymmetrisch ist mit einem deutlich längeren Ast zu höheren Wasserständen. Diese Asymmetrie ist bei Tidehochwassern stärker ausgeprägt als bei Tideniedrigwassern.

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Aussagen über die Häufigkeitsverteilung von Scheitelwasserständen, die für alle Pegel im Küstenbereich der Deutschen Bucht gilt – weltweit gibt es eventuell Ausnahmen -, hat jeder Pegel eine besondere Charakteristik, die von der lokalen und regionalen Topographie abhängt. Als Beispiele seien hier Überflutungsflächen / Wattflächen, Sperrwerke und Leitdämme genannt, die ab einem bestimmten Wasserstand den Wasserspielanstieg behindern oder begünstigen, oder die Lage an der Küste oder im Ästuar, wodurch bei entsprechenden Randbedingungen der Wasserstand besonders hoch auflaufen kann oder eher nicht. Diese Randbedingungen führen zu Unterschieden in der Breite der Verteilungskurve, dem Grad der Asymmetrie und Ungleichmäßigkeiten in der Kurve (Sprünge, Plateau-Bereiche).

Natürliche und anthropogene Veränderungen der Morphologie im näheren und weiteren Umfeld des Pegels, Veränderungen der klimatischen Bedingungen z.B. Sturmhäufigkeit, Hauptwindrichtung, Oberwasserabfluss, Meeresspiegelanstieg und der Bau- und Betrieb von Hafen- und Wehranlagen bzw. eine Veränderung im Betrieb führen zu Veränderungen in den Verteilungskurven.

Diese Studie untersucht anhand von insgesamt 7 Pegeln in Unter- und Außenweser die Charakteristik der Häufigkeitsverteilungen für Hoch- und Niedrigwasserscheitel und ihre Veränderung seit 1969 (teilweise 1955). Aufgrund der vorhandenen Zeitreihen (Errichtung des Pegels, Pegelverlegungen) werden nicht alle Pegel für alle Untersuchungen herangezogen. Aus den Ergebnissen werden im Zusammenhang mit möglichen ausbaubedingten Änderungen der Scheitelwasserstände Rückschlüsse auf die Änderungen der Überflutungshäufigkeiten / Trockenfallhäufigkeiten gezogen, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Überflutung von Sommerdeichen gelegt wird.

## 4. LANGFRISTIGE VERÄNDERUNGEN SEIT 1969

### 4.1 Datengrundlage und Untersuchungsmethode

Für diese Untersuchung werden die Scheitelwasserstände der 5 Außen- und Unterweserpegel Alte Weser, Bremerhaven A.L., Brake, Elsfleth und Vegesack bezogen auf NN verwendet, da für diese keine oder nur unbedeutende Veränderungen des Pegelstandortes stattgefunden haben.

Für die Analyse der langfristigen Veränderung der Häufigkeitsverteilung werden die 4 5-Jahres-Zeiträume 1969-1973, 1979-1983, 1989-1993 und 1999-2003 untersucht.

Im 1. Schritt dieser Untersuchung wird jeder Verteilungskurve eine Gauss-Kurve

$$y = y_0 + \frac{A}{w \cdot \sqrt{\pi/2}} \cdot e^{-2 \cdot ((x-xc)/w)^2}$$

mit  $y_0 =$  Offset  
 $xc =$  Zentrum  
 $A =$  Fläche unter der Kurve  
 $w =$  Breite

angepasst<sup>1</sup> und die zeitliche Entwicklung der Kurvenparameter Zentrum und Breite betrachtet. Das Zentrum markiert den Scheitelpunkt der Verteilungskurve und ist der häufigste Wert. Es entspricht in etwa dem MThw bzw. MTnw. Die Breite ist ein Maß für die Streuung der Scheitelwasserstände und ist der Abstand zwischen den beiden Wendepunkten der Glockenkurve. Die Breite entspricht der doppelten Standardabweichung.

Im 2. Schritt wird aus der Summenkurve der Überschreitungen für die NN-Höhen (in cm) 400, 350, 300, 250, 200 und 150 für Thw und 0, -50, -100, -150 und -200 für Tnw die zeitliche Entwicklung der Überschreitungszahlen ermittelt. Zusätzlich zum 1. Teil werden 2 weitere Zeiträume 1974 – 1978, 1984 – 1988 und 1994 – 1998 analysiert.

Die Häufigkeiten werden auf ein Jahr normiert. Für die Normierung wird ermittelte Anzahl durch die Gesamtzahl der Tiden im Untersuchungszeitraum geteilt und mit 706 (durchschnittliche Anzahl Tiden pro Jahr) multipliziert.

### 4.2 Ergebnisse – Gauss-Funktion

Die Anpassung der Häufigkeitsverteilungen an eine Gauss-Funktion ergab die in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengestellten Zentralwerte und Breiten. In Abbildung 1 bis Abbildung 4 ist die zeitliche Entwicklung dieser Parameter grafisch dargestellt. In Anlage 1 bis Anlage 10 sind die einzelnen Anpassungsfunktionen zusammen mit den Ausgangsdaten aufgetragen.

	1969-73	1979-83	1989-93	1999-03
<b>AW Thw</b>	130,4	137,1	134,8	140,6
<b>AW Tnw</b>	-159,9	-159,5	-156	-155,6
<b>Bhv Thw</b>	167,8	178,5	172,8	184,3
<b>Bhv Tnw</b>	-195,6	-203,3	-197,5	-204,9
<b>Bra Thw</b>	191,1	206,4	198,7	214,2
<b>Bra Tnw</b>	-182,2	-197,5	-189,5	-187,7
<b>Els Thw</b>	192,8	213,3	206,7	221,4
<b>Els Tnw</b>	-169,8	-181,7	-174,3	-173
<b>Veg Thw</b>	210,8	233,3	225,7	239
<b>Veg Tnw</b>	-136,2	-167,2	-162,4	-160,4

Tabelle 1: Zentralwerte xc der angepassten Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen der Pegel Alte Weser, Bremerhaven, Brake, Elsfleth und Vegesack für die Jahresreihen 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003. Alle Angaben in cm über NN.

<sup>1</sup> Die Anpassung dokumentiert, dass die Scheitelwasserstände in 1. Näherung normalverteilt sind und erzeugt reproduzierbare statistische Ergebnisse im Gegensatz zu einem „Ausmessen“ der Messwerte.

	1969-73	1979-83	1989-93	1999-03
<b>AW Thw</b>	58,6	58,2	59,3	52,4
<b>AW Tnw</b>	62,9	64,7	66,9	63
<b>Bhv Thw</b>	65,3	61,7	63,7	59,4
<b>Bhv Tnw</b>	61,9	65,8	68,3	64,3
<b>Bra Thw</b>	62,8	60,8	63,1	58,3
<b>Bra Tnw</b>	50,5	54,5	58,1	53
<b>Els Thw</b>	61,2	59,5	61,4	57,4
<b>Els Tnw</b>	48,5	51,3	53,8	50
<b>Veg Thw</b>	65,6	68	65,9	62,6
<b>Veg Tnw</b>	43,9	43,4	47,3	47

Tabelle 2: Breite w der angepassten Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen der Pegel Alte Weser, Bremerhaven, Brake, Elsfleth und Vegesack für die Jahresreihen 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003. Alle Angaben in cm.

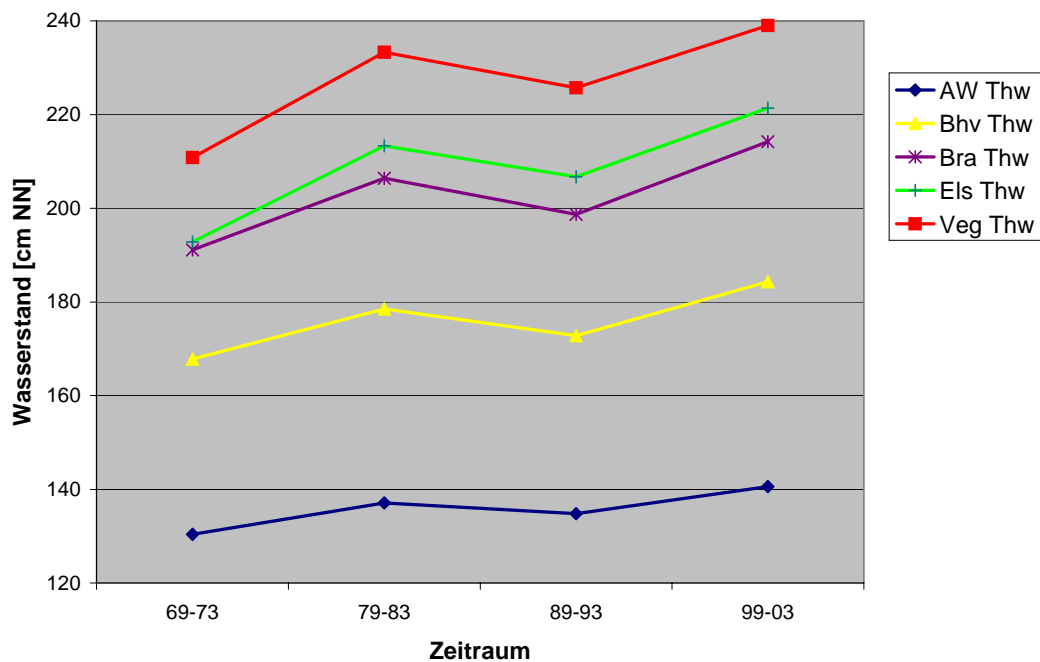


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung des Zentrums der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tidehochwassers.

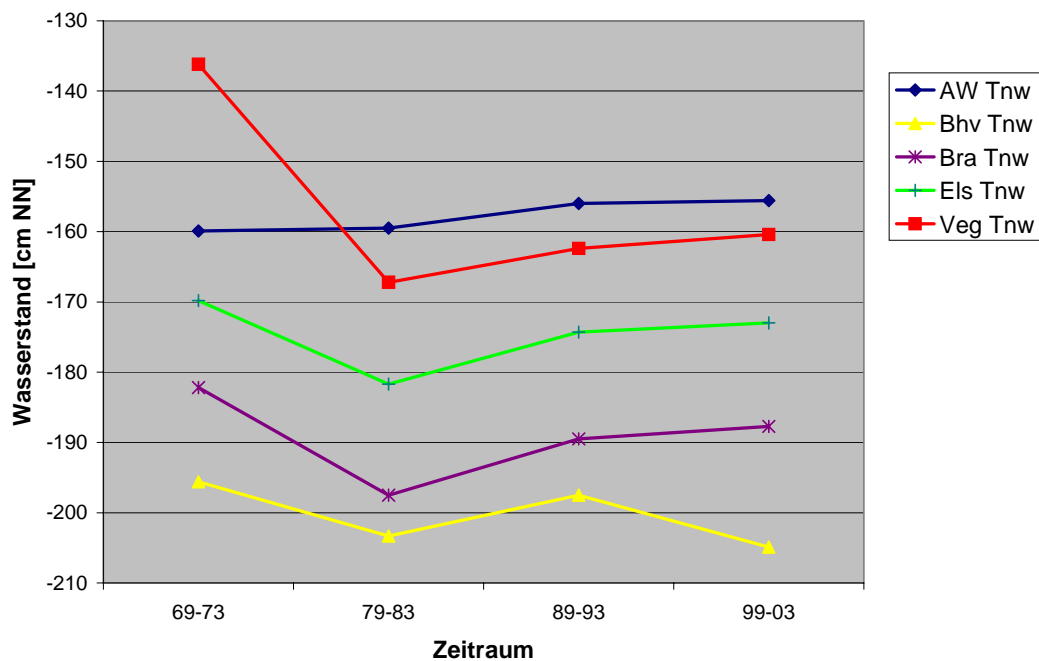


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung des Zentrums der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tideniedrigwassers.

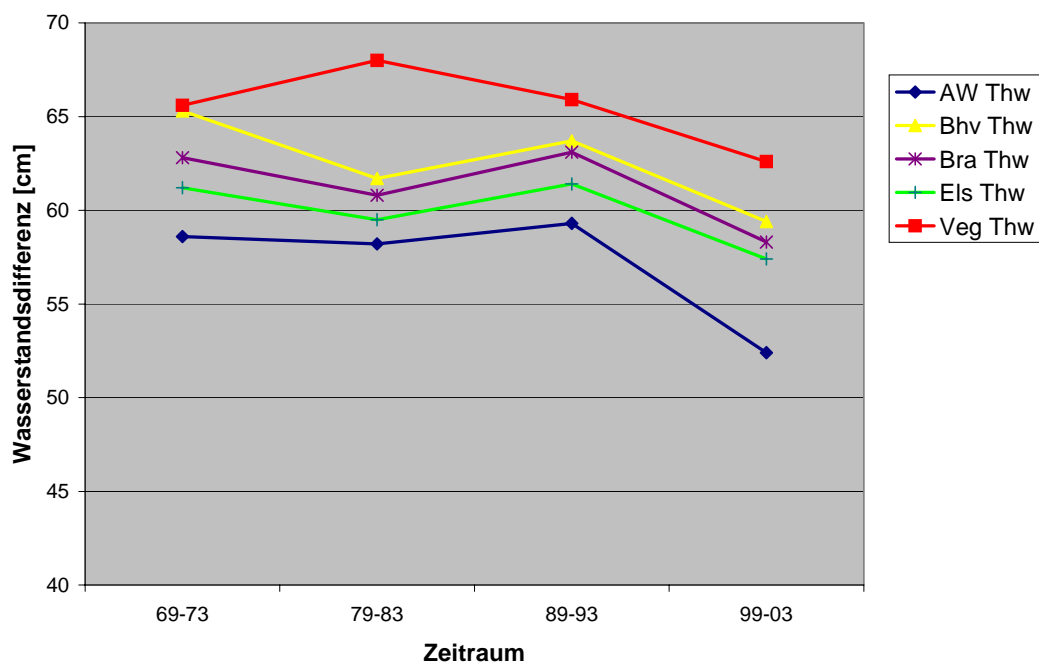


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Breite der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tidehochwassers.

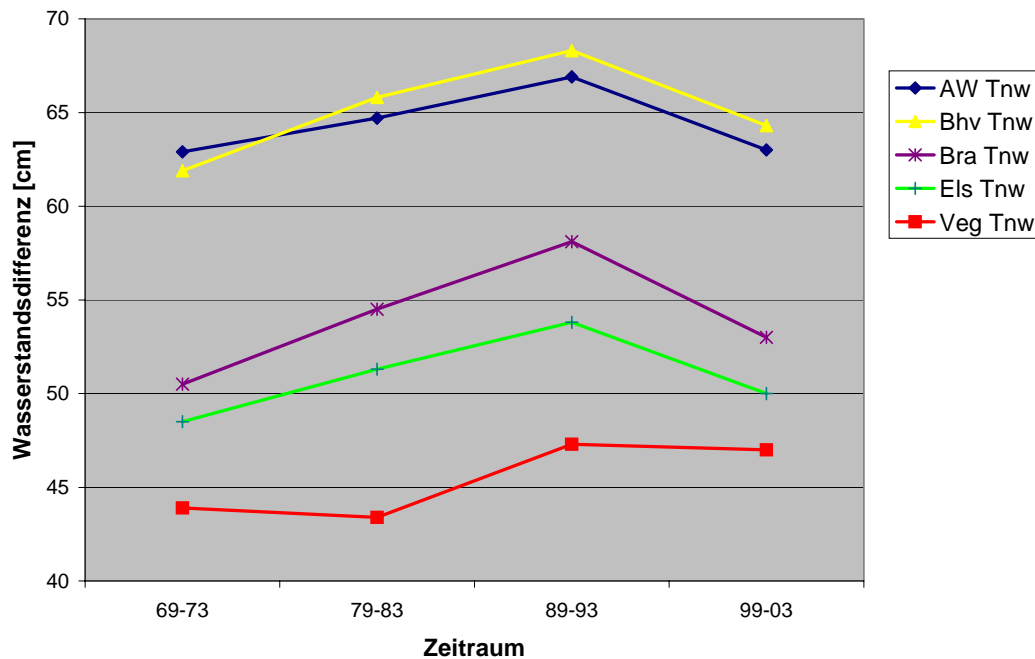


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der Breite der Gauss-Funktionen für die Häufigkeitsverteilungen des Tideniedrigwassers.

Der Pegel Alte Weser zeigt bezüglich des Zentrums für Tidehoch- und -niedrigwasser einen relativ gleichmäßigen Anstieg um 10 bzw. 4 cm, der in seiner Grundtendenz durch den säkularen Meeresspiegelanstieg erklärt werden kann. Die Schwankungen der einzelnen Werte um diese Trendlinie sind sehr klein.

Die Pegel in der Unterweser zeigen jeweils bei Tidehoch- und -niedrigwasser einen ähnlichen Verlauf. Die Schwankungsrichtung ist zwischen Hoch- und Niedrigwasser entgegengesetzt. Zwischen 1969-73 und 1979-83 ist ein deutlicher Abfall des Tnw-Zentrums zu beobachten, der von Vegesack nach Bremerhaven von 30 auf 10 cm abnimmt und bei Alte Weser nicht auftritt (sogar leichter Anstieg). Diese Änderungsbeträge stehen im Zusammenhang mit der Vertiefung der Unterweser in den 1970er-Jahren (9m-Ausbau). Auf die besonders großen Änderungen des Pegels Vegesack wird weiter hinten noch ausführlicher eingegangen.

Für das Thw ist im gleichen Zeitraum ein Anstieg von maximal 20 cm am Pegel Vegesack zu verzeichnen. Bis Bremerhaven geht der Anstieg auf 11 cm zurück. Zusätzlich zum 9m-Ausbau tragen hier der Meeresspiegelanstieg (Alte Weser +6,7 cm in diesem Zeitraum) und die in Betrieb gegangenen Sturmflutsperrwerke zu einer Erhöhung der Wasserstände bei.

Insgesamt ist bei den Tidehochwassern bezüglich des Zentrums an allen Pegeln ein ähnlicher Verlauf zu beobachten, wobei die Schwankungen in der Unterweser stärker ausgeprägt sind als in der Außenweser. Tendenziell ist ein Anstieg zu verzeichnen, der in der Außenweser zwischen 10 und 16 cm und in der Unterweser zwischen 23 und 36 cm liegt.

Für die Tideniedrigwasser zeigt sich für die Unterweser ebenfalls ein ähnlicher Verlauf, wobei in der Außenweser (Alte Weser + Bremerhaven) die Änderungen mit 4 bzw. 10 cm nur etwa halb so groß wie bei den Tidehochwassern ausfallen.

Entgegen dem Parameter Zentrum, der durch Korrelation der Pegel untereinander leichter mit dem Tidegeschehen in Verbindung gebracht werden kann, bereitet die Einordnung der ermittelten Größen für die Breite der Gauss-Funktion Schwierigkeiten. Im wesentlichen zeigt sich eine Reihung der Stationen, wobei Vegesack beim Thw die größte Streuung zeigt und beim Tnw die kleinste. Bei Alte Weser ist dies entsprechend umgekehrt. Bei Alte Weser unterscheiden sich die Breite der Gauss-Funktion nur wenig bei Thw und Tnw, für Vegesack ist sie bei Thw

um 50% größer als bei Tnw. Wie bereits in der Einleitung beschrieben, findet bei der Generierung der Tidewasserstände eine Überlagerung meteorologischer Randbedingungen (Wind, Oberwasser) und einer von der Morphologie vorgegebenen Übertragungsfunktion statt, die bei einer gleichsinnigen Überlagerung zu einer größeren Streuung und bei einer entgegengesetzten zu einer kleineren führen kann. Verschiedene Konstellationen von Tiden und Meteorologie führen zu einer Mischung dieser Überlagerungsfälle. Die Schwankung der Streuung, die durch diesen Effekt verursacht wird, ist wahrscheinlich deutlich größer als die Veränderung der Streuung durch morphologische Veränderungen (Baumaßnahmen), so dass aus diesem Parameter nach jetzigem Kenntnisstand wohl keine Informationen über die einzelnen Einflussgrößen gewonnen werden können.

### **4.3 Ergebnisse – Überschreitungshäufigkeiten bestimmter NN-Niveaus**

Die Überschreitungen für die unterschiedlichen Kombinationen aus Zeitraum, NN-Niveau und Pegel sind in Tabelle 3 - Tabelle 4 tabellarisch aufgeführt und in Abbildung 5 - Abbildung 16 dargestellt.

Besonders in den Niveaus mit wenigen Überschreitungen macht sich das stochastische Auftreten von Ereignissen bemerkbar. Für Aussagen über die räumliche Verteilung von Überschreitungshäufigkeiten und Veränderungen im Laufe der Zeit sind die Niveaus am aussagekräftigsten, bei denen Häufigkeiten zwischen ca. 20 und 600 auftreten. Bei der Beurteilung der räumlichen Verteilung ist zu beachten, dass die verwendeten Pegel unterschiedliche Abstände besitzen, die sich in den Darstellungen nicht zeigen.

#### **4.3.1. Generelle Verteilungsmuster im Weserästuar**

Aus den Häufigkeitsverteilungen lassen sich die bekannten Aussagen erkennen, dass das Thw von See nach Bremen hin ansteigt und das Tnw im Bereich Nordenham-Bremerhaven ein Minimum aufweist, von dem in beide Richtungen ein Anstieg erfolgt. Bei Tideniedrigwassern, die deutlich (1 – 2 m) über dem MTnw liegen, scheint sich dieses Minimum stromauf zu verschieben und liegt dann etwa beim Pegel Brake. Diese Aussagen lassen sich in den verschiedenen NN-Niveaus mehr oder weniger deutlich nachvollziehen.

#### **4.3.2. Veränderungen der Verteilungsmuster / Besonderheiten in einzelnen Niveaus**

Zwischen 1969-1973 und 1974-1978 – abschnittsweise bis 1979-1983 – tritt eine deutliche Veränderung auf, die sich am stärksten am Pegel Vegesack zeigt, aber auch an den übrigen Pegeln in der Unterweser erkennbar ist. Beim Thw ist eine Zunahme der Überschreitungshäufigkeiten zu verzeichnen, die auf einen Anstieg des Thw zurückzuführen ist. Beim Tnw ist umgekehrt eine Abnahme der Häufigkeiten zu beobachten, die aber nicht in allen Niveaus und bei allen Pegeln beobachtet werden kann. Sehr auffällig ist der Rückgang am Pegel Vegesack in den Niveaus NN –1,0 m und NN –1,5 m. Bei höheren Niveaus ist sogar ein Anstieg zu verzeichnen. Bei den Pegeln Elsfleth und Brake ist die Wahrnehmung der Häufigkeitsabnahme nicht so deutlich, weil durch den Anstieg in den Folgejahren die Abnahme kompensiert wird. Die Ergebnisse aus dem vorigen Abschnitt hatten auch gezeigt, dass bei Vegesack die deutlichsten Veränderungen aufgetreten sind. Durch den relativ großen Abstand zum Pegel Elsfleth von ca. 16 km wird die Zunahme der Veränderung im südlichen Teil der Unterweser nur sehr grob abgebildet. Aus diesem Grund wurde noch eine Ausweitung der historischen Analyse vorgenommen, indem der Pegel Farge noch hinzugenommen und eine gleitende Analyse von 1955 – 2003 durchgeführt wurde. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse sind im folgenden Unterkapitel beschrieben.

In den folgenden 5-Jahresabschnitten ist beim Thw bei den niedrigen NN-Niveaus vom Trend weiterhin ein Anstieg zu sehen, bei den höheren Niveaus eher eine Stagnation oder einen Abfall.

Beim Thw ist teilweise ein Ausgleich des starken Abfalls zwischen den ersten beiden Zeiträumen zu beobachten. Die Schwankungen zwischen den Zeiträumen sind aber sehr stark, so dass sich kein einheitliches Bild ergibt.

Im Folgenden (Tabellen und Abbildungen) sind die Zeitraumgrenzen durch 4 Ziffern wiedergegeben, wobei die ersten beiden für den Monaten – hier nur 10 (Oktober) und 11 (November) –, die zweiten beiden für das Jahr stehen.

NN-Niveau	Pegel	1168-1073	1173-1078	1178-1083	1183-1088	1188-1093	1193-1098	1198-1003
150	Veg	658	679	683	679	686	675	692
	Els	616	651	667	656	669	664	682
	Bra	608	638	653	639	650	652	674
	Bhv	490	515	570	528	538	565	599
	Aw	183	203	245	230	235	254	264
200	Veg	444	497	582	540	550	579	611
	Els	285	369	471	421	423	482	533
	Bra	274	334	411	364	353	413	474
	Bhv	122	147	190	161	163	194	219
	Aw	17,8	28,8	37,2	31,2	39	28,8	27,2
250	Veg	93,6	150	234	193	190	230	268
	Els	34,2	70,4	106	79,4	93,6	115	133
	Bra	31,4	57,4	77,8	54,8	68,4	85,6	93
	Bhv	14,6	27,2	30,2	23	31,8	29,6	30,6
	Aw	2,6	6,8	6,6	4,4	9	4,8	4,2
300	Veg	11,8	30	48,2	34,4	45	48,6	53,2
	Els	5,8	15,4	21,8	14,2	24,4	22,2	24,8
	Bra	5,8	13,6	16,8	11	19,2	15,8	17,2
	Bhv	3,8	8,2	8	3,6	11,4	7	5
	Aw	0	2,6	1,2	0,4	1,6	1,6	1
350	Veg	1,8	8,6	13,6	8	14,8	11,4	10,8
	Els	0,8	4,6	6,6	2	9,8	6,6	5,2
	Bra	1	4,6	5	1,2	6,8	4	3,6
	Bhv	0,6	2,6	2,2	0,6	3	2,2	1,6
	Aw	0	1,4	0,6	0	0,6	0,4	0,4
400	Veg	0	2,8	3,8	1	5,2	3	2,6
	Els	0	1,8	1,8	0	2	1,4	1
	Bra	0	1,8	1,4	0	1,2	1,2	1
	Bhv	0	1,6	0,8	0	0,6	0,6	1
	Aw	0	0,4	0	0	0	0	0

Tabelle 3: Überschreitungshäufigkeiten des Thw für verschiedene NN-Niveaus in 5-Jahres-Zeiträumen zwischen 1969 und 2003. Alle Angaben in Tiden pro Jahr.

NN-Niveau	Pegel	1168-1073	1173-1078	1178-1083	1183-1088	1188-1093	1193-1098	1198-1003
<b>0</b>	<b>Veg</b>	2,4	4,8	2	2,4	4,6	3,2	2,4
	<b>Els</b>	1,2	3,4	1,6	2,4	4,6	2,8	2,2
	<b>Bra</b>	1,2	3,2	1,6	2,4	3,6	2,6	2
	<b>Bhv</b>	2	4,2	3,8	3,6	5,8	3	2,4
	<b>Aw</b>	2,8	6,6	6,4	6	7,8	4,4	4
<b>-50</b>	<b>Veg</b>	14	17	10	12	14,4	11,4	11,6
	<b>Els</b>	5,8	11,4	8,6	9,2	11,8	8,4	8,6
	<b>Bra</b>	5,4	9,8	8	8,4	11	7	7,4
	<b>Bhv</b>	7,2	11,8	10,8	11,4	12,2	8,4	9,6
	<b>Aw</b>	15	20,2	20,8	22,6	27	20	20
<b>-100</b>	<b>Veg</b>	99,2	54	42,6	52	49,2	55,8	53,8
	<b>Els</b>	29,6	28	29,4	36,4	39,8	36,6	36,2
	<b>Bra</b>	22,2	22,8	22,4	28	30,2	28,2	28,6
	<b>Bhv</b>	26,2	28,6	29,6	31,8	37	26,6	27,6
	<b>Aw</b>	75,4	69,8	82,6	93,2	94,6	80,8	85
<b>-150</b>	<b>Veg</b>	539	272	224	272	263	251	276
	<b>Els</b>	195	114	145	170	189	157	187
	<b>Bra</b>	129	78,4	95,2	123	124	113	122
	<b>Bhv</b>	109	98	112	116	122	88,4	95,2
	<b>Aw</b>	302	303	307	336	341	294	332
<b>-200</b>	<b>Veg</b>	697	674	650	663	674	667	681
	<b>Els</b>	644	524	562	607	614	603	632
	<b>Bra</b>	558	370	402	499	478	473	512
	<b>Bhv</b>	418	369	359	400	395	332	345
	<b>Aw</b>	654	649	651	647	656	646	660
<b>-250</b>	<b>Veg</b>	705	704	698	704	705	698	705
	<b>Els</b>	701	701	694	702	703	695	704
	<b>Bra</b>	698	682	683	695	697	690	701
	<b>Bhv</b>	682	671	664	679	674	659	663
	<b>Aw</b>	701	705	703	702	704	699	704

Tabelle 4: Überschreitungshäufigkeiten des Tnw für verschiedene NN-Niveaus in 5-Jahres-Zeiträumen zwischen 1969 und 2003. Alle Angaben in Tiden pro Jahr.

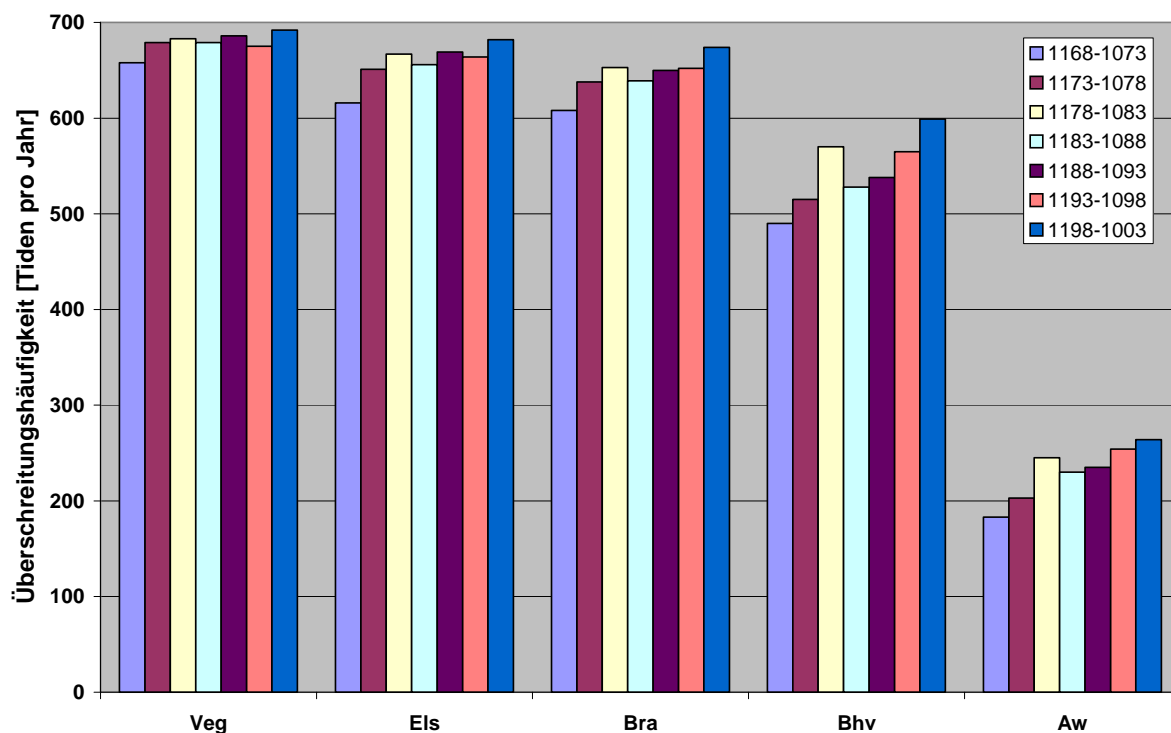


Abbildung 5: Niveauhöhe NN +1,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

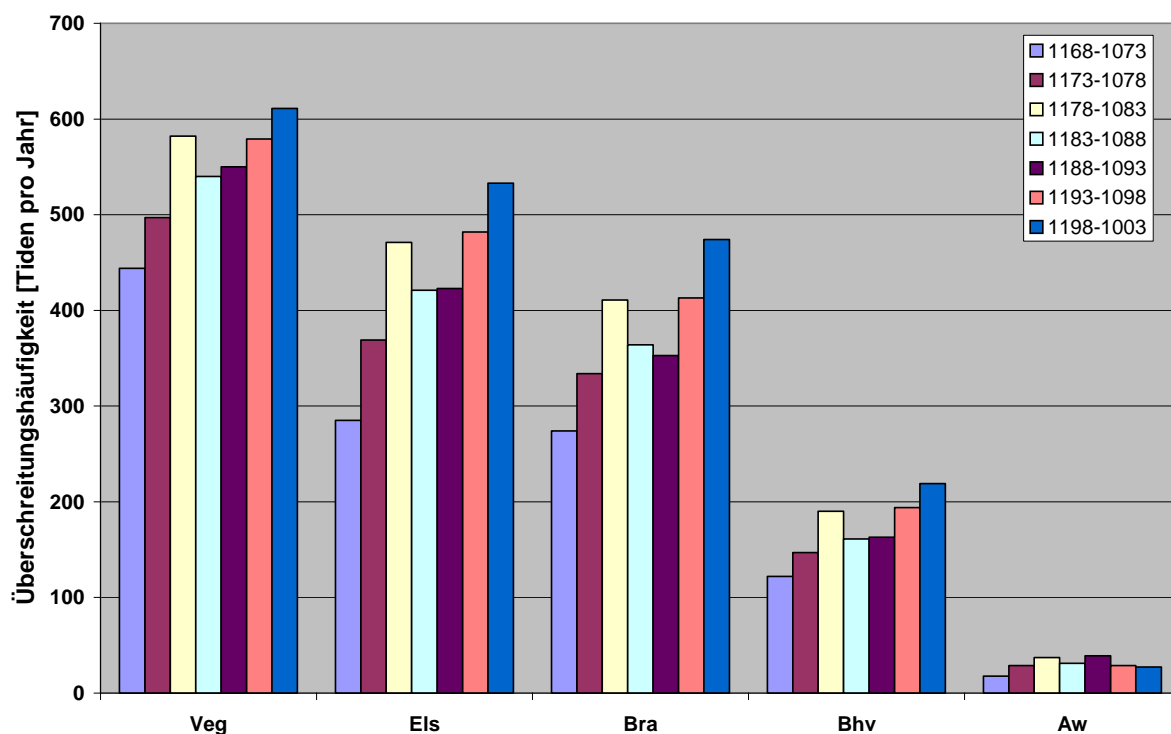


Abbildung 6: Niveauhöhe NN +2,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

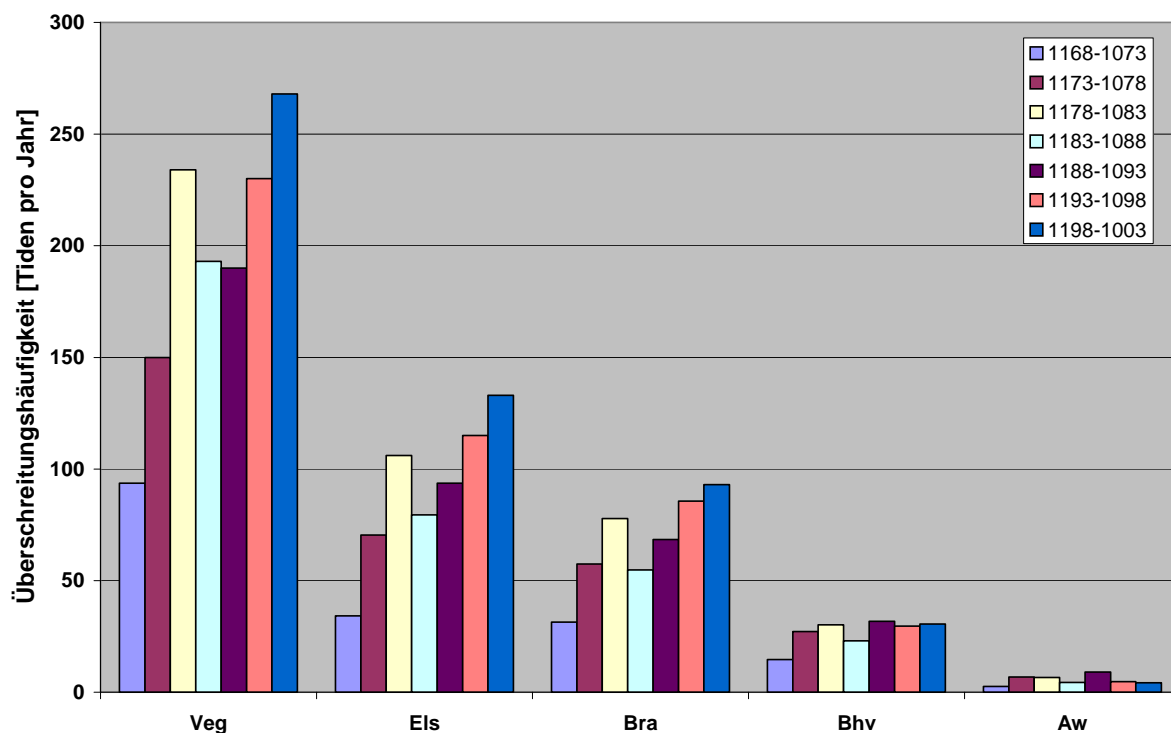


Abbildung 7: Niveauhöhe NN +2,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

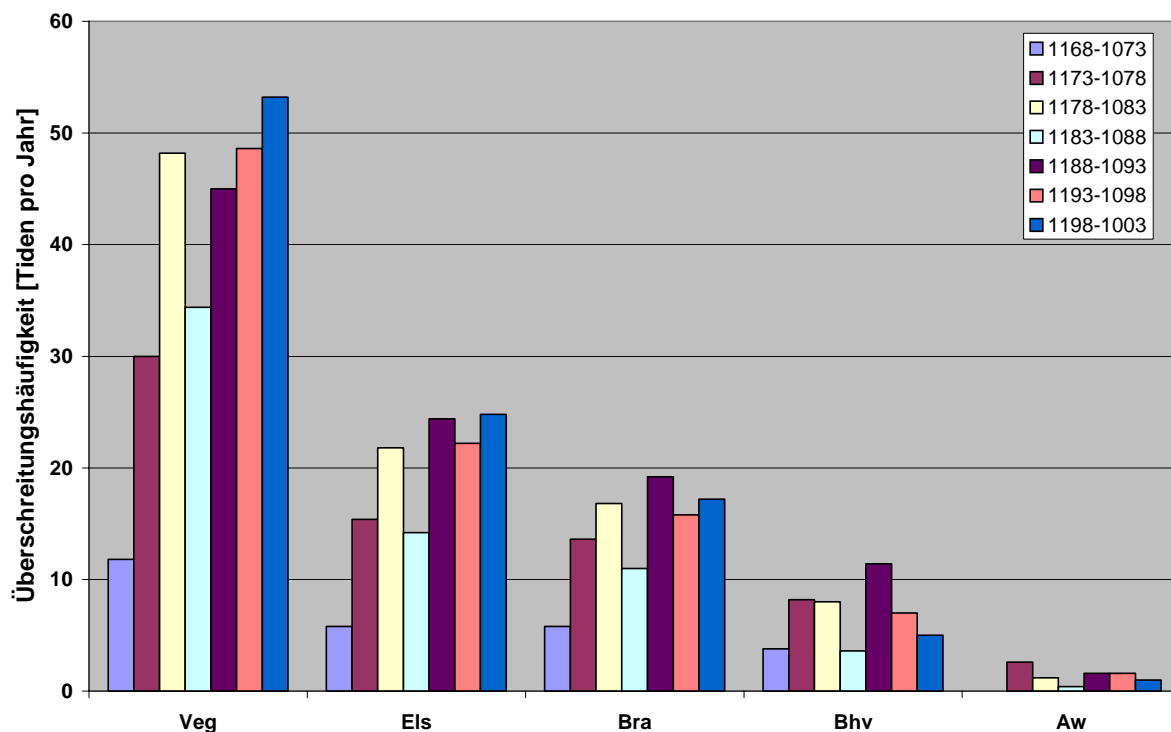


Abbildung 8: Niveauhöhe NN +3,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

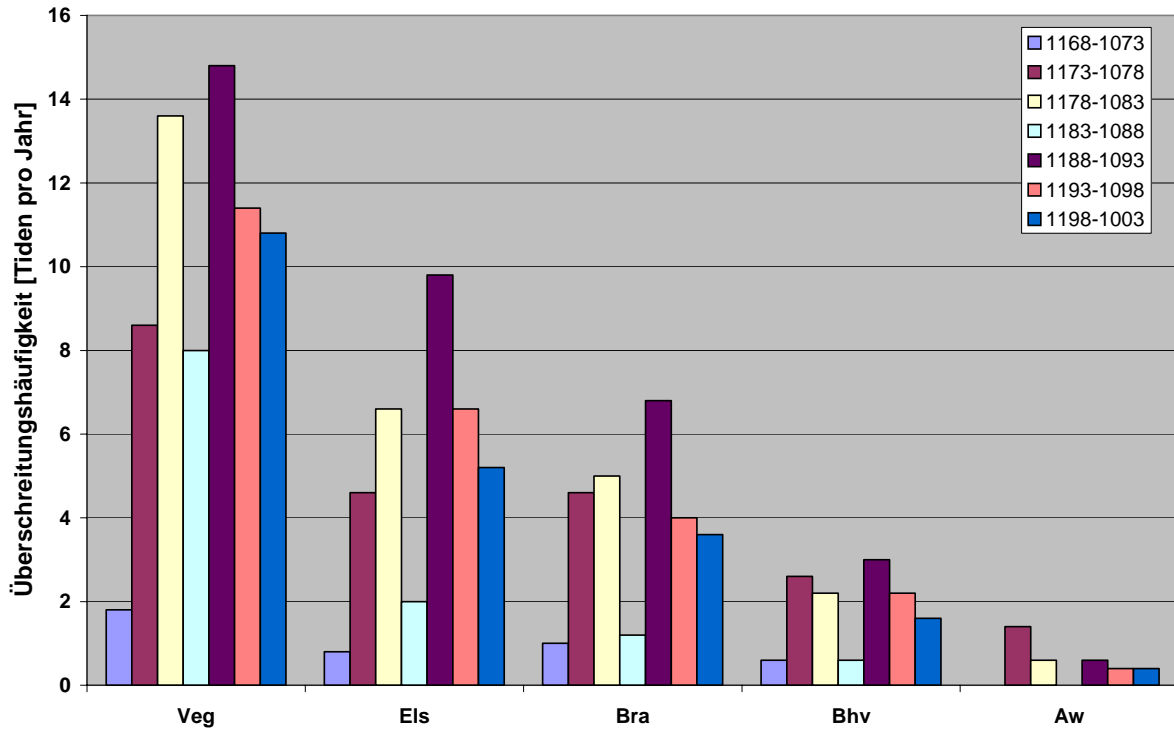


Abbildung 9: Niveauhöhe NN +3,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

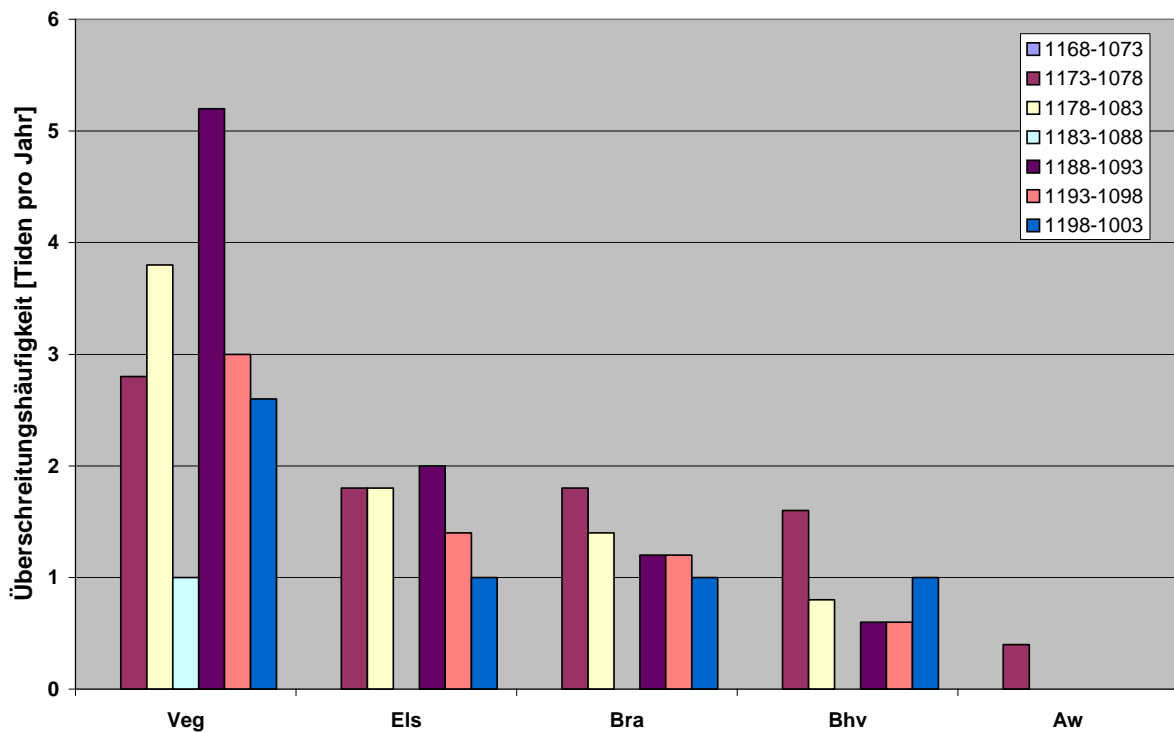


Abbildung 10: Niveauhöhe NN +4,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Thw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

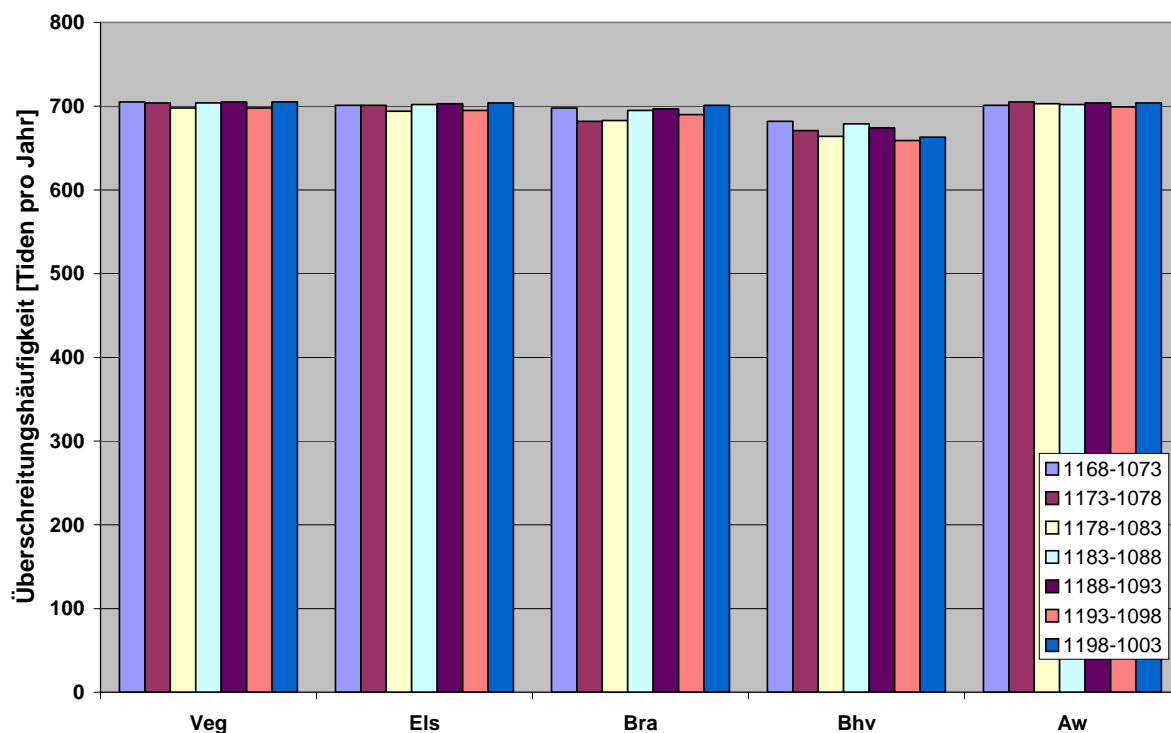


Abbildung 11: Niveauhöhe NN -2,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

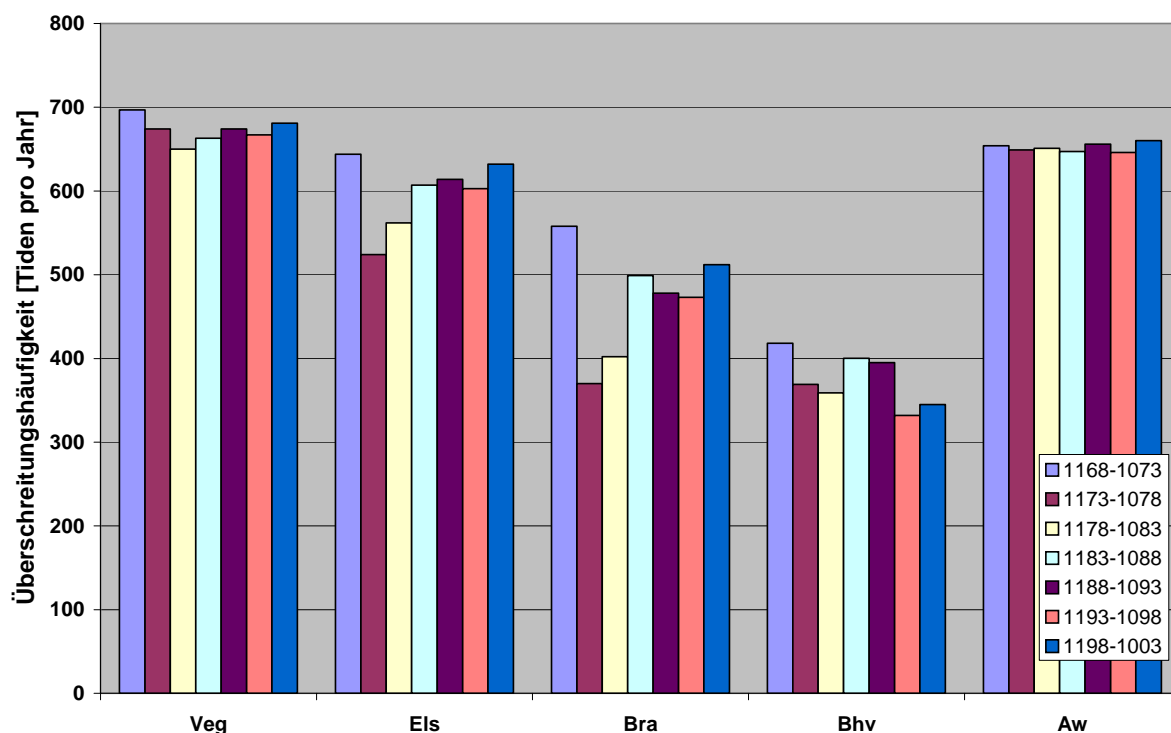


Abbildung 12: Niveauhöhe NN -2,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

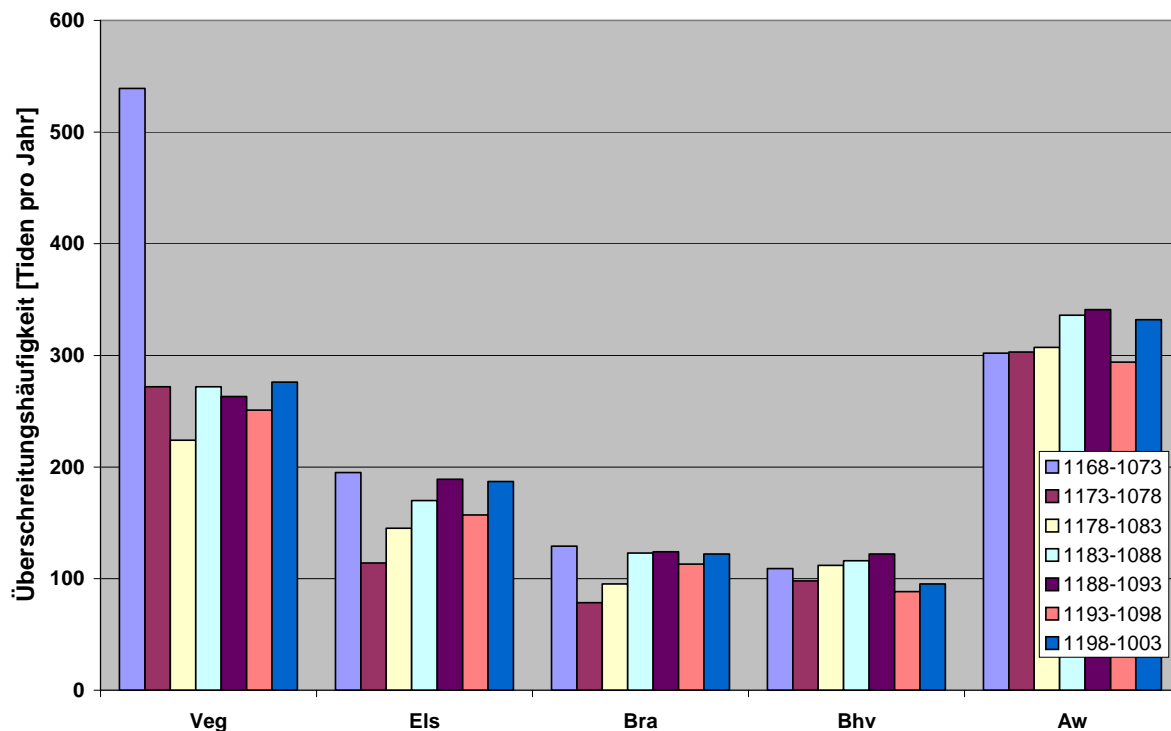


Abbildung 13: Niveauhöhe NN -1,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

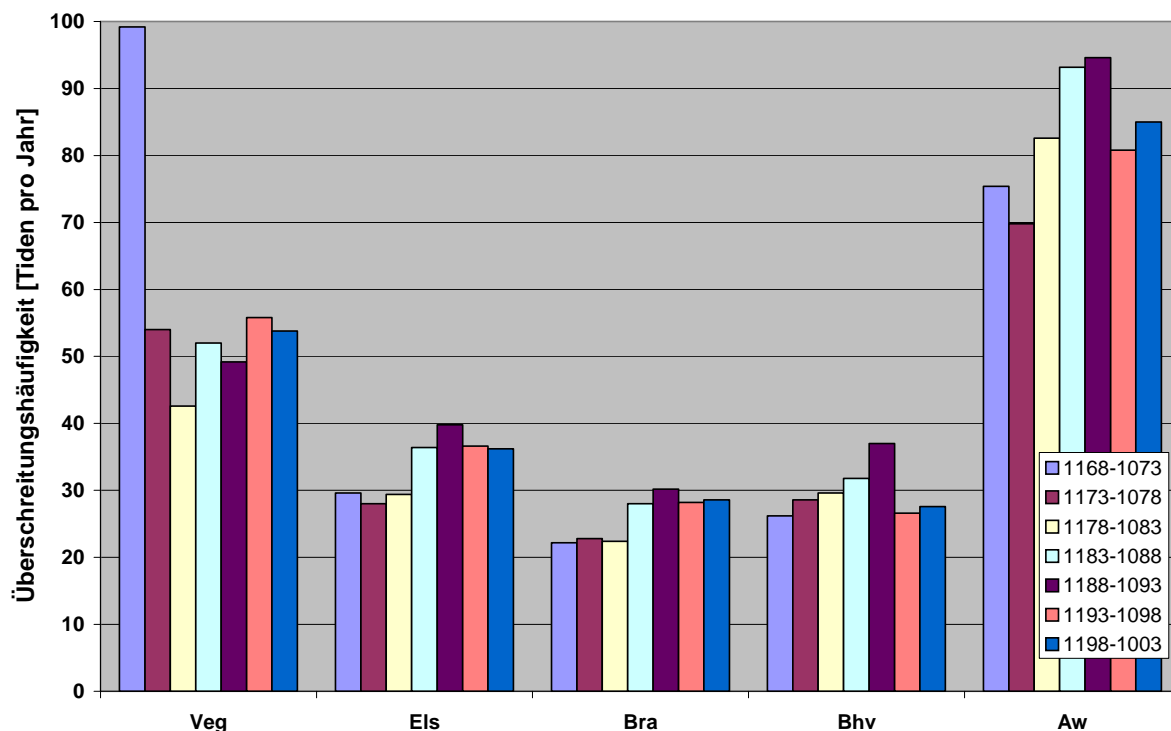


Abbildung 14: Niveauhöhe NN -1,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

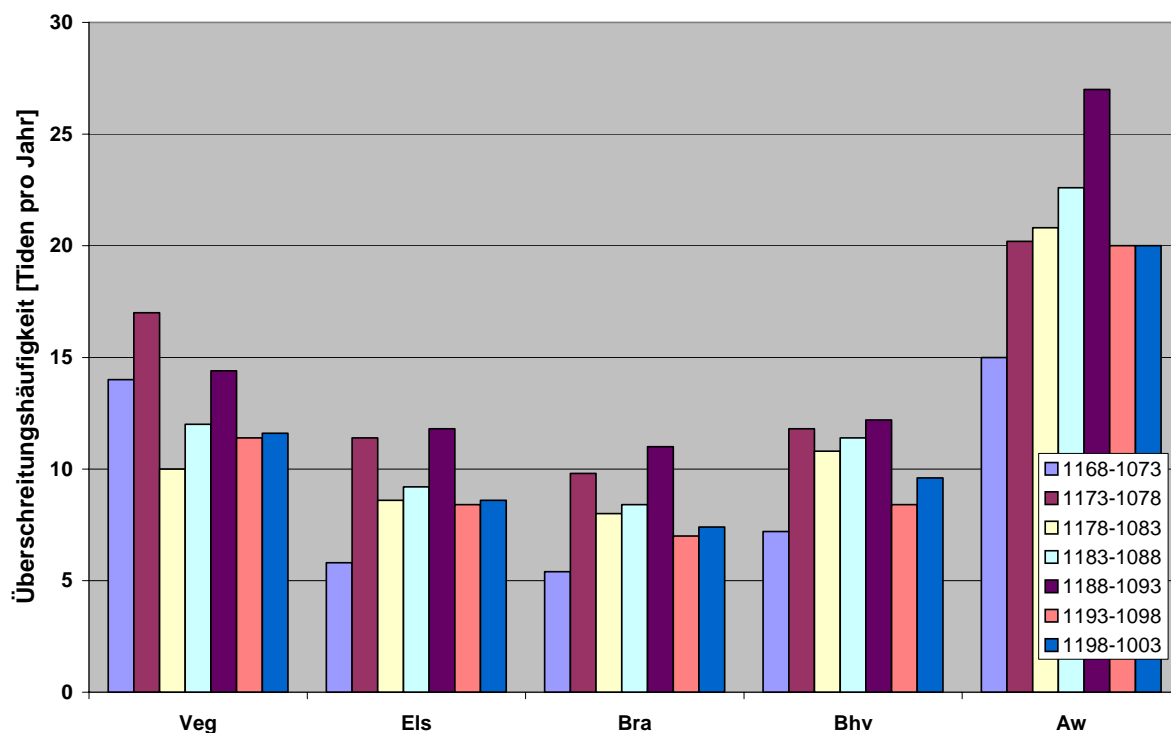


Abbildung 15: Niveauhöhe NN -0,5 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

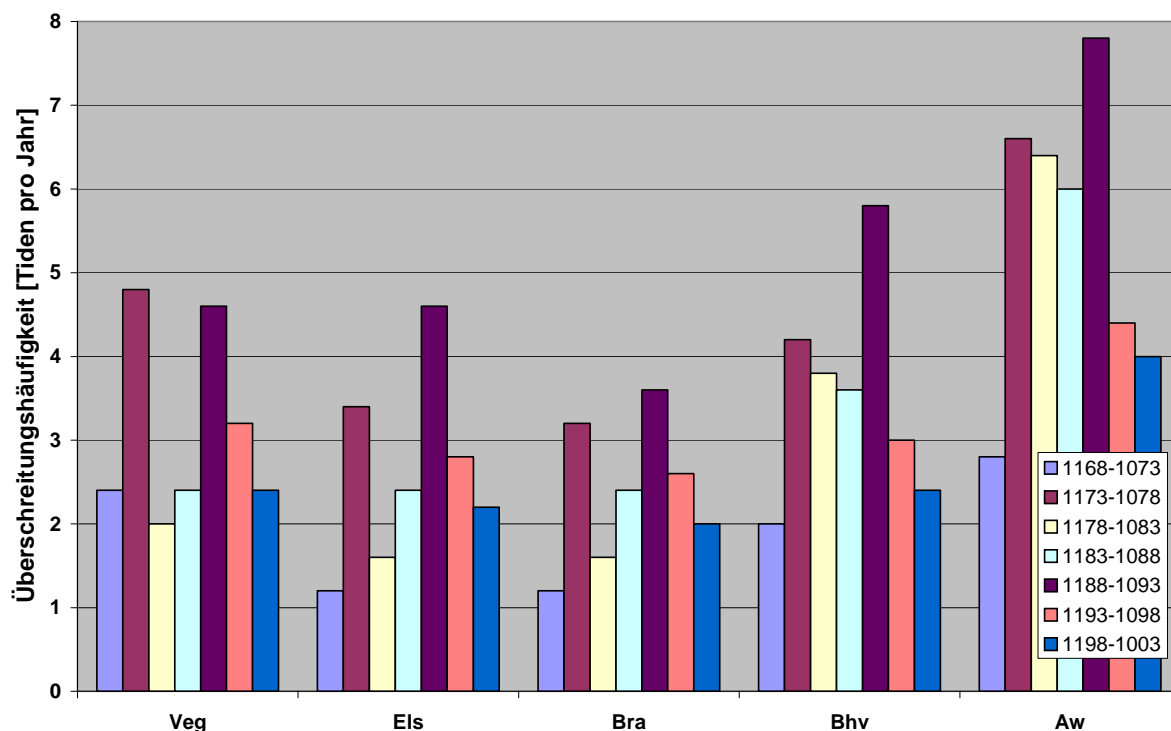


Abbildung 16: Niveauhöhe NN -0,0 m: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit dieser Niveauhöhe durch das Tnw für verschiedene Pegel in der Unter- und Außenweser zwischen 1969 und 2003.

#### 4.4 Gleitende Überschreitungshäufigkeiten

Um einen weiteren Einblick in die Veränderungen der Scheitelwasserstände zu bekommen und eventuell die Beobachtungen aus dem vorigen Abschnitt besser einordnen zu können, wurden die Überschreitungshäufigkeiten der Thw und Tnw für 5-Jahres-Zeiträume gleitend jeweils um 1 Jahr verschoben für den Zeitraum 11.1955 – 10.2003 (für Alte Weser und Bremerhaven kürzere Zeiträume) berechnet. In Abbildung 17 - Abbildung 28 sind die Ergebnisse dargestellt. Gleiche Zeiträume sind in allen Abbildungen mit den selben Linienfarben und Symbolen versehen. Die Zeiträume, die den Zeitabschnitt Mitte der 60er Jahre bis Mitte der 80er Jahre abdecken, sind mit Symbolen versehen. Für die 70er Jahre wurde mit einem Farbverlauf von schwarz über dunkelbraun, rot, orange, gelb, hellgrün bis dunkelgrün versucht, die Entwicklung deutlicher hervorzuheben.

Der Pegel Alte Weser zeigt bei einem Gesamtblick über alle Kurven nur ein relativ schmales Band. Stromauf nimmt die Breite zu und man kann einzelne Phasen bei der Wasserstandsentwicklung unterscheiden:

Beim Thw lässt sich in erster Linie eine Verschiebung der Kurve zu höheren Wasserständen beobachten, wobei diese nicht kontinuierlich verläuft sondern auch rückläufige Entwicklungen auftreten.

Beim Tnw ist die Grundtendenz die Verschiebung zu niedrigeren Wasserständen, wobei mit dem Zeitraum 11.75 – 10.80 ein Minimum erreicht wurde, von dem aus wieder eine Zunahme erfolgte. Der aktuelle Stand liegt aber deutlich unter dem Niveau der 60er Jahre. An den Pegeln Brake und Elsfleth treten im Zeitraum 1955 – 1970 gegensätzliche Entwicklungen zu den Pegeln Farge und Vegesack auf. Brake und Elsfleth zeigen bereits Ende der 50er und Anfang der 60er Jahre die Verschiebung zu niedrigeren Wasserständen, die sich in den 70er Jahren fortsetzt. Bei Farge und Vegesack tritt zunächst ein Anstieg bis Mitte der 60er Jahre auf, dem dann ein um so stärkerer Abfall folgt.

In dem untersuchten Zeitabschnitt fanden u.a. folgende Baumaßnahmen statt

- 8,7 m –Ausbau der Unterweser 1953 – 58
- Sturmflutschutzmaßnahmen nach der Sturmflut von 1956
- Bau der Neustädter Häfen 1960
- SKN –12 m –Ausbau der Außenweser 1969 – 71
- Baggerung der Blexer Barre 1971
- 9 m -Ausbau der Unterweser 1973 – 78
- Inbetriebnahme der Sturmflutsperrwerke 1979
- Buhnenbau in der Unterweser 1982 – 1991
- SKN –14m – Ausbau der Außenweser 1998
- Überseehafenverfüllung 1998,

die in der einen oder anderen Weise die Wasserstandsverteilung beeinflusst haben. Zusätzlich treten auch durch meteorologische (niedrige / hohe Oberwasserabflüsse, Sturmfluten) und langperiodische astronomische Einflüsse (Nodaltide) Überprägungen / Verschiebungen der Überschreitungshäufigkeiten auf. Eine exakte Zuordnung, welches Ereignis zu welcher Veränderung geführt hat, kann an dieser Stelle nicht erfolgen.

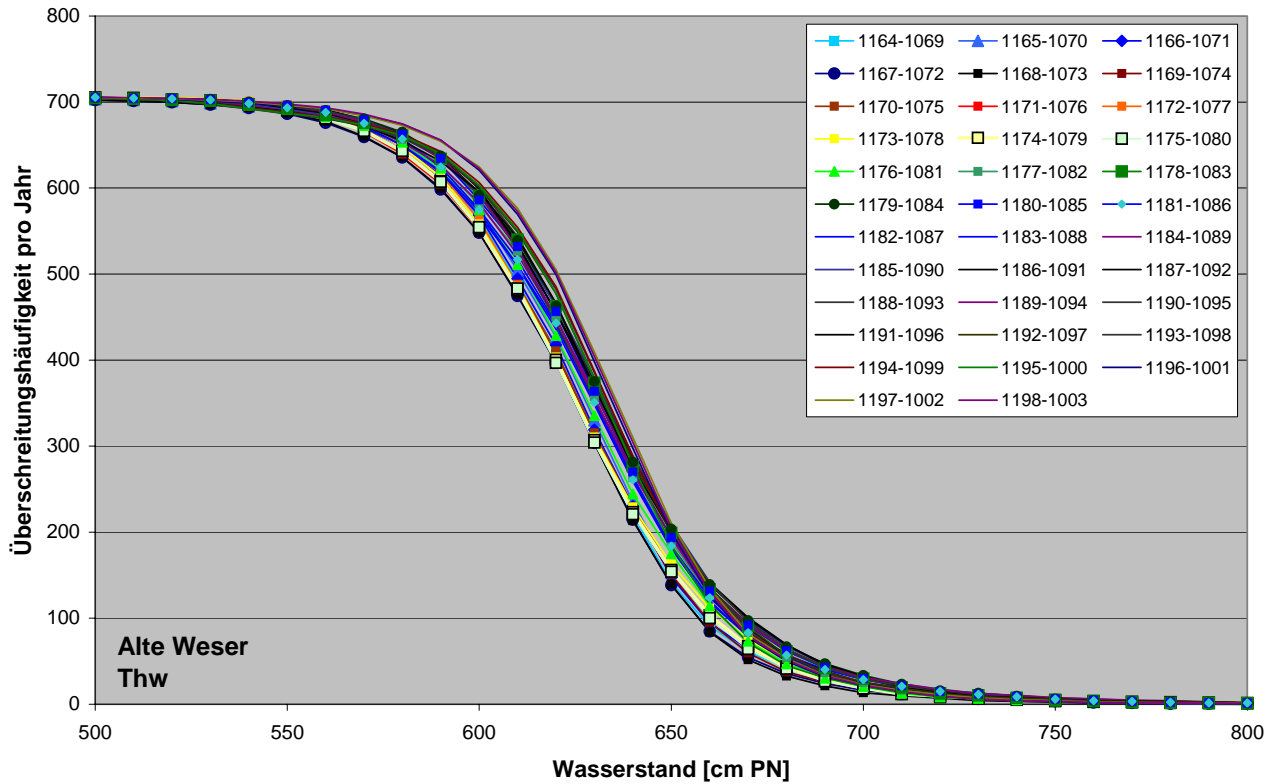


Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Alte Weser für die 5-Jahres-Zeiträume 1164-1069 bis 1198-1003.

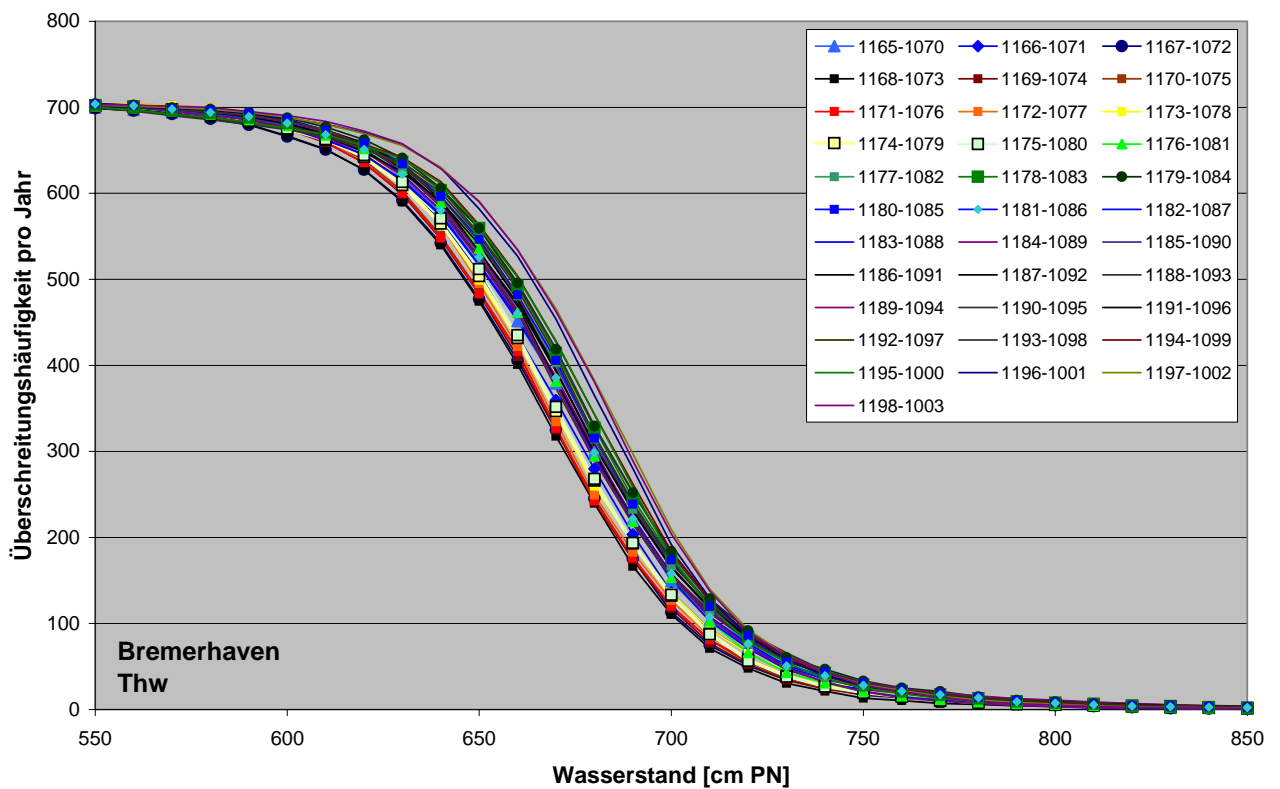


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Bremerhaven für die 5-Jahres-Zeiträume 1165-1070 bis 1198-1003.

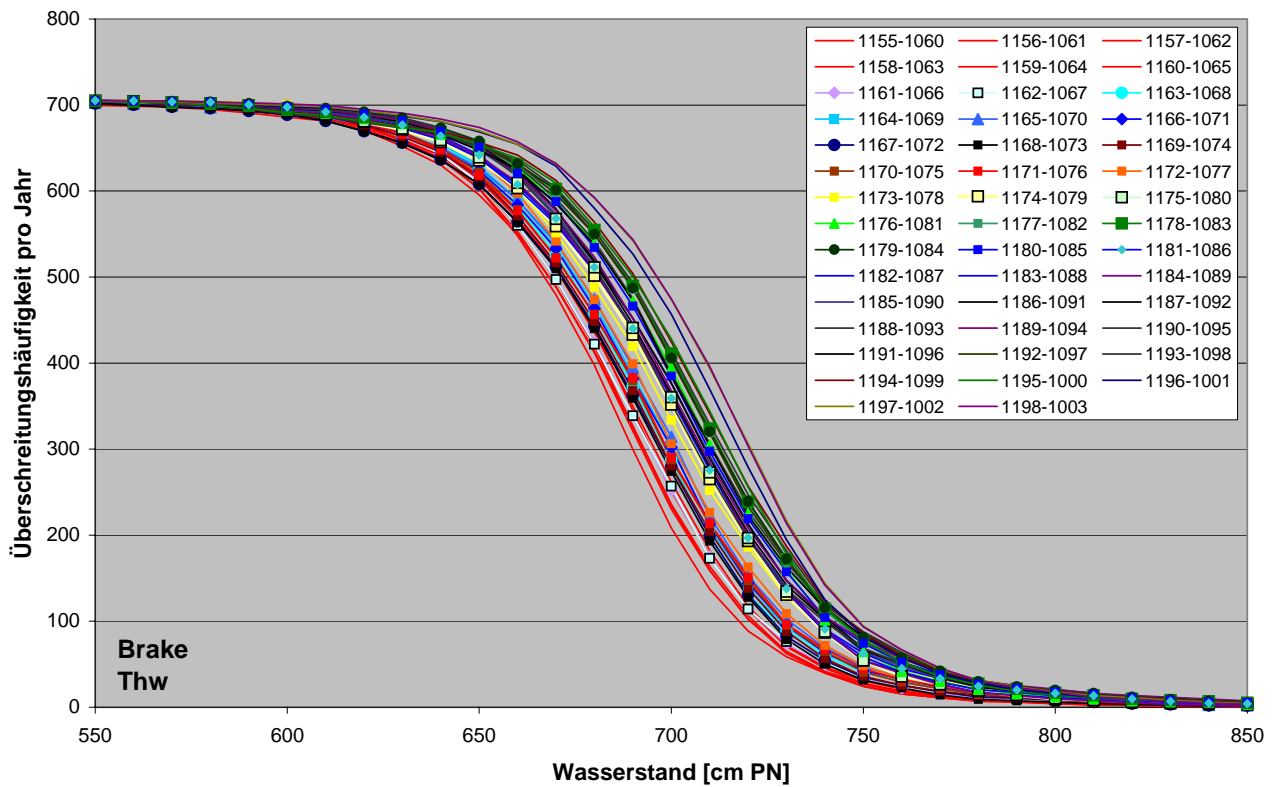


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Brake für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

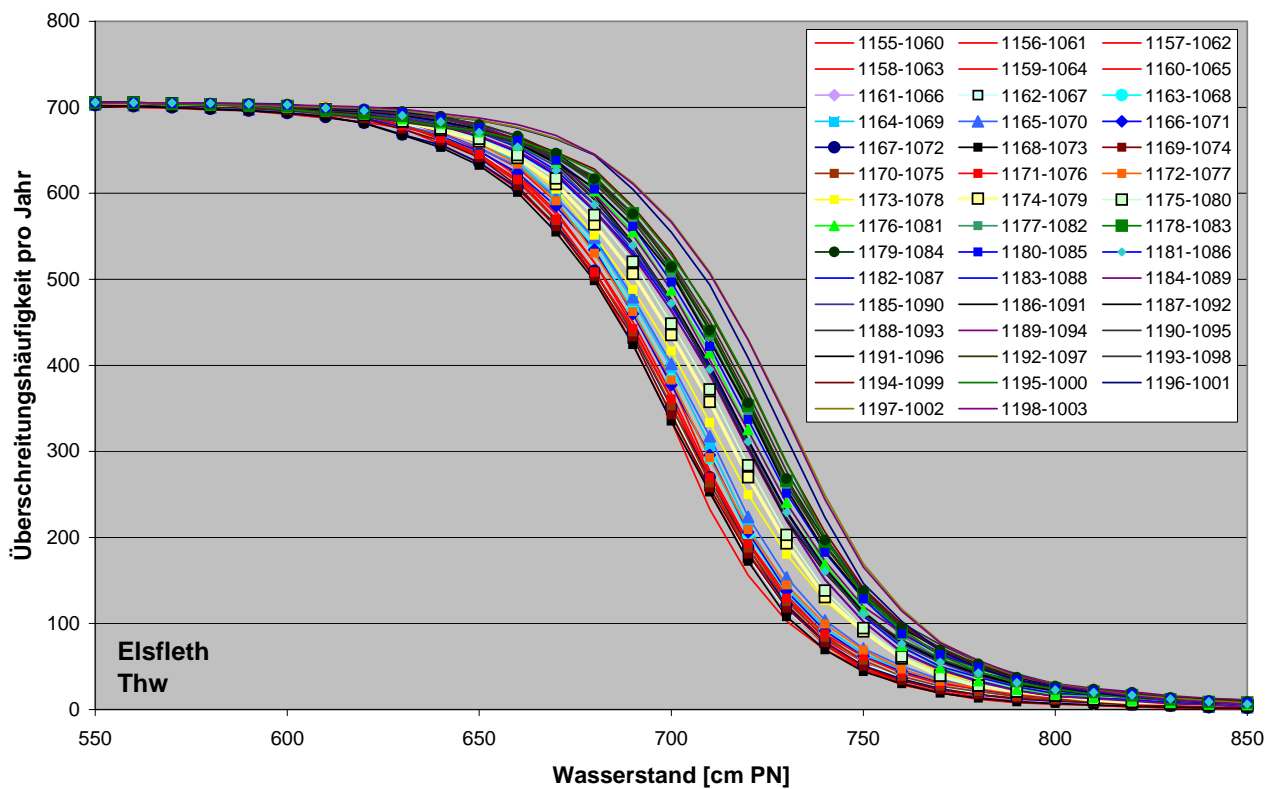


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Elsfleth für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

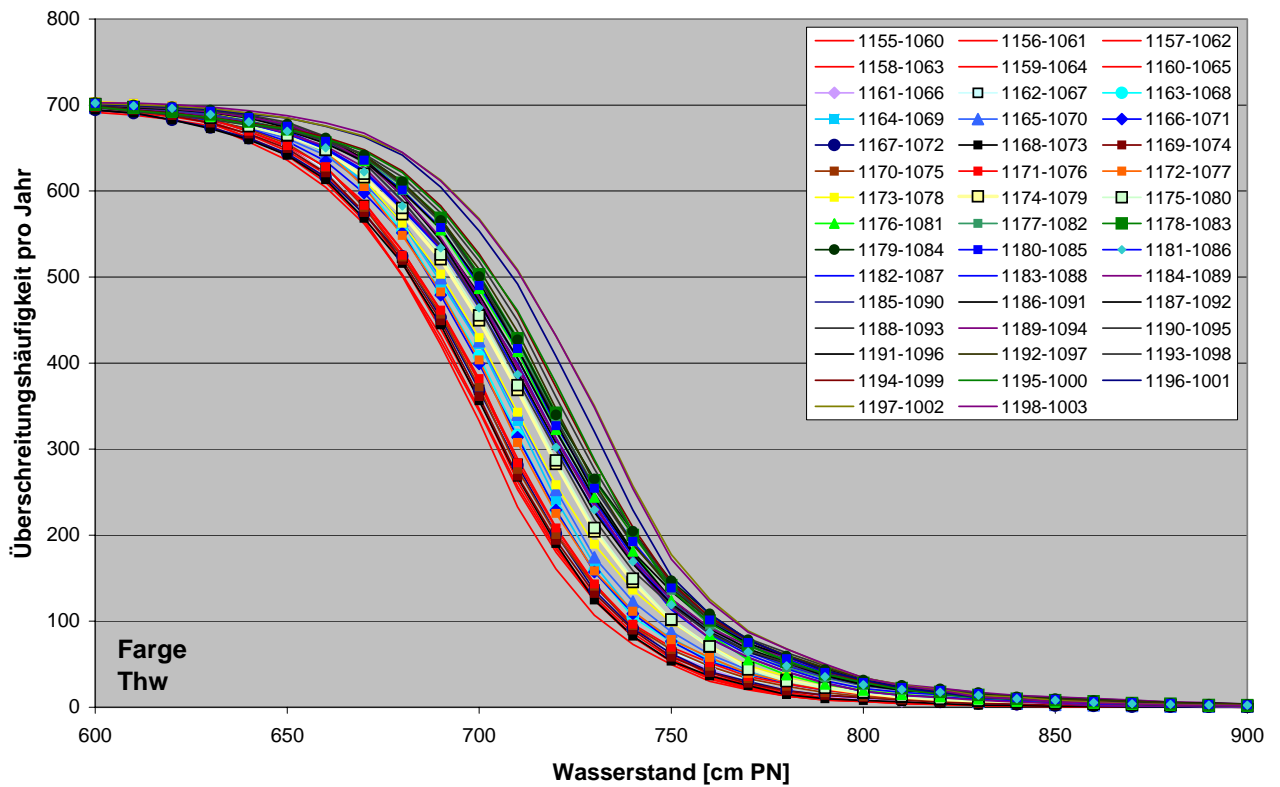


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Farge für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

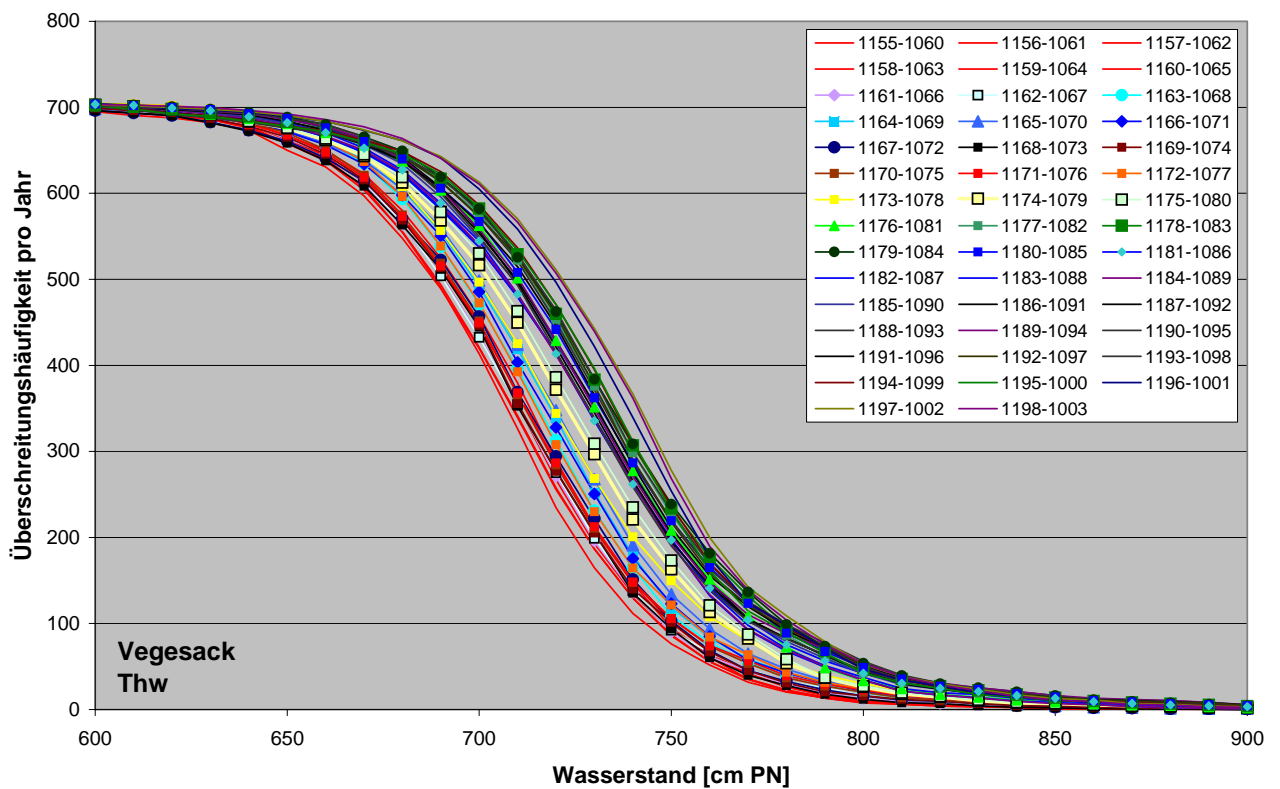


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Thw am Pegel Vegesack für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

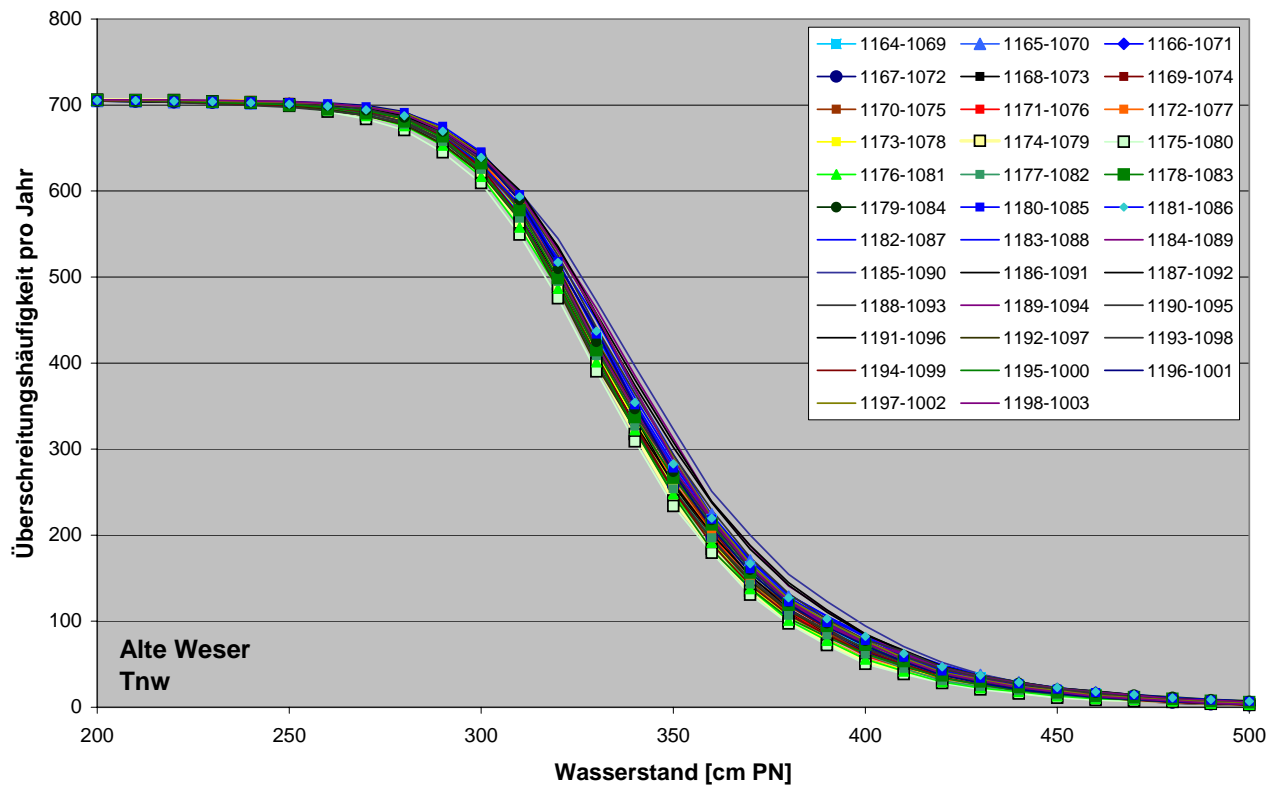


Abbildung 23: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Alte Weser für die 5-Jahres-Zeiträume 1164-1069 bis 1198-1003.

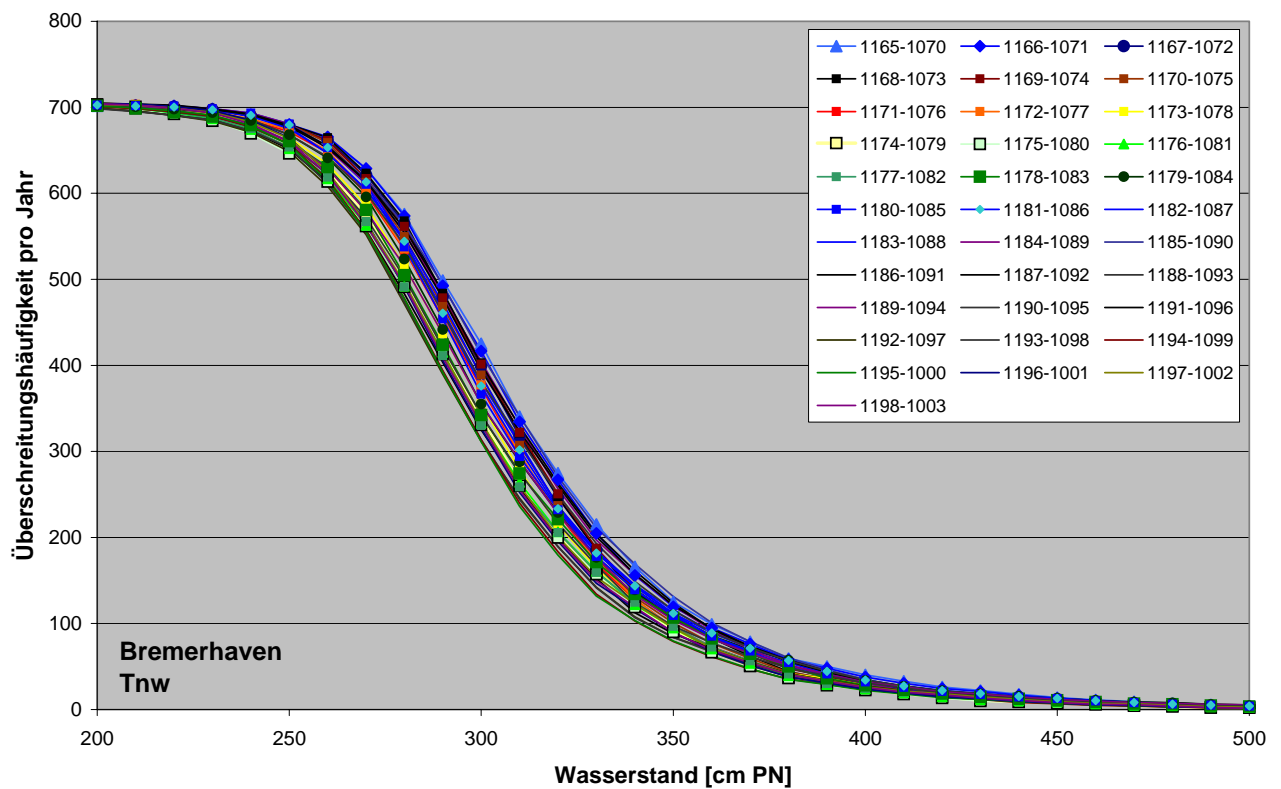


Abbildung 24: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Bremerhaven für die 5-Jahres-Zeiträume 1165-1070 bis 1198-1003.

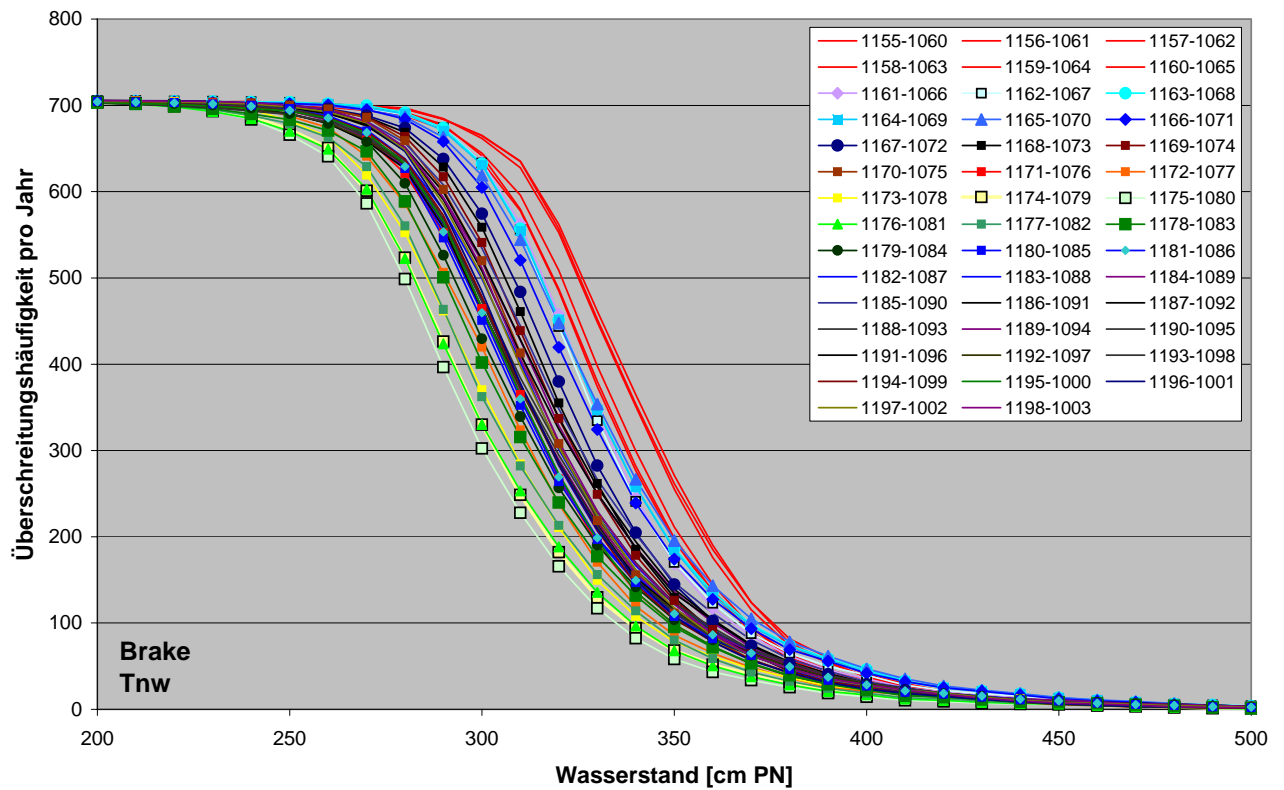


Abbildung 25: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Brake für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

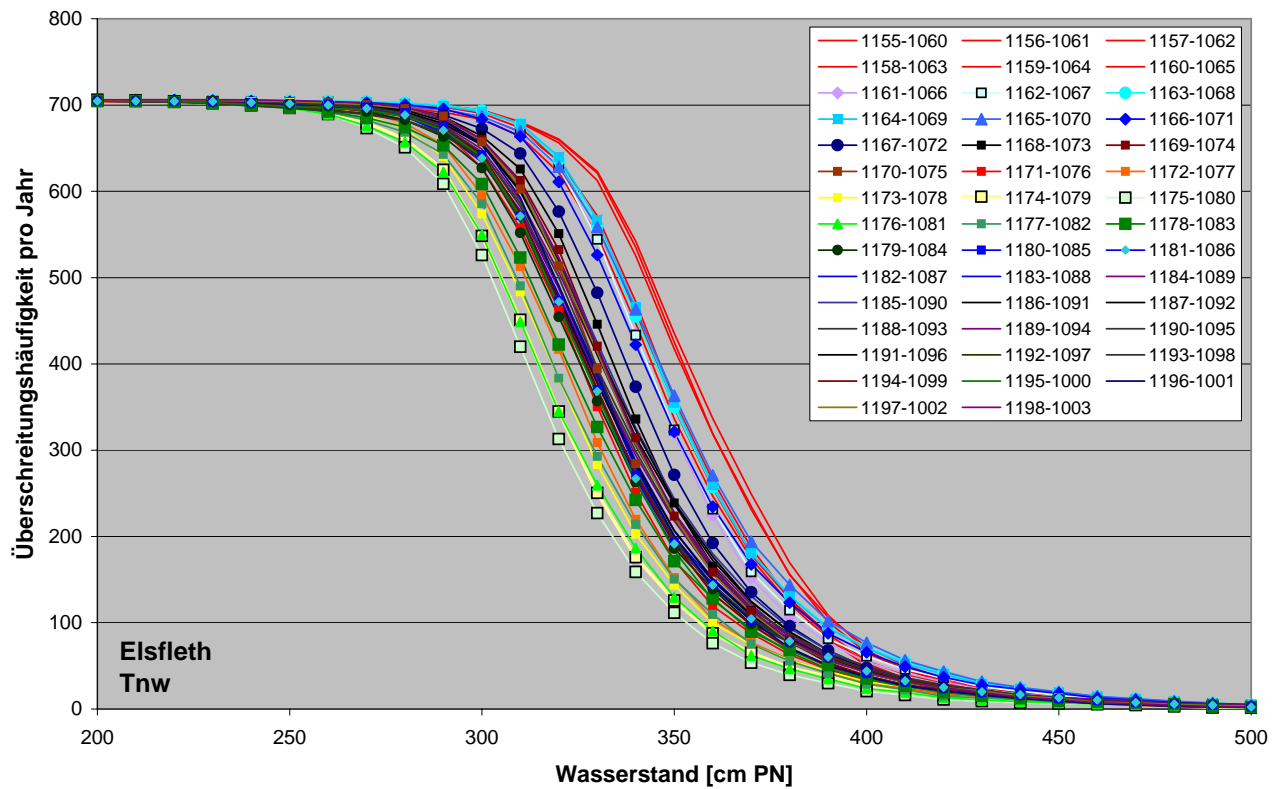


Abbildung 26: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Elsfleth für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

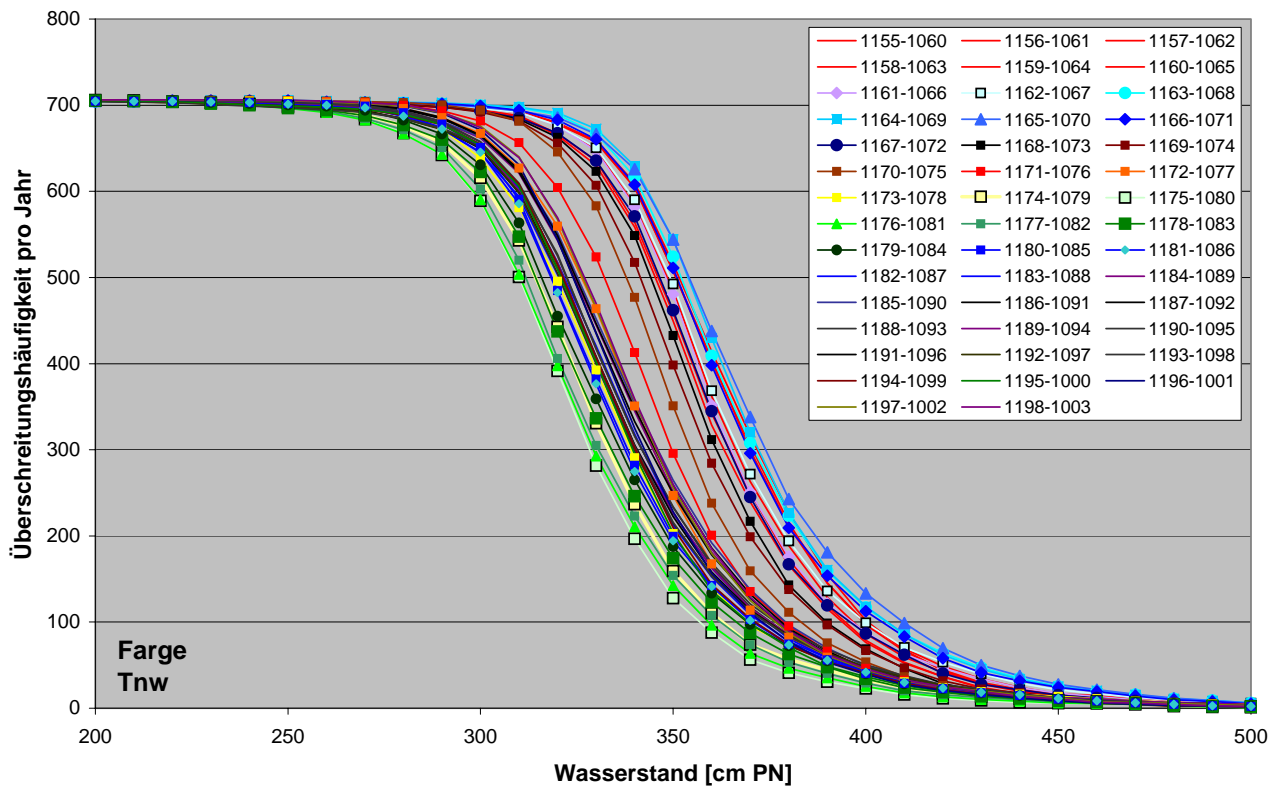


Abbildung 27: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Farge für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

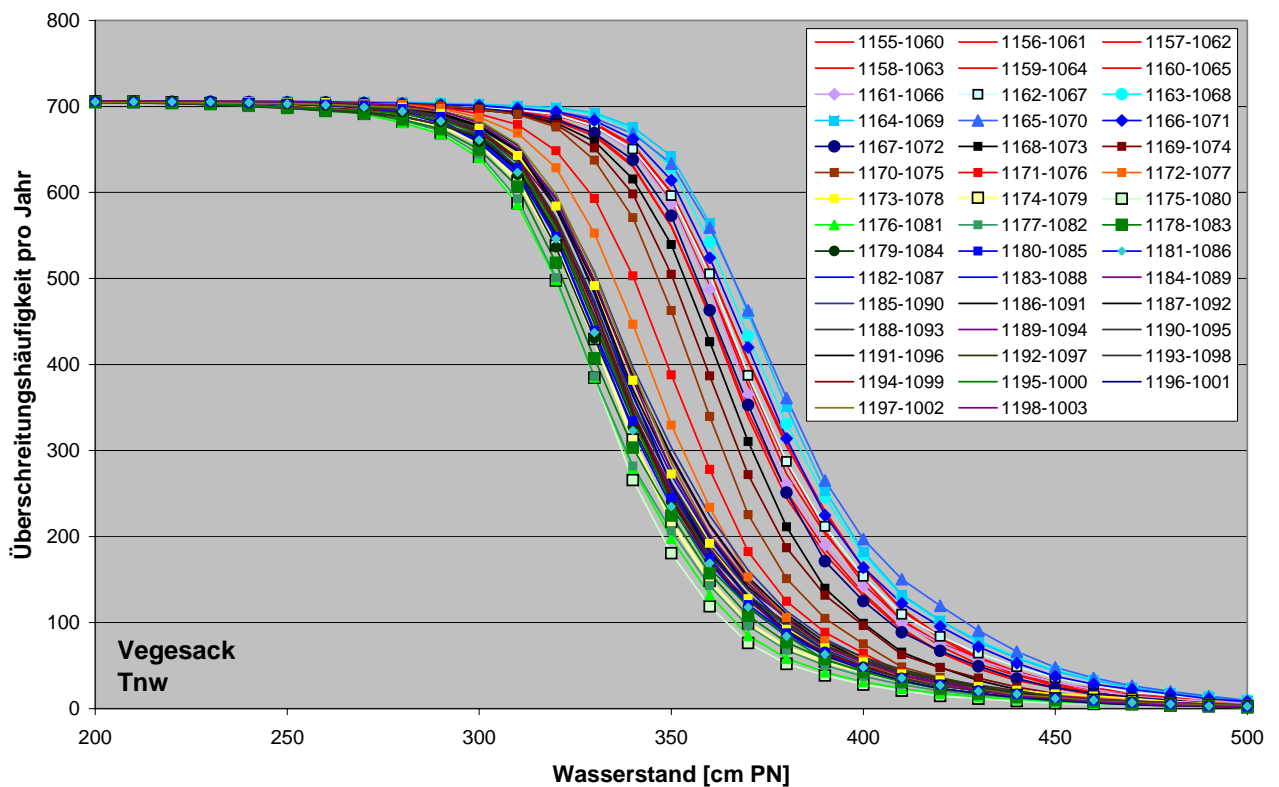


Abbildung 28: Zeitliche Entwicklung der Überschreitungshäufigkeit des Tnw am Pegel Vegesack für die 5-Jahres-Zeiträume 1155-1060 bis 1198-1003.

## 5. AUSBAUBEDINGTE VERÄNDERUNGEN

### 5.1 Datengrundlage und Untersuchungsmethode

Die Veränderungen der Häufigkeitsverteilungen und der Überschreitungszahlen für Thw bzw. Unterschreitungszahlen für Tnw der einzelnen Pegel durch die geplante Anpassung von Außen- und Unterweser werden auf Grundlage der Daten des Zeitraums 1999 - 2003 untersucht. Durch eine gleichmäßige Verschiebung der Häufigkeitsverteilung um 1, 2 und 3 cm für Thw bzw. 1 – 6 cm für Tnw werden für unterschiedlich starke Auswirkungen des Ausbaus die Veränderungen der Überschreitungen abgeschätzt<sup>2</sup>. Da bei niedrigen Wasserständen die Ausbauwirkung größer ist als bei hohen, müsste die Häufigkeitsverteilung bei niedrigen Wasserständen auch stärker verschoben werden als bei hohen. Da aber im Vergleich zur Breite der Häufigkeitsverteilung von 4 – 5 m die möglichen ausbaubedingten Änderungen sehr klein sind, verschwinden mögliche Abweichungen durch diese Vereinfachung (gleichmäßige Verschiebung der Häufigkeitsverteilung) in den Ungenauigkeiten der Wasserstandserfassung, Scheitelwertbestimmung und schließlich in der Prognose der ausbaubedingten Änderung.

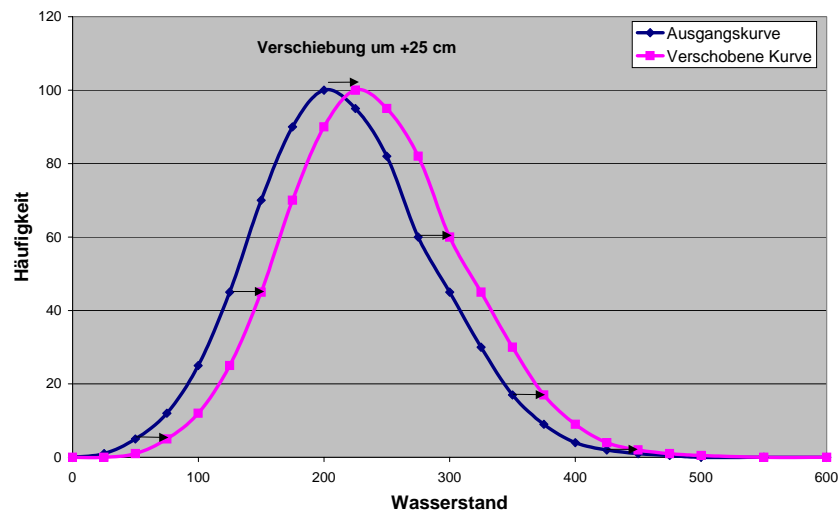


Abbildung 29: **Beispiel** für eine gleichmäßige Verschiebung der Häufigkeitsverteilung hier zur Verdeutlichung um +25 cm.

Die Veränderung der Überschreitungshäufigkeit wird für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack untersucht. Um Sprünge in der Verteilungskurve, die besonders bei sehr hohen bzw. sehr niedrigen Wasserständen durch das vereinzelte Auftreten eines Scheitelwasserstandes entstehen, auszugleichen, wird die Kurve an eine Verteilungsfunktion angepasst, aus der die veränderten Häufigkeiten berechnet werden können. Als Anpassungsfunktion bietet sich aufgrund der Form der Kurve der Überschreitungshäufigkeiten eine sigmoidale Funktion (Boltzmann-Verteilung) an.

$$y = A2 + \frac{(A1 - A2)}{1 + e^{(x-x_0)/dx}}$$

- mit
- A1 größte Häufigkeit (hier ca. 100% bzw. 706 Tiden)
  - A2 kleinste Häufigkeit (hier ca. 0%)
  - x0 Wasserstand (x-Wert) bei einer Häufigkeit von 50% (Mitte zwischen A1 und A2)
  - dx Breite (Häufigkeitsveränderung bei x0)

<sup>2</sup> Durch umfangreiche hydronumerische Modelluntersuchungen wurden von der Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg als Maximalwerte der Veränderung ein Anstieg des MThw um 3 cm und ein Absink des MTnw um 6 cm ermittelt. Diese Werte gelten als maximale Änderungen für den oberstromigen Bereich der Unterweser (Farge – Bremen), d.h. in dieser Untersuchung für den Pegel Vegesack. Für die übrigen Untersuchungspegel gelten folgende maximalen Änderungen: Brake: MThw +3 cm, MTnw -5 cm; Nordenham: MThw +2 cm, MTnw -3 cm; Robbensüdsteert: MThw +1, MTnw -2 cm.

Im Bereich zwischen 0 und 500 cm NN für Thw und -280 und -100 cm NN für Tnw wird im Abstand von 25 bzw. 10 cm jeweils eine Bezugshöhe genommen, für die die Veränderungen ermittelt werden.

## 5.2 Ergebnisse

Die Kurvenanpassung führt bei den Überschreitungshäufigkeiten des Thw zu einem sehr guten Ergebnis, wie aus dem hohen Korrelationskoeffizienten in Tabelle 5 und der Gegenüberstellung der Messwerte und der angepassten Funktionen in Abbildung 30 zu sehen ist.

	RSST	NH	BRA	VEG
<b>A1</b>	99,862	99,801	99,779	99,933
<b>A2</b>	0,24898	0,22558	0,30584	0,5608
<b>x0</b>	173,51	199,31	214,05	239,99
<b>dx</b>	19,558	19,558	19,839	21,693
<b>R<sup>2</sup></b>	0,99995	0,99994	0,99989	0,99986

Tabelle 5: Parameter der angepassten Funktionen für Thw (Erläuterung im Text).

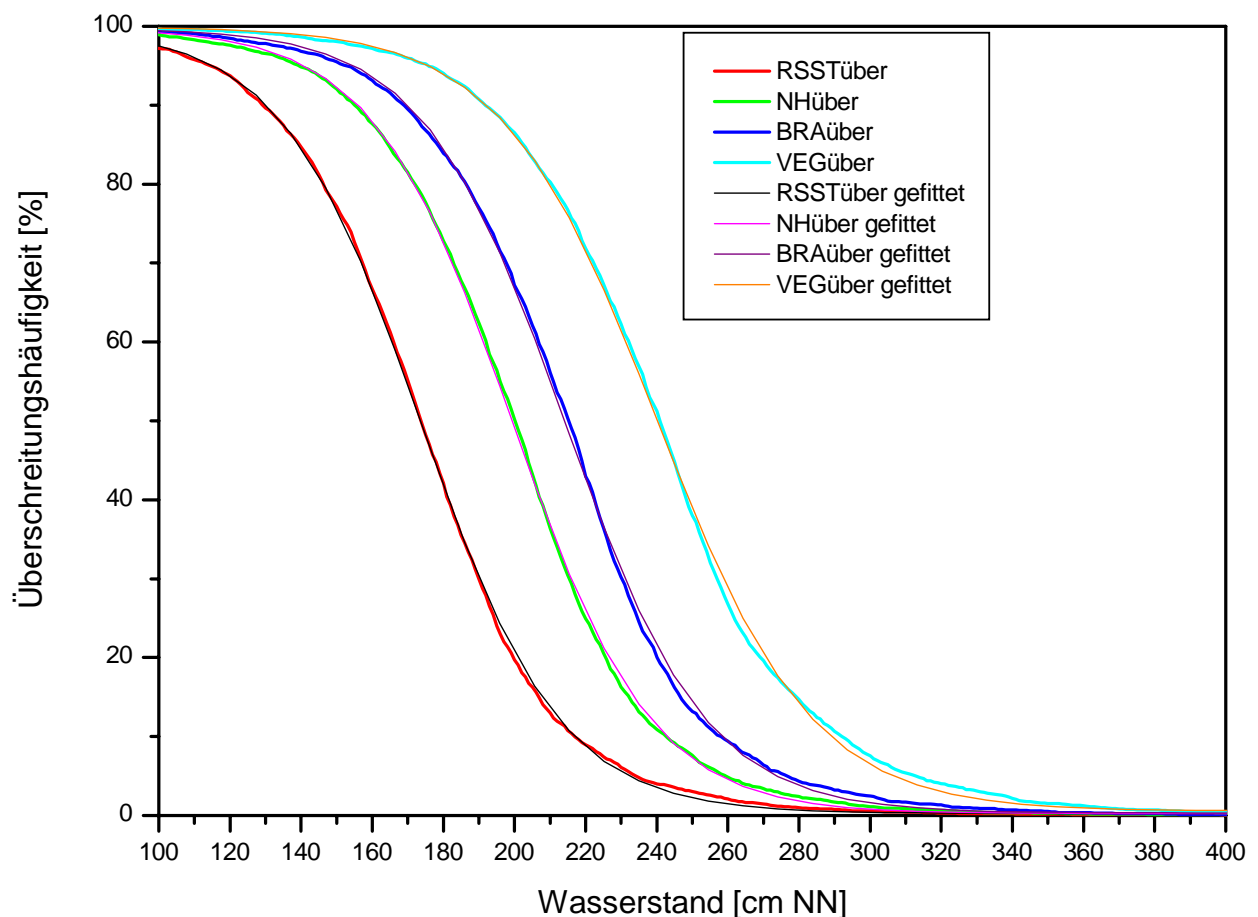


Abbildung 30: Überschreitungshäufigkeiten des Thw für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack für den Zeitraum 1999 – 2003 und angepasste Verteilungsfunktionen.

Die Anpassung für die Unterschreitungshäufigkeit des Tnw liefert insgesamt auch ein akzeptables Ergebnis (vgl. Tabelle 6 und Abbildung 31). Durch das abruptere Ende bei niedrigen Tnws nach einem relativ steilem Abfall der Häufigkeiten ergeben sich die Fit-Parameter aber so, dass bei niedrigen Wasserständen die Häufigkeit negativ ist und bei hohen Wasserständen nicht

100% erreicht wird. Eine Anpassung an die Randwerte 0 und 100 führt im mittleren Teil zu erheblich schlechteren Übereinstimmungen. Für die Bestimmung der absoluten Änderung der Häufigkeit hat dies keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss. Bei den prozentualen Änderungen treten aber bei negativen und kleinen Häufigkeiten falsche Werte auf. In der Tabelle 9 wurden deshalb diese Ergebnisse gelöscht.

	<b>RSST</b>	<b>NH</b>	<b>BRA</b>	<b>VEG</b>
<b>A1</b>	-0,5163	-0,7893	-0,3996	-0,0435
<b>A2</b>	90,754	92,231	91,020	84,388
<b>x0</b>	-194,98	-207,79	-188,003	-163,022
<b>dx</b>	18,617	18,234	15,302	12,530
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9996	0,99926	0,99934	0,99989

Tabelle 6: Parameter der angepassten Funktionen für Tnw (Erläuterung im Text).

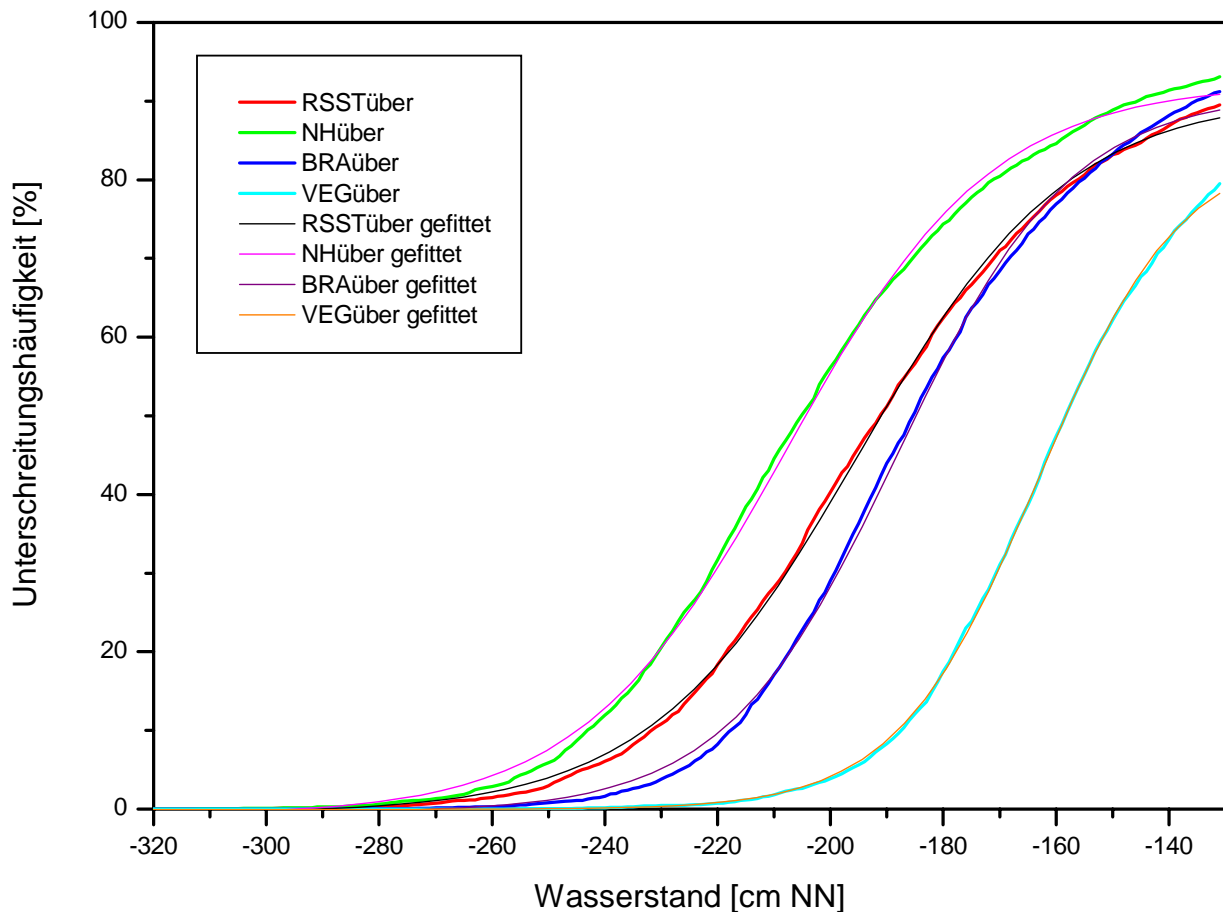


Abbildung 31: Unterschreitungshäufigkeiten des Tnw für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack für den Zeitraum 1999 – 2003 und angepasste Verteilungsfunktionen.

Mit den berechneten Anpassungsfunktionen wurden die Überschreitungshäufigkeiten für 0, 1, 2 und 3 cm Erhöhung des MThw und 0, -1, -2, -4 und -6 cm Absenkung des MTnw berechnet und daraus die Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit bzw. Unterschreitungshäufigkeit ermittelt. In Abbildung 32 sind die Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit für den Wasserstandsbereich zwischen 0 und 450 cm NN angegeben. Abbildung 33 zeigt diese Veränderungen in Prozent der bisherigen Häufigkeit. In Abbildung 35 sind die Veränderungen

der Überschreitungshäufigkeit in Tiden pro Jahr für Wasserstandserhöhungen von 1, 2 und 3 cm dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass für diese kleinen Änderungsbeträge ein linearer Zusammenhang zwischen Wasserstandserhöhung und Zunahme der Überschreitungshäufigkeit besteht. Aus diesem Grund werden auch nur für einen Änderungsbetrag von 3 cm die Zunahmen der Überschreitungshäufigkeiten in Tabelle 8 aufgeführt. Entsprechende Abbildungen und Tabellen sind für die Änderungen der Unterschreitungshäufigkeit des Tnws angeführt (vgl. Abbildung 34, Abbildung 36 und Tabelle 9).

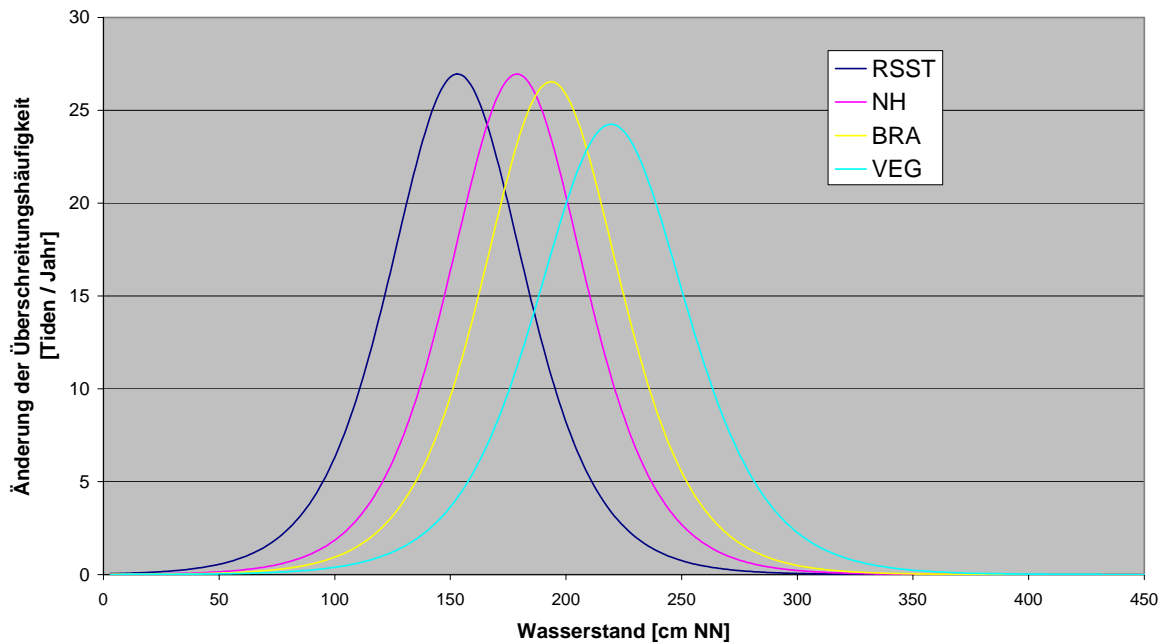


Abbildung 32: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit angegeben in Tiden pro Jahr der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 3 cm.

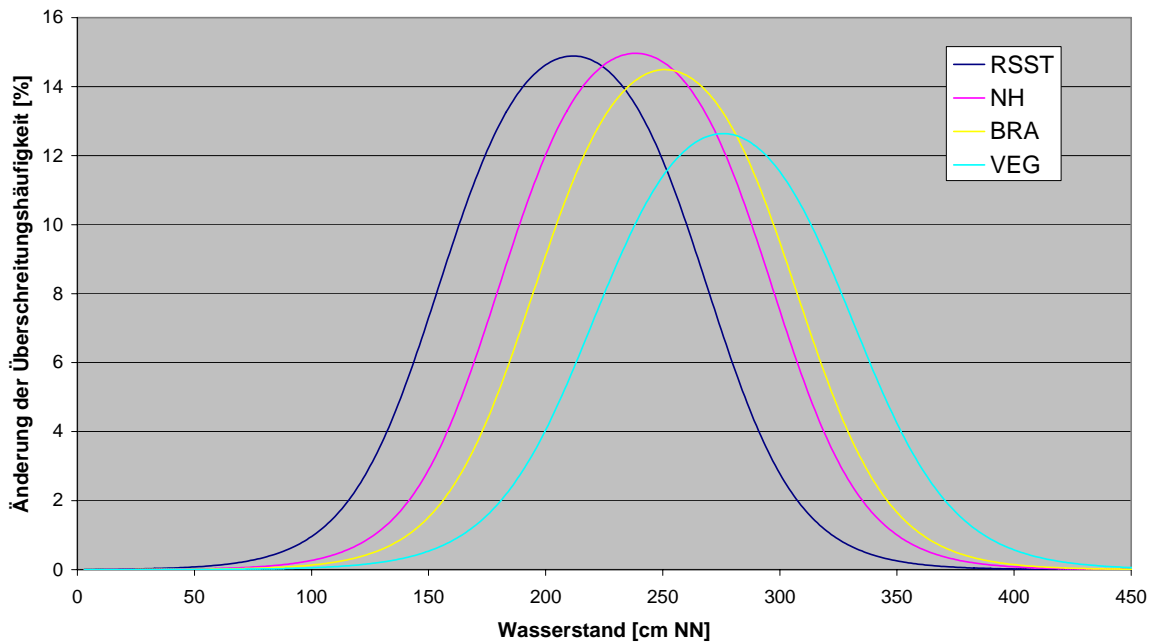


Abbildung 33: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit (angegeben in Prozent) der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 3 cm.

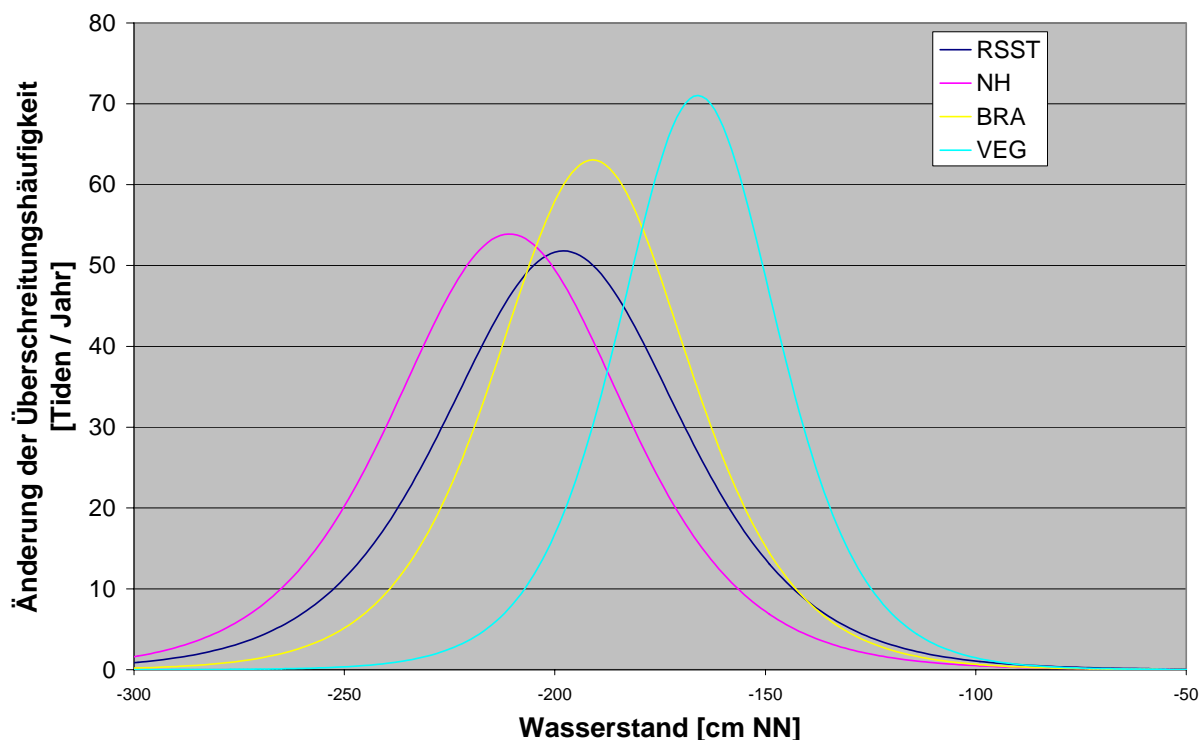


Abbildung 34: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit angegeben in Tiden pro Jahr der Tnw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MTnw um -6 cm.

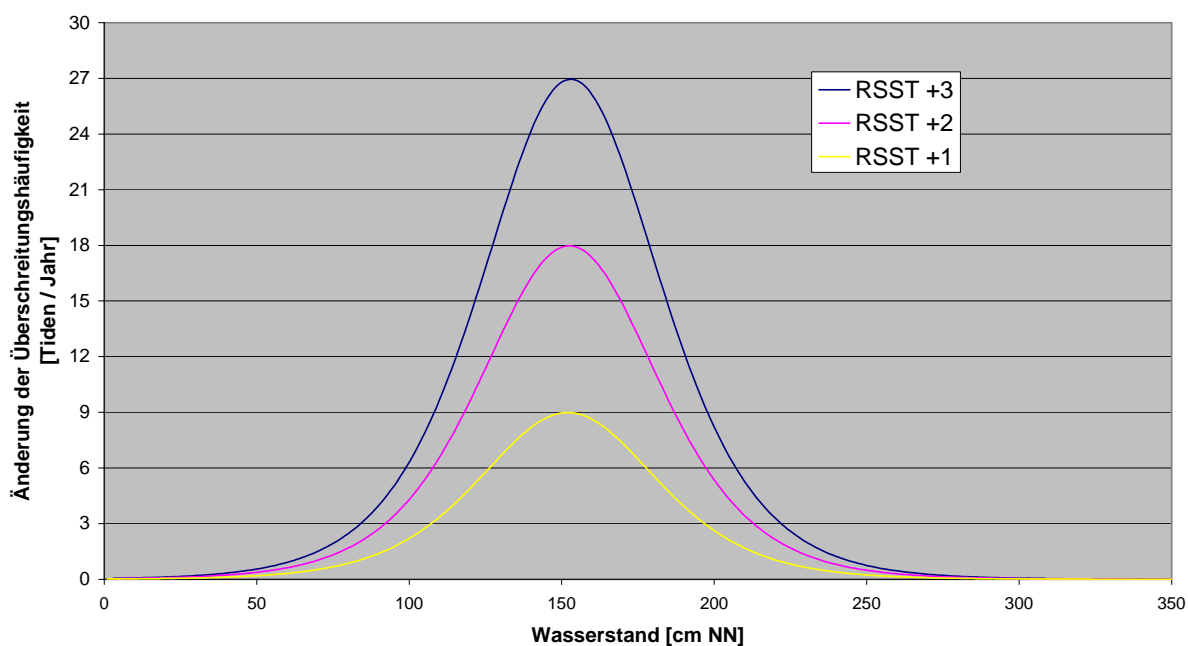


Abbildung 35: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit (angegeben in Tiden pro Jahr) der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 1, 2 und 3 cm am Beispiel des Pegels Robbensüdsteert.

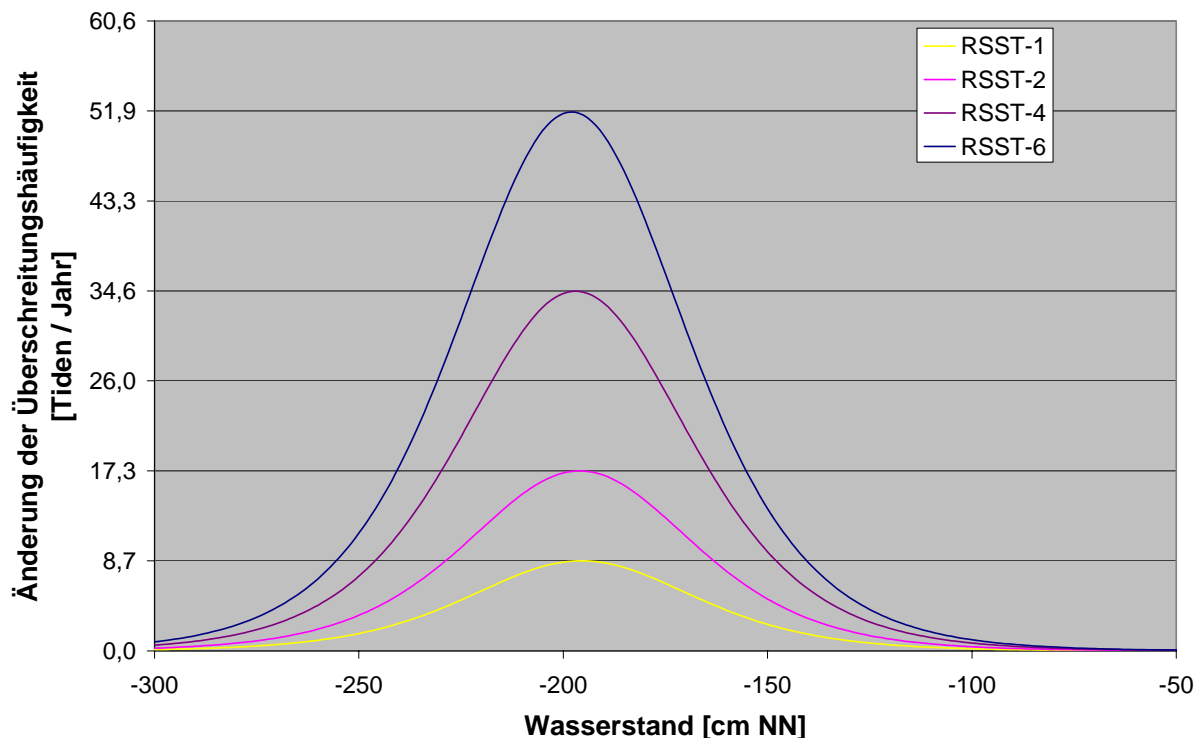


Abbildung 36: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit (angegeben in Tiden pro Jahr) der Tnw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um -1, -2, -4 und -6 cm am Beispiel des Pegels Robbensüdsteert.

	<b>RSST</b>	<b>NH</b>	<b>BRA</b>	<b>VEG</b>
<b>MThw</b>	173	199	214	241
<b>MTnw</b>	-184	-197	-179	-152
<b>MThw Sommer</b>	173	198	211	236
<b>MThw Winter</b>	173	200	216	244
<b>SKN (Lat)</b>	250	260	225	200

Tabelle 7: MThw und MTnw an den Untersuchungspegeln für den Zeitraum 1999 - 2003. Alle Angaben in cm NN.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die größten Veränderungen im Bereich des MThws (vgl. Tabelle 7) auftreten, d.h. bei Wasserständen von etwa 1,40 bis 2,10 m über NN bei Robbensüdsteert und 2,00 bis 2,80 m über NN bei Vegesack. An den Grenzen dieser Bereiche sind die Veränderung auf die Hälfte des Maximalwertes zurückgegangen. Die Lage des Maximalwertes weicht nur um wenige Zentimeter vom jeweiligen MThw ab. Die größten prozentualen Änderungen befinden sich an der oberen Grenze der genannten Bereiche. Wie in Abbildung 32 und Abbildung 33 zu sehen, ist der Verlauf der prozentualen Änderungen flacher und breiter als die absoluten Änderungen.

Bei den Unterschreitungshäufigkeiten des Tnws liegen die größten Veränderungen ca. 10 – 20 cm unterhalb des jeweiligen MTnws. Während bei Robbensüdsteert bei der Hälfte des Maximalwertes der Wasserstandsbereich mit 65 cm (-2,30 bis -1,65 m NN) etwa die gleiche Breite wie beim Thw hat, ist bei Vegesack die Breite mit weniger als 45 cm (-1,90 bis -1,45 m NN) nur halb so breit wie beim Thw.

### Sommerdeiche

Die Sommerdeiche liegen in der Unterweser zwischen 3,70 und 4,00 m über NN. Zur Ermittlung der Zunahme der Überflutungen wird zur Vereinfachung nur der Pegel Vegesack betrachtet, für den sich die größten Veränderungen der 4 Untersuchungspegel in diesem Wasserstandsbereich ergeben. Für einen Sommerdeich mit einer Höhe von 3,70 m über NN ergibt sich bei einer Wasserstandserhöhung von 3 cm eine Zunahme der Überflutungen von 1 Tide in 4 Jahren. Bei 4,00 m NN reduziert sich die Zunahme auf etwa 1 Tide in 15 Jahren. Liegen die Sommerdeiche stromab von Vegesack, fällt die Zunahme noch geringer aus.

### Vordeichsflächen

In Abhängigkeit von der Höhenlage ist die Zunahme der Überflutungshäufigkeit mehr oder weniger stark. Bei einer Erhöhung des MThws um 3 cm ergeben sich für Flächen, die nur wenig (0 – 50 cm) über MThw liegen, Zunahmen zwischen etwa 8 und 27 Tiden / Jahr. Dies entspricht einer Zunahme um 7 – 15%. Zwischen 50 und 100 cm über MThw fällt die Zunahme von ca. 10 auf unter eine 1 Tide / Jahr ab.

Höhe [cm NN]	Überschreitungshäufigkeit [Tiden / Jahr]				Veränderung der Überschreitungshäufigkeit [Tiden / Jahr]				Veränderung der Überschreitungshäufigkeit [%]			
	RSST	NH	BRA	VEG	RSST	NH	BRA	VEG	RSST	NH	BRA	VEG
10	704,86	704,55	704,42	705,51	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	703,76	704,26	704,26	705,42	0,18	0,05	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00
75	700,49	703,38	703,81	705,18	0,64	0,17	0,09	0,05	0,09	0,02	0,01	0,01
100	689,00	700,24	702,21	704,42	2,23	0,62	0,31	0,14	0,32	0,09	0,04	0,02
125	650,70	689,20	696,64	702,05	7,21	2,15	1,08	0,45	1,11	0,31	0,16	0,06
150	542,49	652,30	677,68	694,62	18,38	6,96	3,63	1,39	3,39	1,07	0,54	0,20
160	470,23	621,52	661,22	688,39	23,35	10,60	5,74	2,17	4,97	1,70	0,87	0,31
170	<b>384,86</b>	576,20	635,66	678,74	<b>26,52</b>	15,32	8,83	3,34	<b>6,89</b>	2,66	1,39	0,49
180	295,58	513,77	597,45	663,98	26,52	20,56	13,01	5,09	8,97	4,00	2,18	0,77
190	213,35	435,21	543,41	641,85	23,36	24,99	18,00	7,57	10,95	5,74	3,31	1,18
200	146,03	<b>346,89</b>	472,69	609,66	18,39	<b>26,93</b>	22,85	10,88	12,59	<b>7,76</b>	4,83	1,78
210	96,02	259,35	<b>389,02</b>	564,78	13,24	25,51	<b>26,02</b>	14,92	13,79	9,84	<b>6,69</b>	2,64
220	61,49	182,77	301,03	505,82	8,94	21,38	26,21	19,16	14,53	11,70	8,71	3,79
230	38,84	122,74	219,29	434,12	5,77	16,16	23,31	22,62	14,86	13,17	10,63	5,21
240	24,48	79,63	151,62	<b>354,66</b>	3,63	11,29	18,56	<b>24,22</b>	14,81	14,18	12,24	<b>6,83</b>
250	15,56	50,57	100,75	275,22	2,24	7,47	13,53	23,34	14,37	14,77	13,42	8,48
260	10,10	31,81	65,22	203,53	1,36	4,76	9,23	20,32	13,50	14,96	14,16	9,98
270	6,79	20,03	41,66	144,60	0,83	2,96	6,03	16,20	12,18	14,80	14,48	11,20
280	4,78	12,77	26,56	99,75	0,50	1,82	3,82	12,02	10,43	14,24	14,40	12,05
290	3,57	8,34	17,11	67,58	0,30	1,11	2,38	8,47	8,40	13,26	13,91	12,53
300	2,85	5,65	11,26	45,47	0,18	0,67	1,46	5,74	6,34	11,83	13,00	12,63
310	2,41	4,03	7,69	30,72	0,11	0,40	0,89	3,80	4,49	9,99	11,63	12,36
320	2,15	3,06	5,51	21,08	0,07	0,24	0,54	2,47	3,02	7,93	9,87	11,71
330	1,99	2,47	4,19	14,86	0,04	0,15	0,33	1,59	1,96	5,89	7,88	10,68
340	1,90	2,12	3,39	10,87	0,02	0,09	0,20	1,01	1,23	4,12	5,90	9,32
350	1,84	1,91	2,90	8,33	0,01	0,05	0,12	0,64	0,76	2,75	4,17	7,73
360	1,81	1,78	2,61	6,72	0,01	0,03	0,07	0,41	0,47	1,77	2,80	6,07
370	<b>1,79</b>	<b>1,71</b>	<b>2,43</b>	<b>5,71</b>	<b>0,005</b>	<b>0,019</b>	<b>0,04</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>	<b>1,11</b>	<b>1,82</b>	<b>4,53</b>
380	1,78	1,66	2,32	5,06	0,003	0,011	0,03	0,16	0,17	0,68	1,15	3,22
390	1,77	1,63	2,26	4,65	0,002	0,007	0,016	0,10	0,10	0,42	0,71	2,21
400	<b>1,76</b>	<b>1,62</b>	<b>2,22</b>	<b>4,40</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,004</b>	<b>0,010</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>0,25</b>	<b>0,44</b>	<b>1,48</b>
425	1,76	1,60	2,18	4,10	0,0003	0,0011	0,003	0,02	0,02	0,07	0,13	0,50
450	1,76	1,59	2,16	4,00	0,0001	0,0003	0,0008	0,006	0,00	0,02	0,04	0,16
475	1,76	1,59	2,16	3,97	0,0000	0,0001	0,0002	0,002	0,00	0,01	0,01	0,05
500	1,76	1,59	2,16	3,96	0,0000	0,0000	0,0001	0,001	0,00	0,00	0,00	0,02

Tabelle 8: Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit des Thws bei einer Veränderung des MThw um +3 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack. Rot markiert das Höhenniveau des MThws, gelb und blau die Sommerdeichhöhen.

Höhe [cm NN]	Unterschreitungshäufigkeit [Tiden / Jahr]				Veränderung der Unterschreitungshäufigkeit [Tiden / Jahr]				Veränderung der Unterschreitungshäufigkeit [%]			
	RSST	NH	BRA	VEG	RSST	NH	BRA	VEG	RSST	NH	BRA	VEG
-280	3,0	6,7	-1,2	-0,3	2,5	4,7	0,8	0,0				
-270	7,6	15,4	0,2	-0,2	4,2	7,8	1,4	0,1				
-260	15,4	29,9	3,0	0,0	6,9	12,8	2,7	0,2		42,83		
-250	28,2	53,5	8,2	0,3	11,3	20,2	5,2	0,4	40,06	37,83		
-240	49,1	90,3	18,1	1,0	17,8	30,2	9,6	0,8	36,38	33,43	52,89	
-230	81,6	144,3	36,2	2,5	26,8	41,4	17,1	1,7	32,82	28,68	47,26	
-220	129,7	216,8	68,2	5,9	37,3	50,6	28,8	3,8	28,75	23,35	42,27	
-210	195,2	302,9	121,1	13,4	46,8	53,9	44,0	8,1	23,97	17,79	36,35	
-200	275,4	391,9	199,5	29,3	51,7	49,5	58,0	16,8	18,76	12,62	29,05	57,24
-190	361,4	471,4	298,9	61,7	49,5	39,7	63,0	32,1	13,70	8,41	21,08	51,98
-180	441,6	533,7	402,4	121,9	41,4	28,5	55,6	53,0	9,38	5,34	13,82	43,47
-170	507,2	577,7	490,5	216,8	30,9	18,9	40,8	69,3	6,10	3,27	8,33	31,95
-160	555,3	606,6	553,4	333,5	21,2	11,9	26,1	67,1	3,81	1,96	4,72	20,13
-150	587,9	624,7	592,9	440,0	13,7	7,2	15,3	48,6	2,32	1,15	2,57	11,05
-140	608,8	635,6	615,7	513,9	8,5	4,3	8,5	28,4	1,39	0,68	1,37	5,52
-130	621,7	642,1	628,3	555,9	5,1	2,5	4,6	14,5	0,83	0,39	0,72	2,61
-120	629,4	645,9	635,1	577,1	3,1	1,5	2,4	7,0	0,49	0,23	0,38	1,20
-110	634,1	648,1	638,7	587,2	1,8	0,9	1,3	3,2	0,29	0,13	0,20	0,55
-100	636,8	649,4	640,6	591,9	1,1	0,5	0,7	1,5	0,17	0,08	0,10	0,25

Tabelle 9: Veränderungen der Unterschreitungshäufigkeit des Tnws bei einer Veränderung des MTnw um -6 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack. Rot markiert das Höhenniveau des MTnws, gelb die Wattflächen und blau das SKN.

#### Wattflächen

Durch das Absinken des MTnws tritt generell eine Zunahme der Trockenfallhäufigkeit von Wattflächen auf. In Abhängigkeit von der Höhenlage ist die Zunahme mehr oder weniger stark ausgeprägt. Flächen auf Höhe des MTnws fallen bei einer Veränderung des MTnws um -6 cm ca. 40 – 55 Mal pro Jahr mehr trocken als bisher, was einer Veränderung von etwa 10 – 12% entspricht. Bei Flächen, die 20 cm über MTnw liegen, beträgt die Veränderung 15 – 25 Tiden pro Jahr (2 – 5%).

Knapp (10 – 20 cm) unter MTnw liegende Flächen sind mit einer Zunahme der Trockenfallhäufigkeit um 50 – 70 Tiden pro Jahr am stärksten betroffen.

#### Sielbetrieb

Die Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen der Tnws zu niedrigeren Wasserständen wirkt sich positiv auf die Möglichkeiten der Entwässerung aus. Umgekehrt führt die Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen der Thws zu höheren Wasserständen zu einer Verbesserung der Bedingungen für die Zuwässerung. (vgl. auch WAP-Studie 2005-6 „Änderung der Sielzugverhältnisse“).

#### SKN(LAT)

Für die 4 Pegel ergeben sich auf SKN-Niveau folgende Zunahmen der Unterschreitungshäufigkeit:

Robbensüdsteert	11,3 Tiden pro Jahr
Nordenham	12,8 Tiden pro Jahr
Brake	22,4 Tiden pro Jahr
Vegesack	16,8 Tiden pro Jahr

Die prozentuale Zunahme liegt zwischen 40 und 60%.

### Bauwerke

Bauwerke am Strom können durch eine Zunahme z.B. des Trockenfalls von Pfahlgründungen oder das Fehlen des Wassergegendrucks betroffen sein. Setzt man als obere Grenze für die Relevanz dieser Frage einen Wasserstand von 1,00 m unter MTnw (1999-2003) an, das in den letzten 50 Jahren an den Pegeln Nordenham, Brake und Vegesack ca. 2mal pro Jahr unterschritten wurde und am Pegel Robbensüdsteert in den letzten 20 Jahren sogar 4mal pro Jahr, so ergeben sich Veränderungen der Häufigkeit von weniger als 1 Tide pro Jahr.

### 5.3 Unterscheidung Sommer- und Winterhalbjahr

Da die landwirtschaftlichen Flächen in den durch Sommerdeiche geschützten Gebieten in der Regel nur im Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) genutzt werden, wurde für die Daten aus dem Zeitraum 1999 – 2003 jeweils getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr die Überschreitungshäufigkeit ermittelt. Das Ergebnis normiert auf 100% ist in Abbildung 37 dargestellt. Man erkennt den deutlich unterschiedlichen Verlauf zwischen Sommer und Winter. Im Winter ist die Streubreite der Scheitelwasserstände wesentlich größer als im Sommer, was zum Einen von den fast nur im Winter auftretenden Sturmfluten herrührt, zum Anderen astronomisch bedingt ist. Nach Gezeiten-Vorausberechnungen des BSH treten in den Wintermonaten – zumindest für den Untersuchungszeitraum – niedrigere Wasserstände als in den Sommermonaten auf.

Entsprechend der oben beschriebenen Vorgehensweise wurden für die 8 Überschreitungshäufigkeitskurven Kurvenanpassung vorgenommen. Die ermittelten Parameter sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 zusammengefasst. Der Parameter dx verdeutlicht die unterschiedliche Streubreite zwischen Sommer und Winter.

Die ausbaubedingten Veränderungen sind ebenfalls nach dem oben beschriebenen Schema ermittelt worden. Sie sind für Sommer- und Winterhalbjahr in Tabelle 12 bzw. Tabelle 13 aufgelistet und in Abbildung 38 dargestellt.

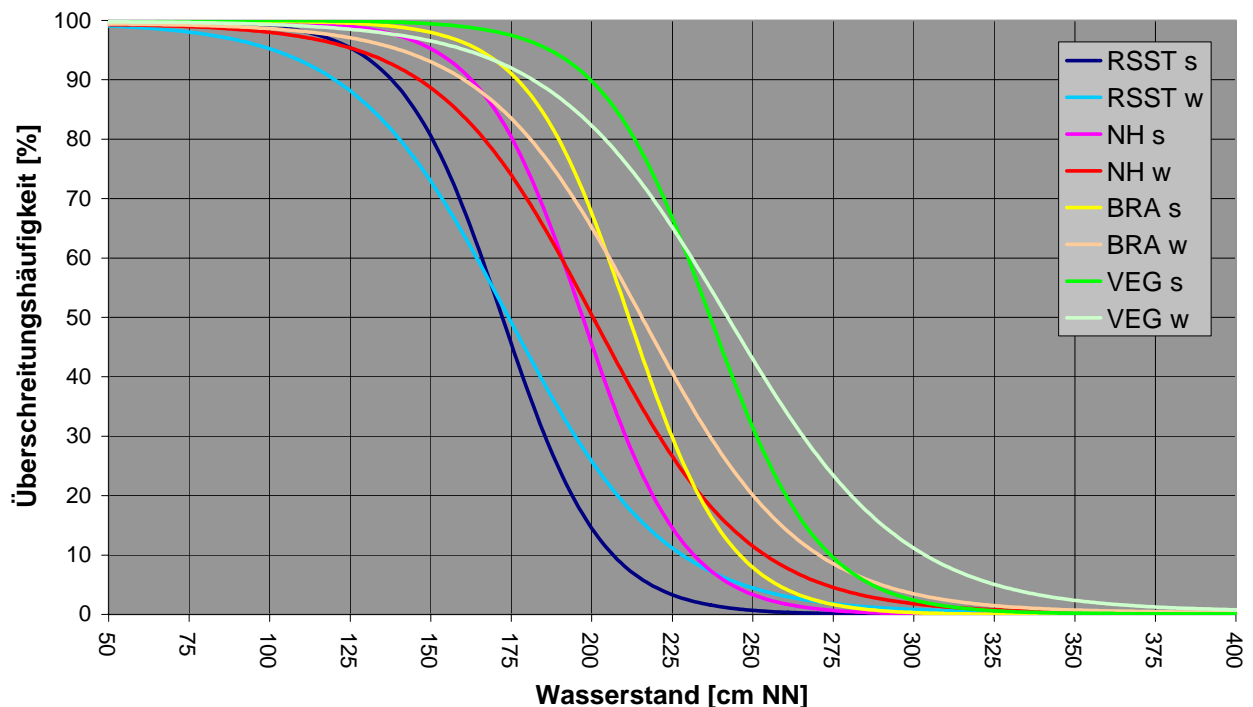


Abbildung 37: Überschreitungshäufigkeiten des Thw für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack für den Zeitraum 1999 – 2003 getrennt nach Sommer- und Winterhalbjahr.

	RSST	NH	BRA	VEG
<b>A1</b>	100,07	100,01	99,934	100,03
<b>A2</b>	-0,0117	-0,0389	-0,0583	0,07351
<b>x0</b>	172,21	197,19	211,57	236,78
<b>dx</b>	15,664	15,738	15,713	16,948
<b>R<sup>2</sup></b>	0,99997	0,99994	0,9999	0,99993

Tabelle 10: Parameter der angepassten Funktionen für Thw Sommerhalbjahr (Erläuterung im Text).

	RSST	NH	BRA	VEG
<b>A1</b>	99,664	99,491	99,53	99,864
<b>A2</b>	0,28088	0,22475	0,30996	0,4824
<b>x0</b>	174,22	200,55	215,67	242,05
<b>dx</b>	24,23	24,069	24,685	27,354
<b>R<sup>2</sup></b>	0,99989	0,99987	0,99979	0,99985

Tabelle 11: Parameter der angepassten Funktionen für Thw Winterhalbjahr (Erläuterung im Text).

Höhe [cm NN]	Überschreitungshäufigkeit [Tiden / Halbjahr]				Veränderung der Überschreitungshäufigkeit [Tiden / Halbjahr]			
	RSST	NH	BRA	VEG	RSST	NH	BRA	VEG
10	353,2	353,0	352,8	353,1	0,002	0,000	0,000	0,000
50	353,1	353,0	352,8	353,1	0,025	0,005	0,002	0,001
100	349,8	352,3	352,5	353,0	0,602	0,127	0,051	0,018
125	336,7	349,5	351,3	352,6	2,770	0,613	0,247	0,078
150	284,4	336,3	345,9	351,0	10,006	2,796	1,176	0,338
175	160,9	283,7	321,4	344,1	16,874	10,009	5,046	1,426
200	51,2	160,7	238,5	317,0	8,972	16,789	14,234	5,353
210	29,0	108,3	185,1	292,8	5,532	14,825	16,676	8,337
220	15,9	67,0	130,0	257,5	3,187	10,981	16,044	11,826
230	8,6	38,9	83,2	211,5	1,765	7,129	12,767	14,711
240	4,6	21,7	49,5	160,0	0,956	4,245	8,720	15,564
250	2,4	11,8	27,9	111,2	0,512	2,399	5,360	13,881
260	1,3	6,3	15,3	71,7	0,272	1,316	3,085	10,622
270	0,6	3,3	8,2	43,8	0,144	0,711	1,709	7,221
280	0,3	1,7	4,3	25,8	0,076	0,380	0,927	4,526
290	0,2	0,8	2,2	14,9	0,040	0,203	0,497	2,695
300	0,1	0,4	1,1	8,5	0,021	0,108	0,265	1,556
310	0,0	0,1	0,5	4,9	0,011	0,057	0,141	0,883
320	0,0	0,0	0,1	2,8	0,006	0,030	0,075	0,496
330	0,0	-0,1	0,0	1,7	0,003	0,016	0,040	0,277
340	0,0	-0,1	-0,1	1,1	0,002	0,008	0,021	0,154
350	0,0	-0,1	-0,2	0,7	0,0009	0,005	0,011	0,086
360	0,0	-0,1	-0,2	0,5	0,0005	0,0024	0,006	0,047
370	0,0	-0,1	-0,2	0,4	0,0002	0,0013	0,003	0,026
380	0,0	-0,1	-0,2	0,3	0,0001	0,0007	0,0016	0,015
390	0,0	-0,1	-0,2	0,3	0,0001	0,0004	0,0009	0,008
400	0,0	-0,1	-0,2	0,3	0,00004	0,0002	0,0005	0,004
425	0,0	-0,1	-0,2	0,3	0,00001	0,00004	0,00009	0,0010
450	0,0	-0,1	-0,2	0,3	<0,00001	0,00001	0,00002	0,0002
475	0,0	-0,1	-0,2	0,3	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00005
500	0,0	-0,1	-0,2	0,3	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00001

Tabelle 12: Sommerhalbjahr: Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit des Thws bei einer Veränderung des MThw um +3 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack. Rot markiert das Höhenniveau des MThws, gelb und blau die Sommerdeichhöhen.

Höhe [cm NN]	Überschreitungshäufigkeit [Tiden / Halbjahr]				Veränderung der Überschreitungshäufigkeit [Tiden / Halbjahr]			
	RSST	NH	BRA	VEG	RSST	NH	BRA	VEG
10	351,4	351,1	351,3	352,4	0,046	0,015	0,010	0,008
50	349,7	350,5	350,9	352,2	0,240	0,079	0,049	0,032
100	336,1	345,9	348,1	350,6	1,752	0,612	0,363	0,200
125	311,1	336,7	342,7	347,7	4,245	1,643	0,971	0,492
150	257,4	313,0	328,5	340,8	8,294	4,042	2,467	1,181
175	<b>173,6</b>	261,1	294,8	324,7	<b>10,853</b>	8,085	5,528	2,684
200	91,0	<b>178,0</b>	230,0	290,4	8,531	<b>10,896</b>	9,450	5,406
210	66,2	142,0	196,2	269,5	6,831	10,623	10,417	6,747
220	47,1	108,8	<b>160,9</b>	244,2	5,185	9,529	<b>10,603</b>	8,035
230	32,9	80,4	126,8	215,1	3,778	7,930	9,952	9,050
240	22,8	57,8	96,3	<b>183,7</b>	2,672	6,200	8,654	<b>9,576</b>
250	15,7	40,6	70,9	151,8	1,850	4,614	7,041	9,484
260	10,9	28,1	51,0	121,5	1,262	3,310	5,426	8,797
270	7,6	19,3	36,0	94,6	0,852	2,313	4,010	7,679
280	5,4	13,2	25,2	71,8	0,572	1,587	2,872	6,355
290	3,9	9,1	17,5	53,5	0,382	1,075	2,012	5,032
300	2,9	6,3	12,2	39,3	0,254	0,722	1,387	3,848
310	2,3	4,5	8,6	28,7	0,169	0,482	0,946	2,864
320	1,8	3,2	6,1	20,9	0,112	0,320	0,641	2,089
330	1,6	2,4	4,5	15,2	0,074	0,213	0,432	1,502
340	1,4	1,9	3,4	11,2	0,049	0,141	0,290	1,069
350	1,2	1,5	2,6	8,4	0,033	0,093	0,194	0,755
360	1,2	1,3	2,1	6,3	0,022	0,062	0,130	0,530
370	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	<b>4,9</b>	<b>0,014</b>	<b>0,041</b>	<b>0,087</b>	<b>0,371</b>
380	1,1	1,0	1,5	4,0	0,009	0,027	0,058	0,259
390	1,0	0,9	1,4	3,3	0,006	0,018	0,039	0,180
400	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>	<b>2,8</b>	<b>0,004</b>	<b>0,012</b>	<b>0,026</b>	<b>0,125</b>
425	1,0	0,8	1,2	2,1	0,0015	0,0041	0,009	0,051
450	1,0	0,8	1,1	1,9	0,0005	0,0015	0,003	0,020
475	1,0	0,8	1,1	1,8	0,0002	0,0005	0,0012	0,008
500	1,0	0,8	1,1	1,7	0,0001	0,0002	0,0005	0,003

Tabelle 13: Winterhalbjahr: Veränderungen der Überschreitungshäufigkeit des Thws bei einer Veränderung des MThw um +3 cm für die Pegel Robbensüdsteert, Nordenham, Brake und Vegesack. Rot markiert das Höhenniveau des MThws, gelb und blau die Sommerdeichhöhen.

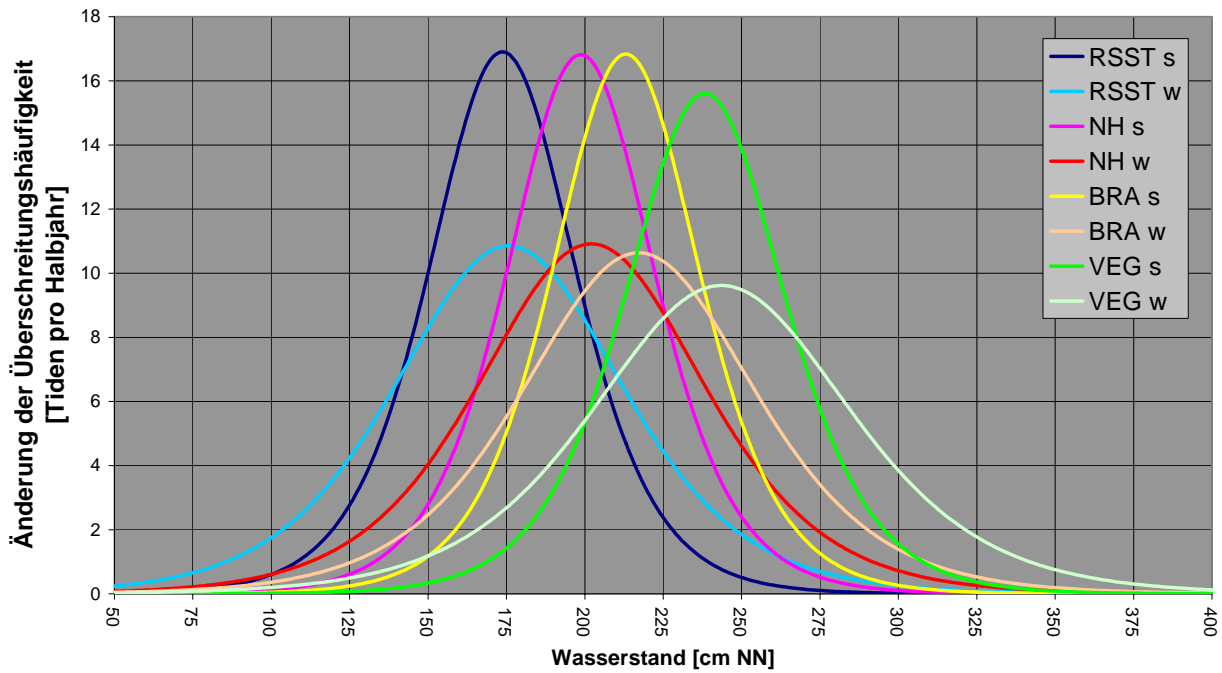


Abbildung 38: Veränderung der Überschreitungshäufigkeit angegeben in Tiden pro Halbjahr der Thw-Scheitelwasserstände bei einer ausbaubedingten Änderung des MThw um 3 cm für Sommer- und Winterhalbjahre.

Für die maßgeblichen Sommerdeichhöhen von 3,70 und 4,00 m über NN ergeben sich folgende Zunahmen:

Deichhöhe	3,70 m über NN		4,00 m über NN	
	Brake	Vege sack	Brake	Vege sack
Sommer	300 Jahre	40 Jahre	1000 Jahre	250 Jahre
Winter	11,5 Jahre	2,5 Jahre	40 Jahre	8 Jahre

Tabelle 14: Ausbaubedingte Zunahme der Überflutungshäufigkeit von Sommerdeichen im Sommer- und Winterhalbjahr für die Pegel Brake und Vege sack. Angabe des Zeitraums in Jahren für die Zunahme um 1 Tide. Veränderung des MThws um +3 cm.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Anhand unterschiedlicher Analyseansätze wurde die zeitliche Entwicklung der Scheitelwasserstände und ihrer Verteilung dargestellt und eine Zuordnung zu verschiedenen Baumaßnahmen versucht. Durch die Vielzahl an Baumaßnahmen und ihre Überlagerung, sowie die stochastische Überprägung mit meteorologischen Ereignissen ist eine exakte Zuordnung nicht möglich.

Die Veränderungen der Häufigkeiten von Tidehoch- und Tideniedrigwasserhöhen und der Überflutungs- und Trockenfallhäufigkeiten infolge der Anpassung von Außen- und Unterweser wurden anhand der Häufigkeitsverteilungen aus dem Zeitraum 1999 – 2003 und den im numerischen Modell ermittelten Wasserstandsveränderungen berechnet. Für Sommerdeiche mit einer Deichhöhe von 3,70 m über NN wurde eine Zunahme der Überflutungshäufigkeit von weniger als 1 Tide in 4 Jahren ermittelt. Für Vordeichsflächen, die nur leicht (0 – 50 cm) über MThw liegen, ergibt sich eine Zunahme der Überflutungshäufigkeit von 7 – 15% bzw. 27 – 8 Tiden pro Jahr. Bei einer Trennung von Sommer- und Winterhalbjahr zeigt sich, dass die Zunahme der Überflutungshäufigkeit der Sommerdeiche hauptsächlich im Winterhalbjahr liegt. Die Deichhöhe von 3,70 m über NN wird im Winter einmal mehr in 2,5 Jahren überflutet. Für das Sommerhalbjahr beträgt der Zeitraum für die Zunahme um eine Tide 40 Jahre. Alle Angaben beziehen sich auf den Pegel Vegesack und einen Anstieg des MThws um 3 cm. Für die übrigen Pegel sind die Veränderungen kleiner – in den meisten Fällen sogar deutlich kleiner.

Wattflächen fallen durch die ausbaubedingten Veränderungen häufiger trocken, wobei die Zunahme von der Höhenlage abhängt. Die stärkste Zunahme tritt bei einer Höhenlage von etwa MTnw -20 cm auf (plus 50 – 70 Tiden pro Jahr). Bei einer Höhenlage von MTnw liegt die Zunahme bei 40 – 50 Tiden pro Jahr, bei MTnw +20 cm bei 15 – 25 Tiden pro Jahr.

Der Sielbetrieb erhält durch die Wasserstandsveränderungen günstigere Bedingungen für Be- und Entwässerung.

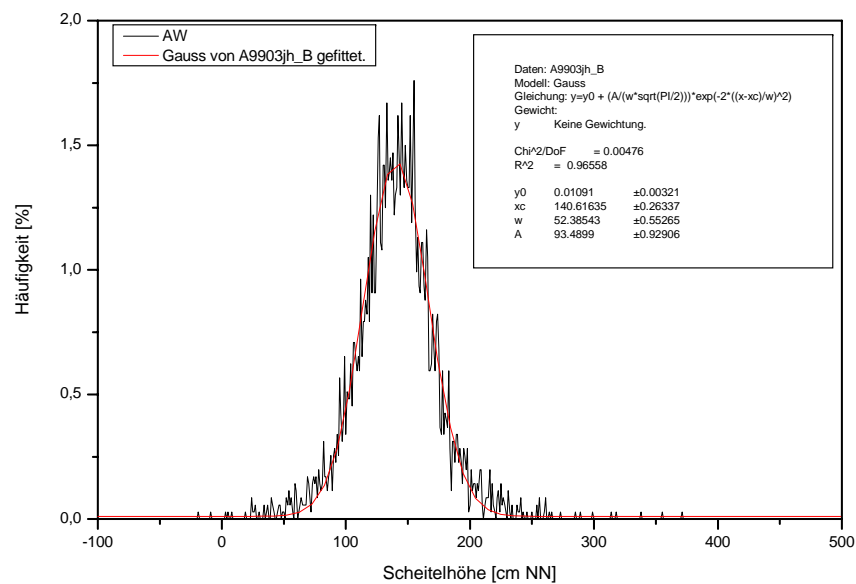
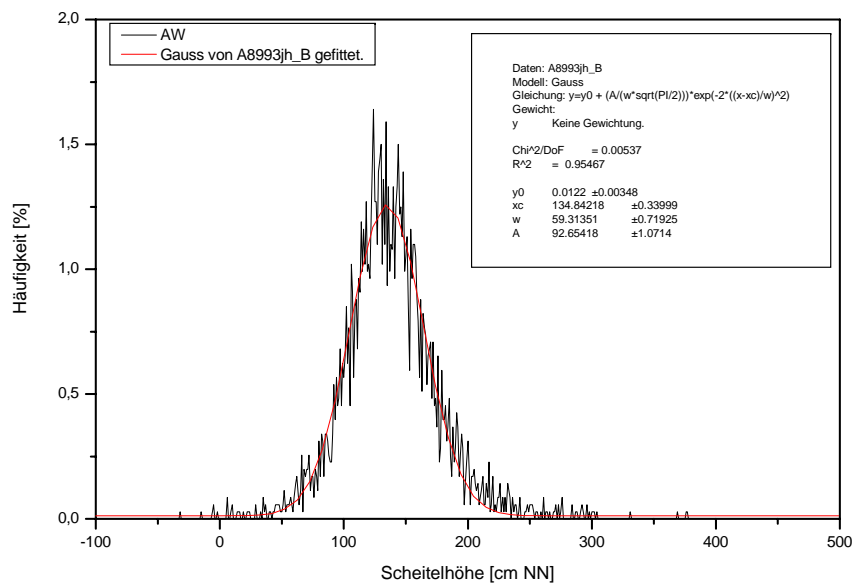
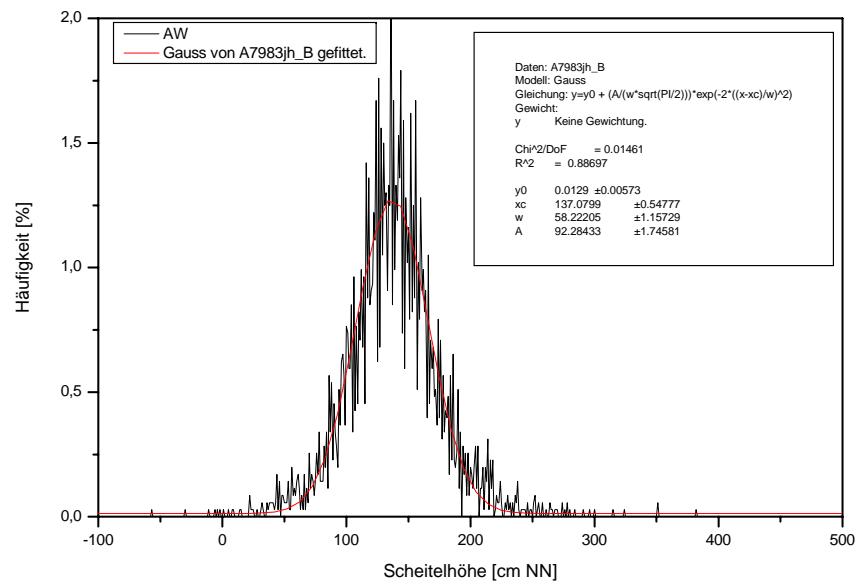
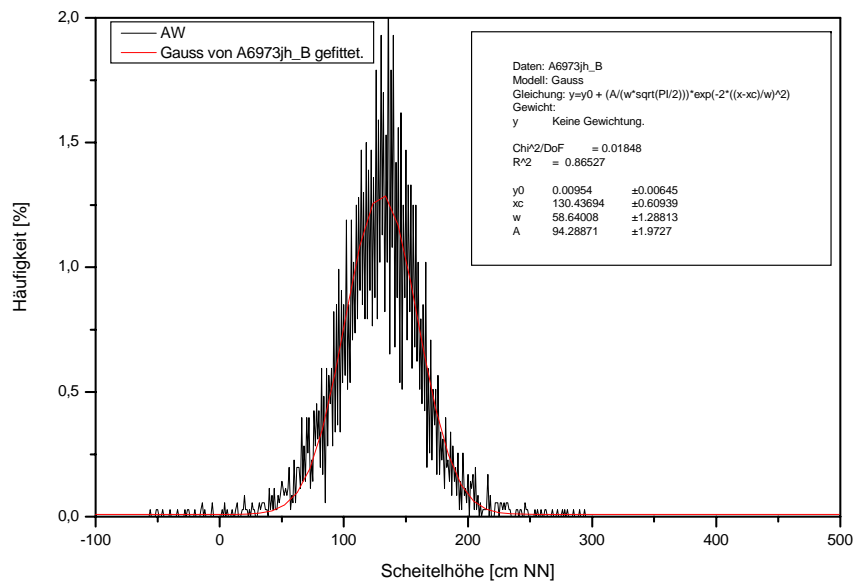
Für Bauwerke, deren Standsicherheit von ausreichend hohen Wasserständen abhängt, sind z.B. bei einem kritischen Niveau von MTnw -1 m weniger als 1 Tide pro Jahr zusätzlich betroffen. Zu tieferen Niveaus nimmt die Zunahme schnell ab.

### **Aufgestellt:**

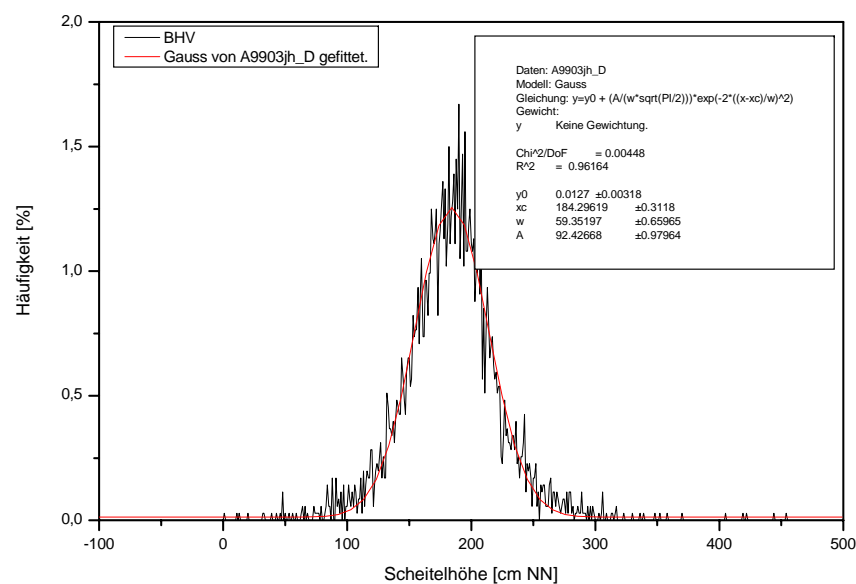
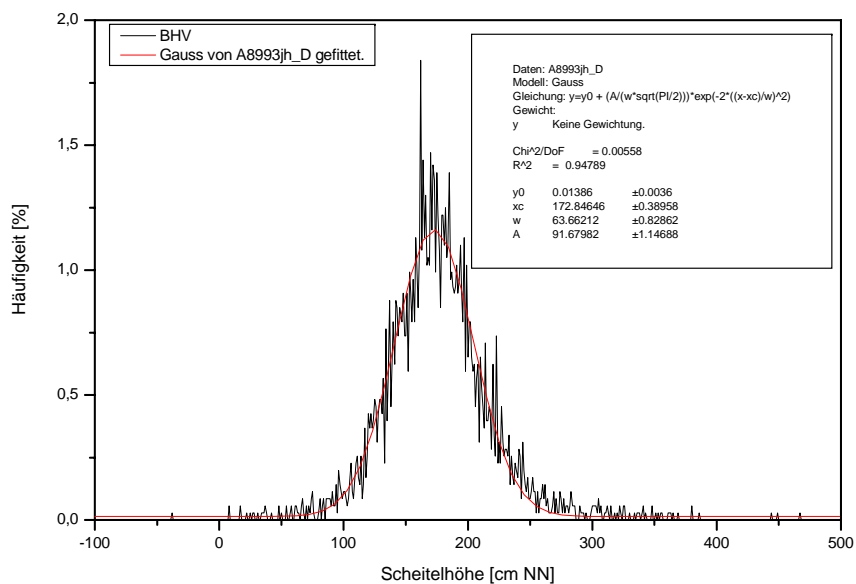
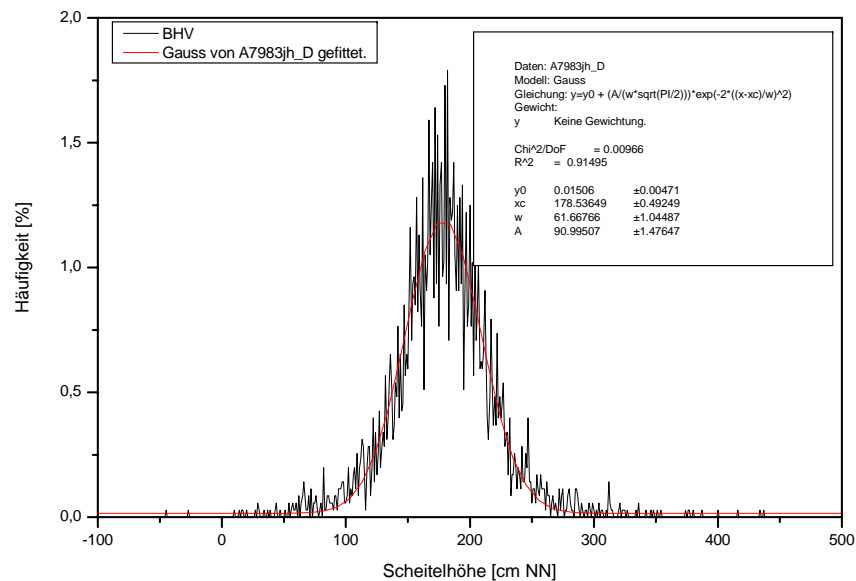
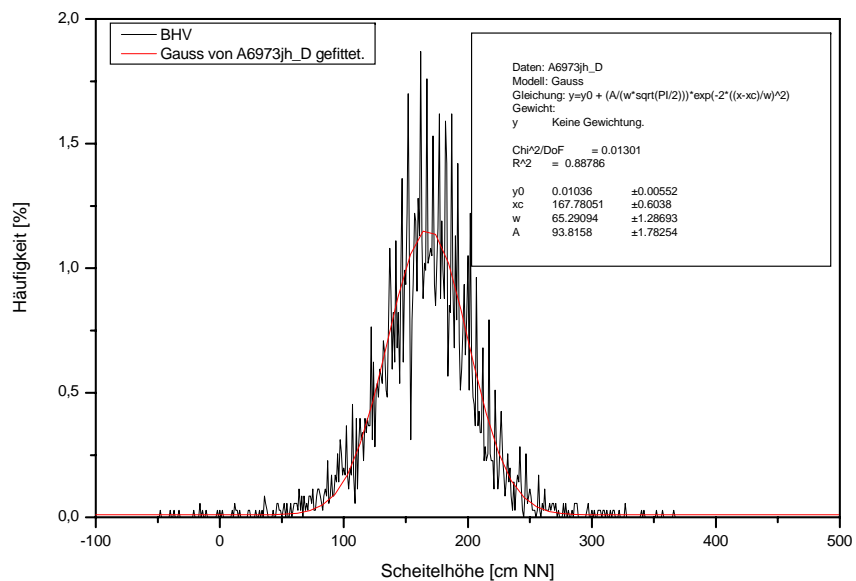
Bremerhaven, Dezember 2005

.....  
Dr. D. Lange

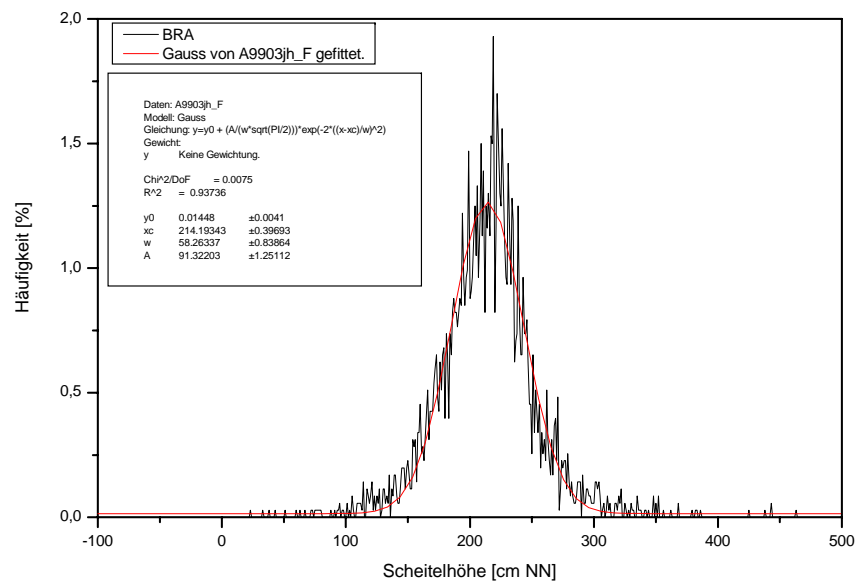
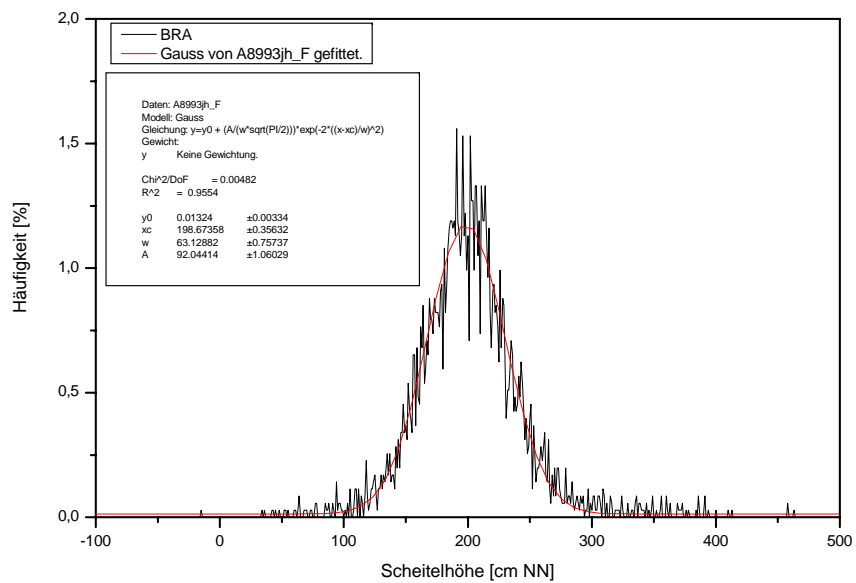
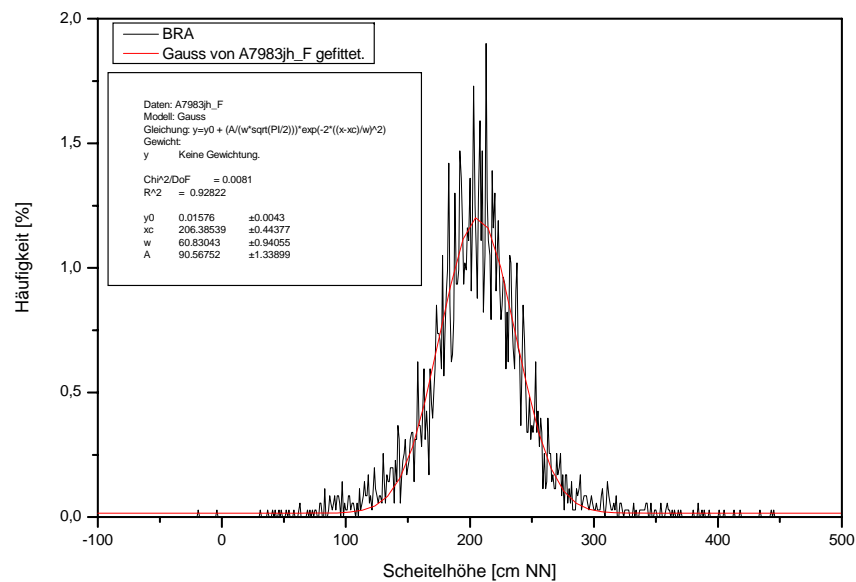
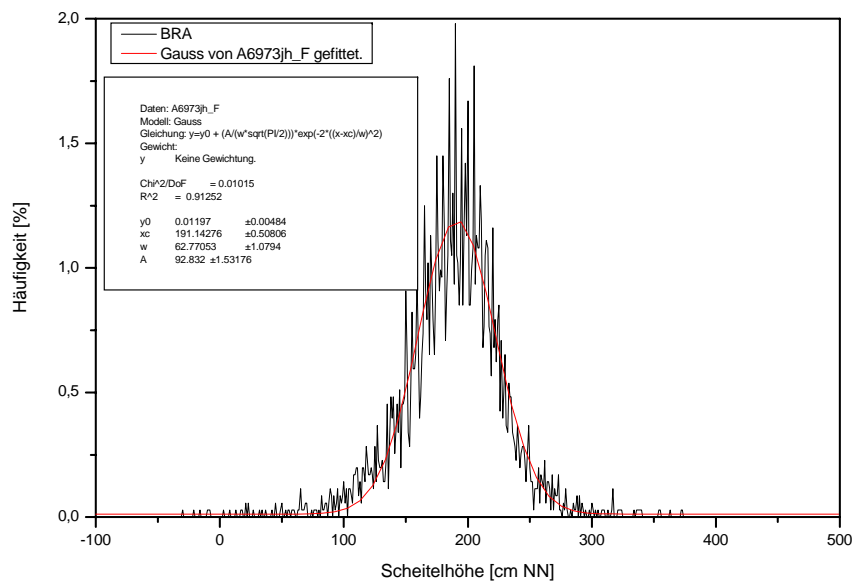
Anlage 1: Häufigkeitsverteilung Alte Weser Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



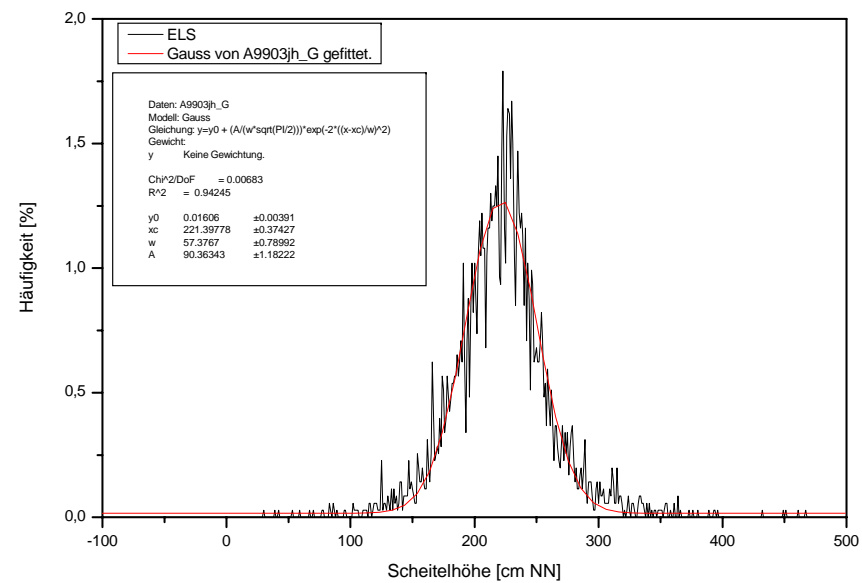
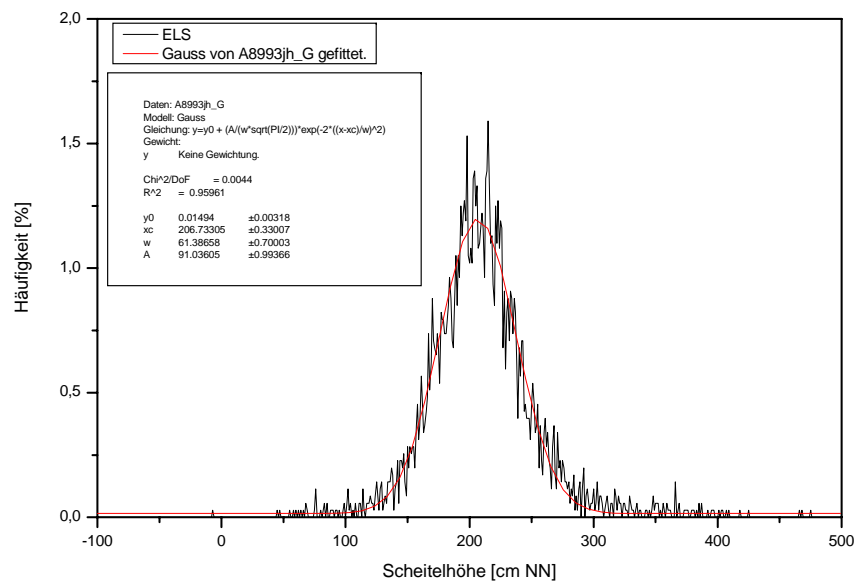
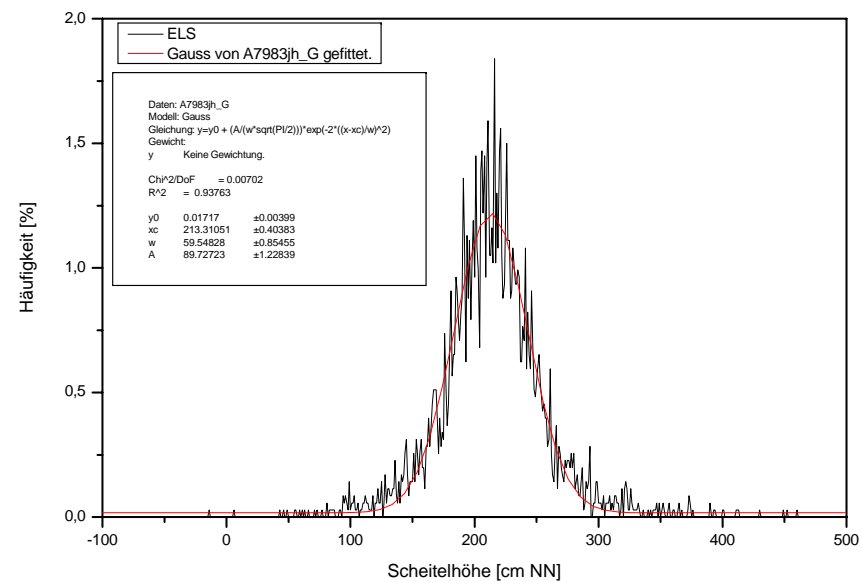
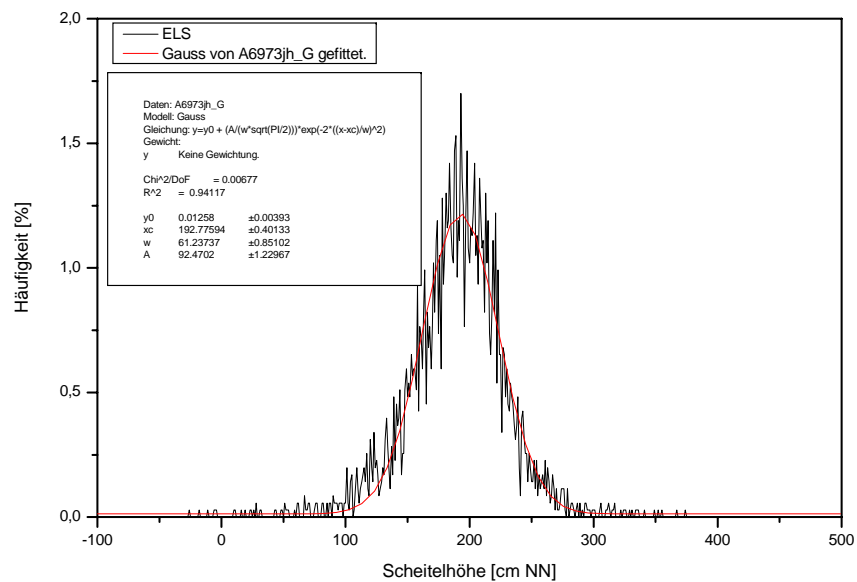
## Anlage 2: Häufigkeitsverteilung Bremerhaven Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



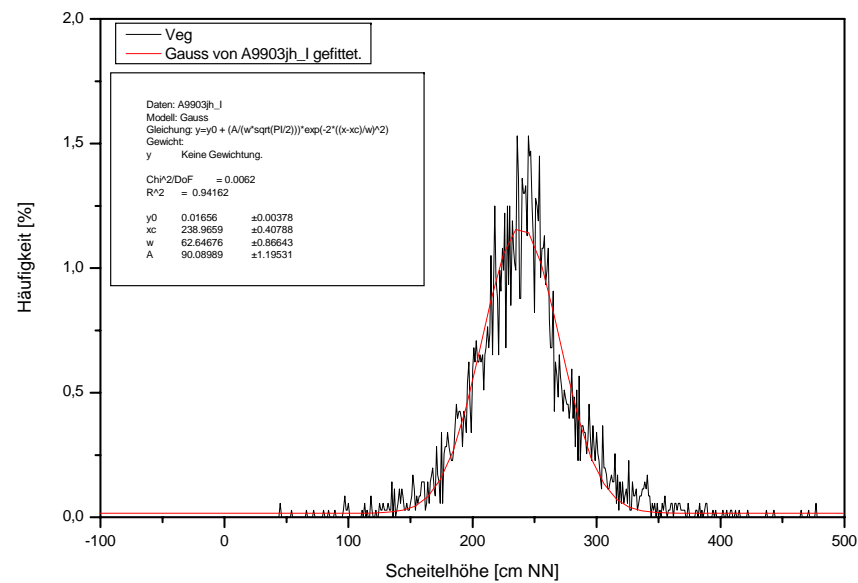
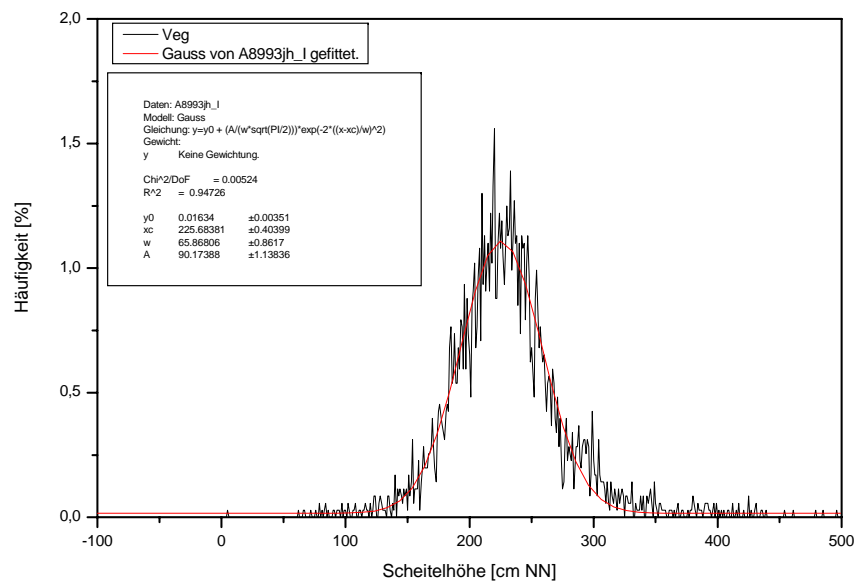
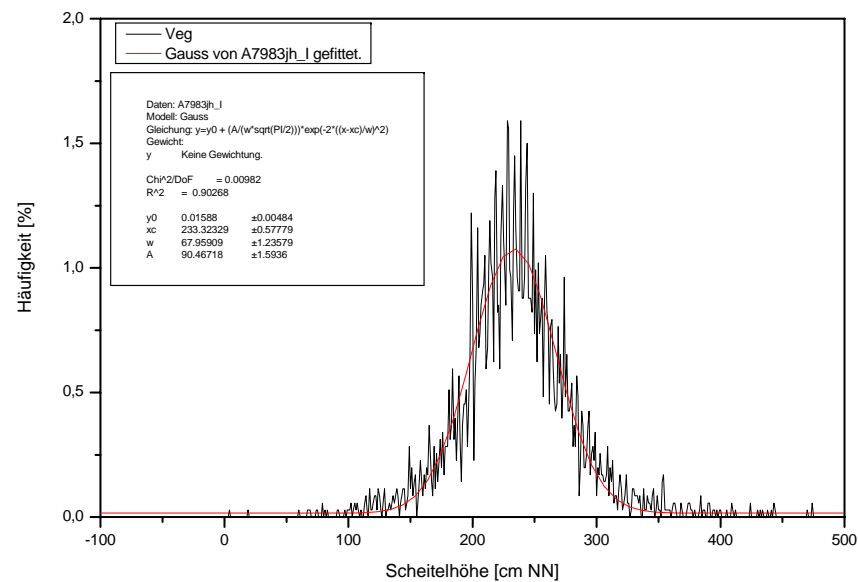
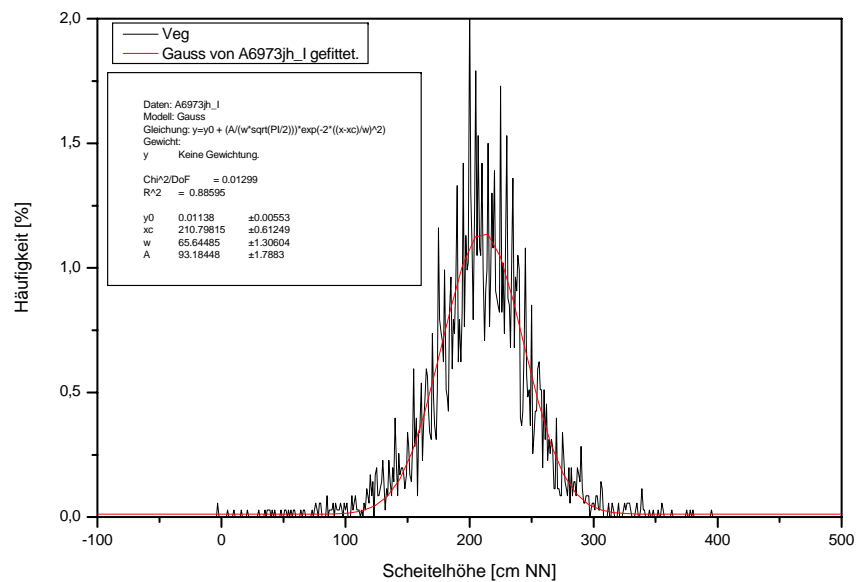
### Anlage 3: Häufigkeitsverteilung Brake Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



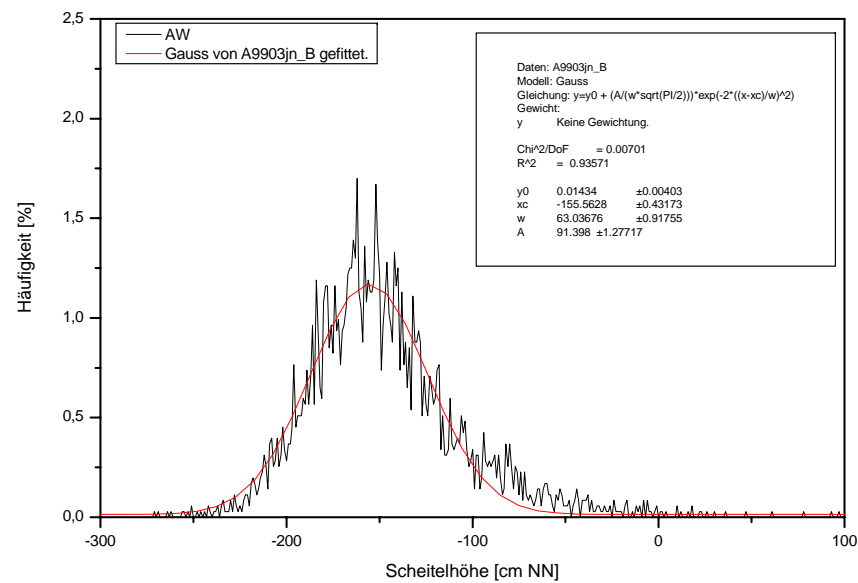
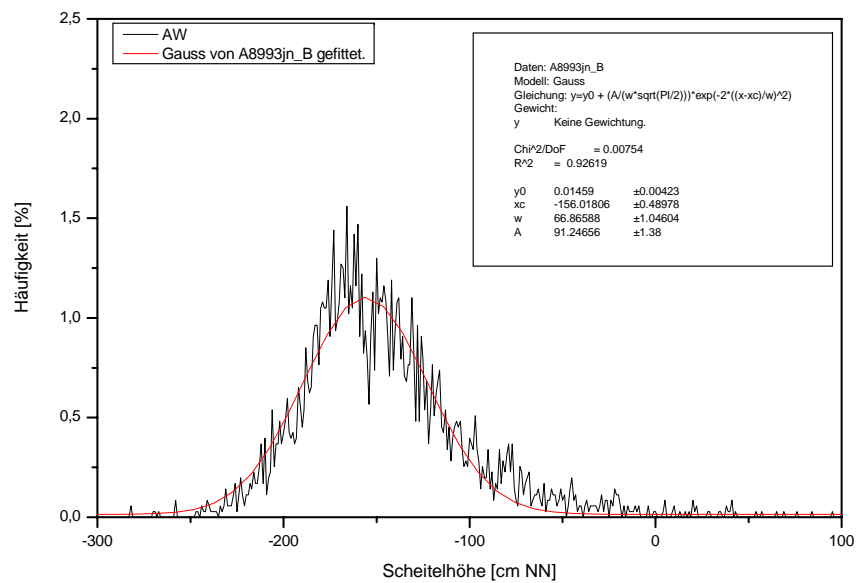
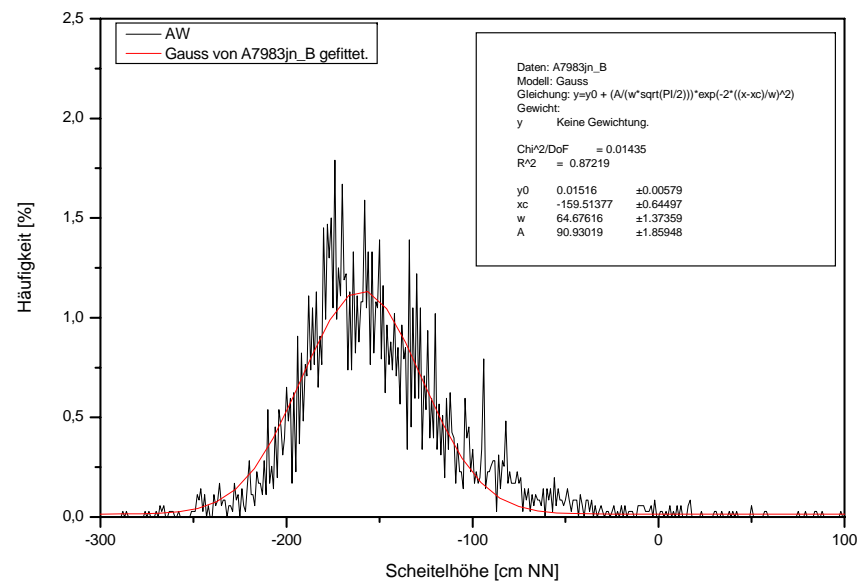
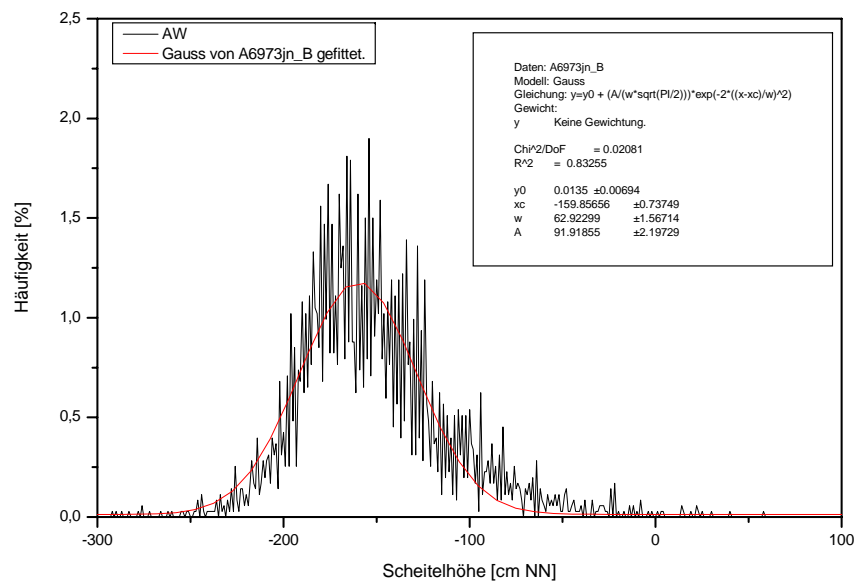
### Anlage 4: Häufigkeitsverteilung ELSfleh Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



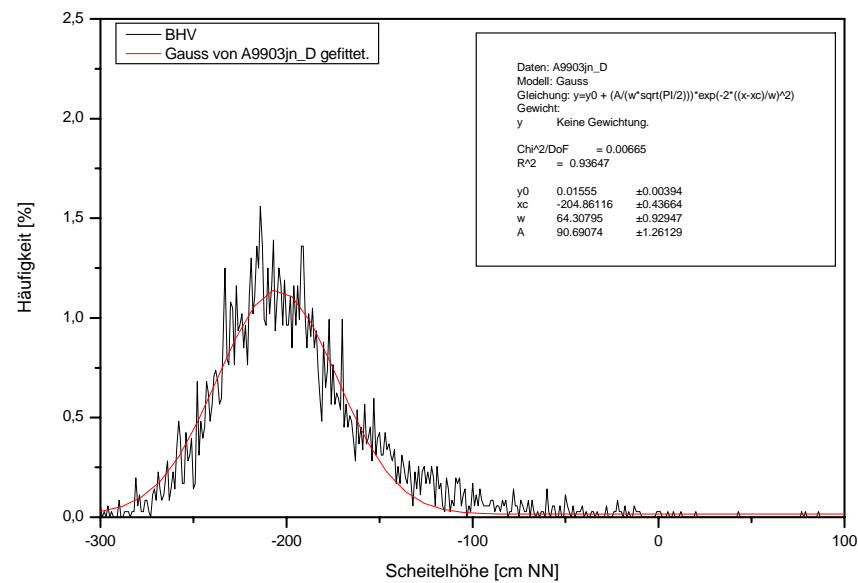
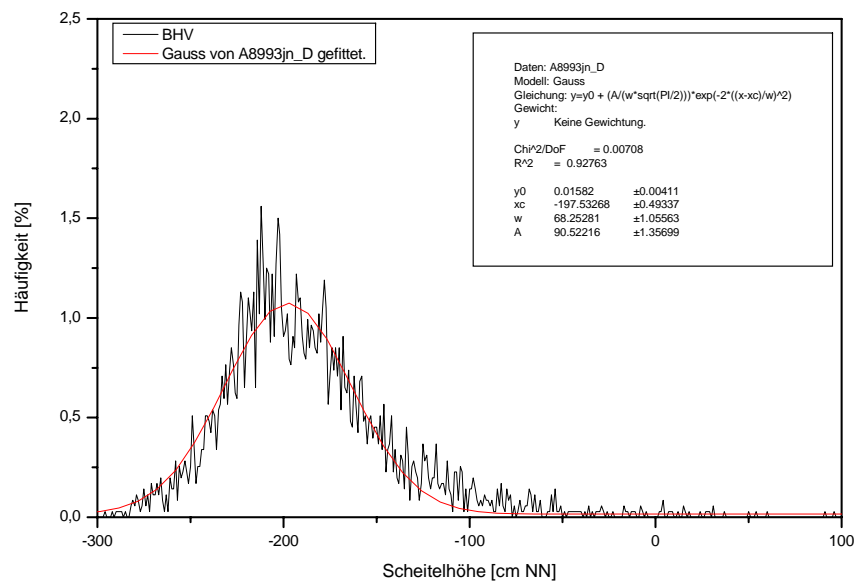
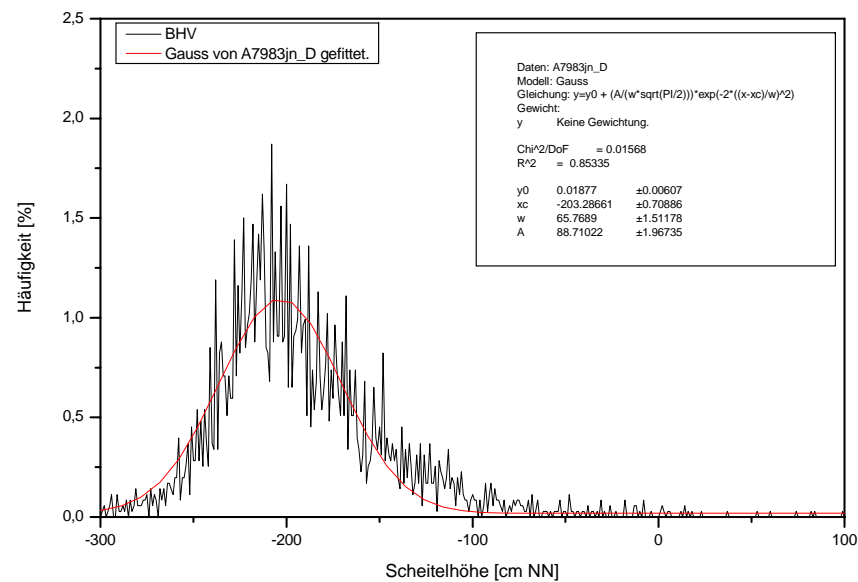
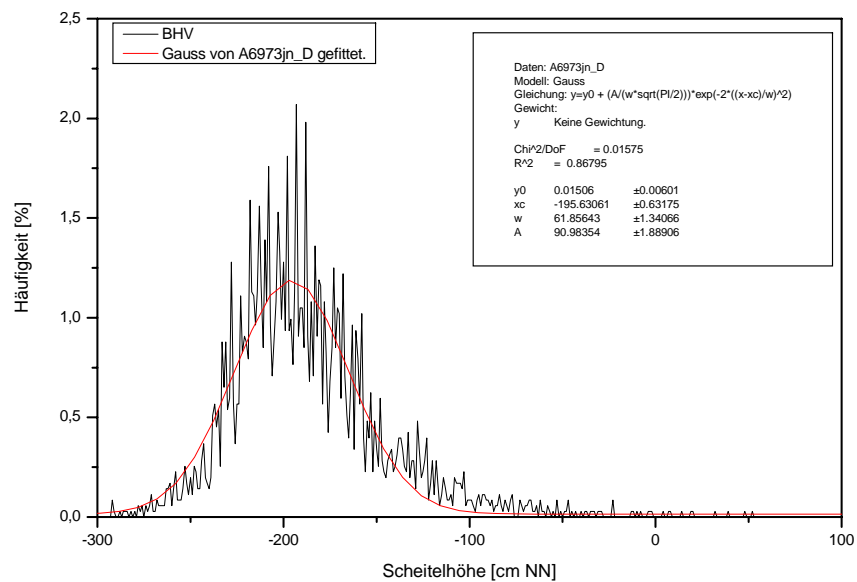
### Anlage 5: Häufigkeitsverteilung Vegesack Thw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



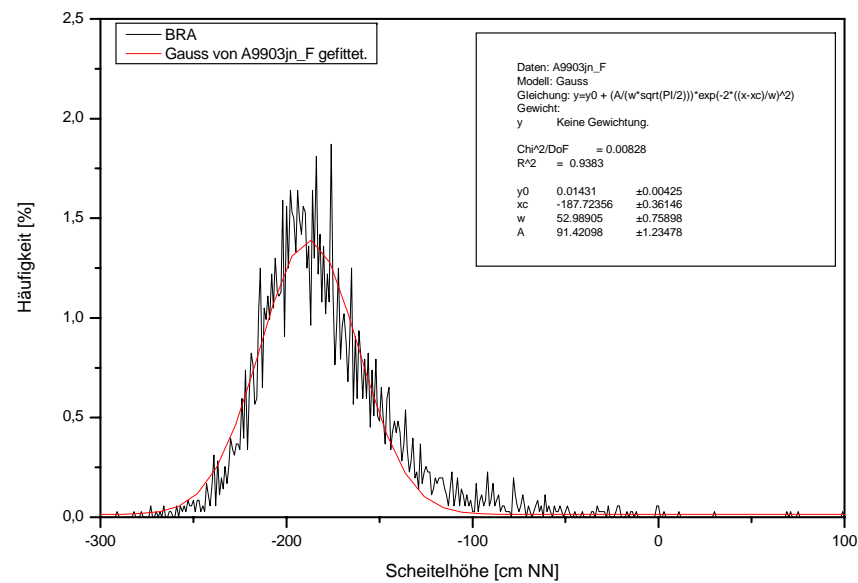
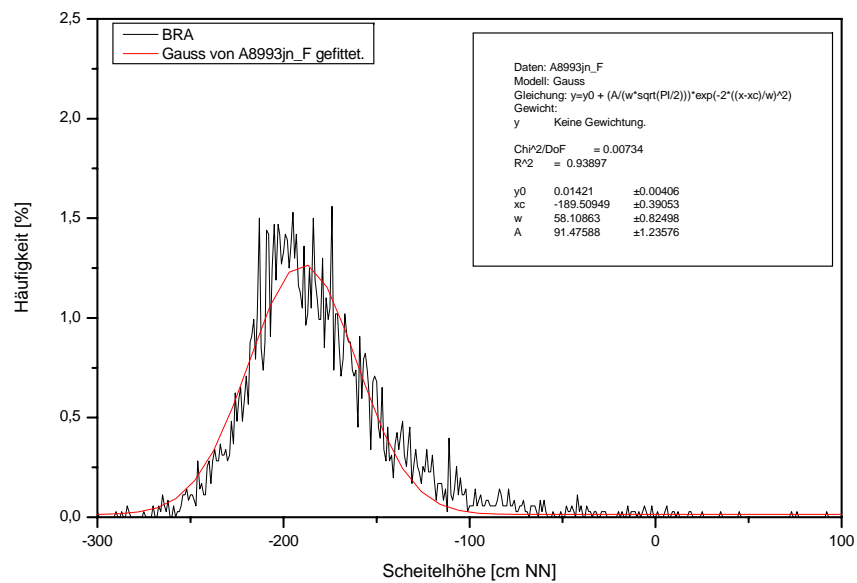
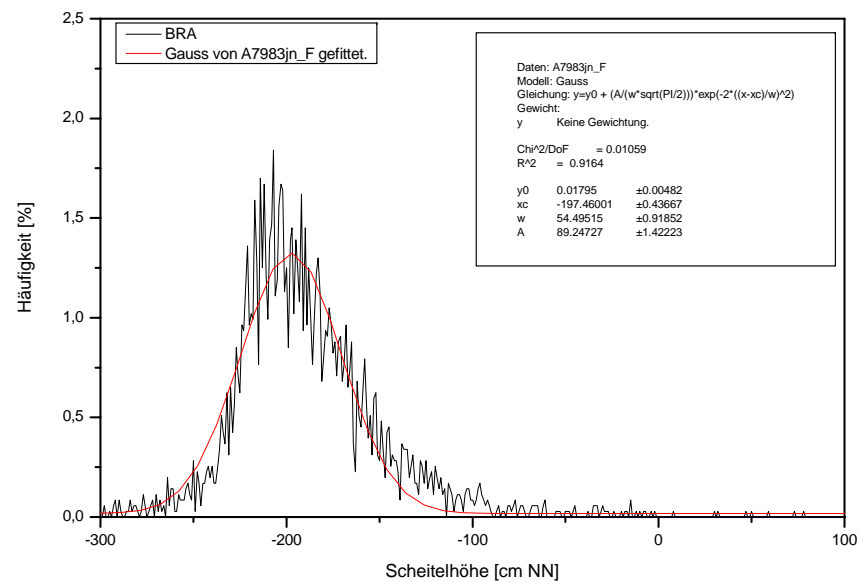
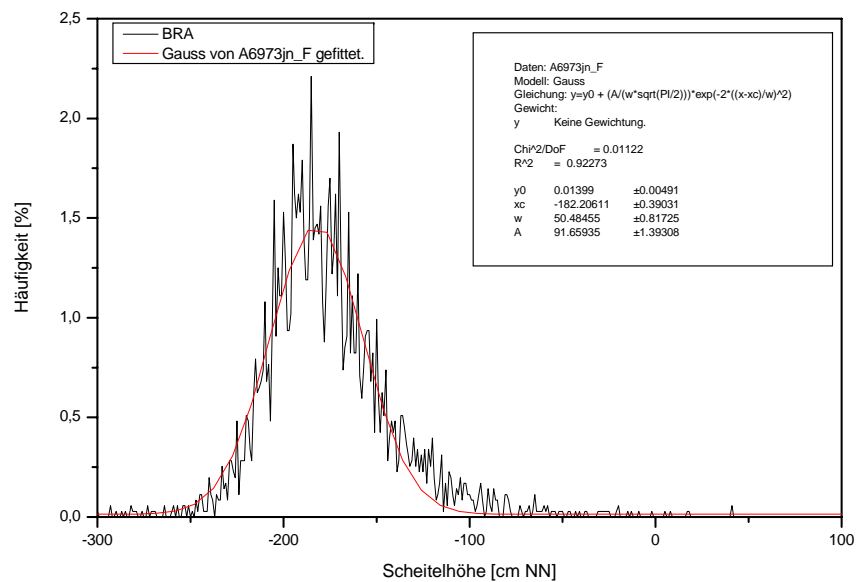
### Anlage 6: Häufigkeitsverteilung Alte Weser Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



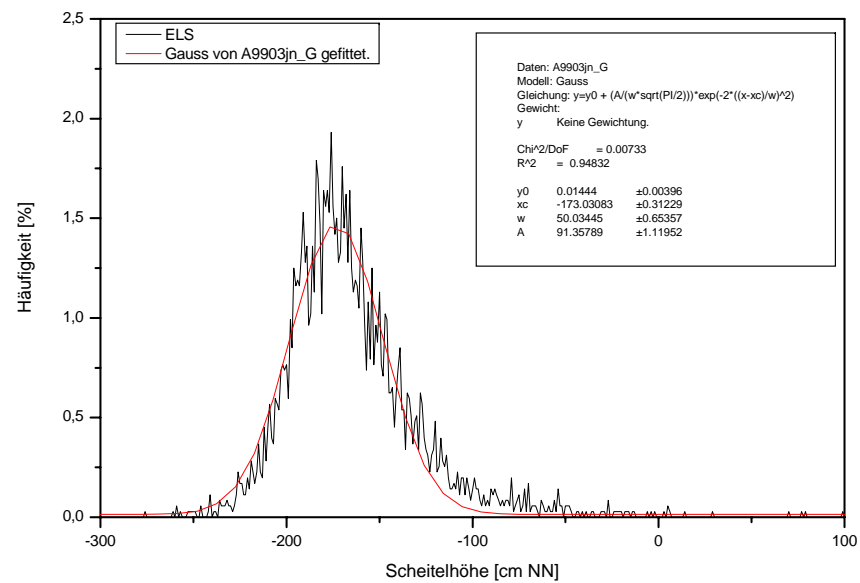
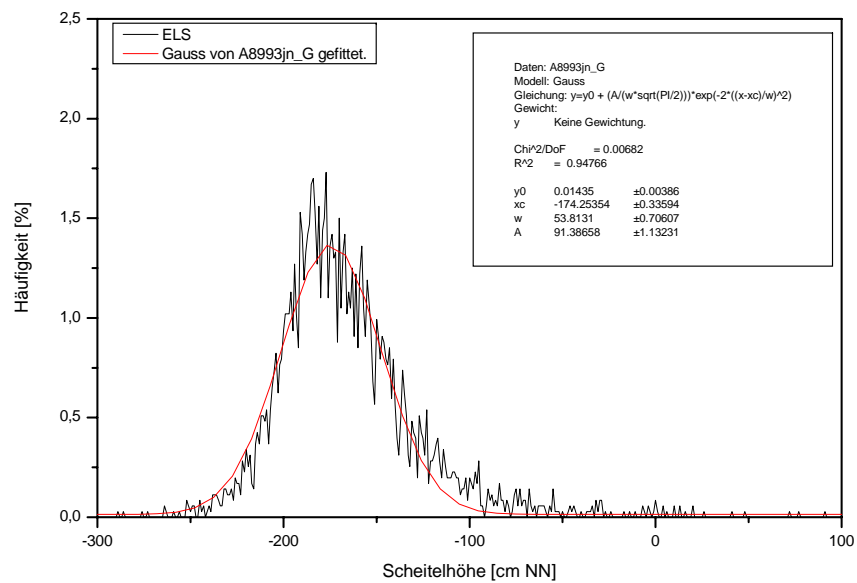
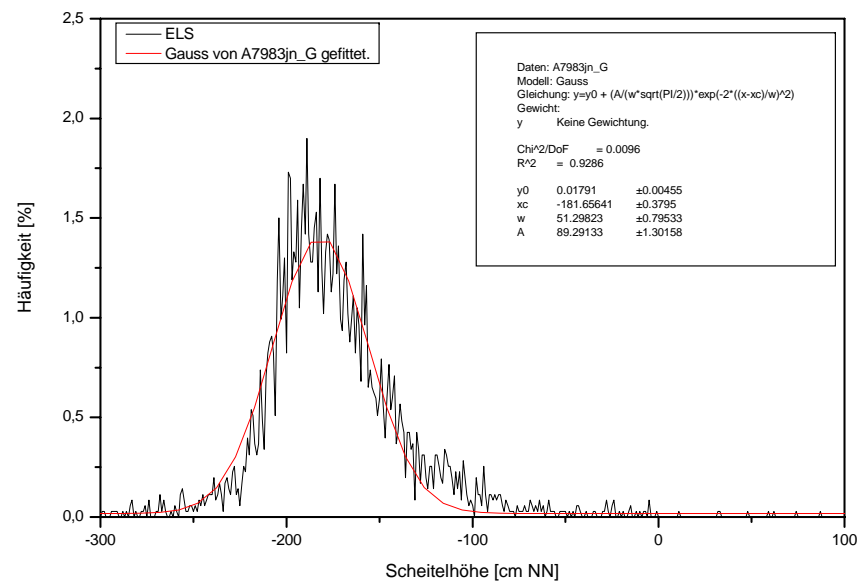
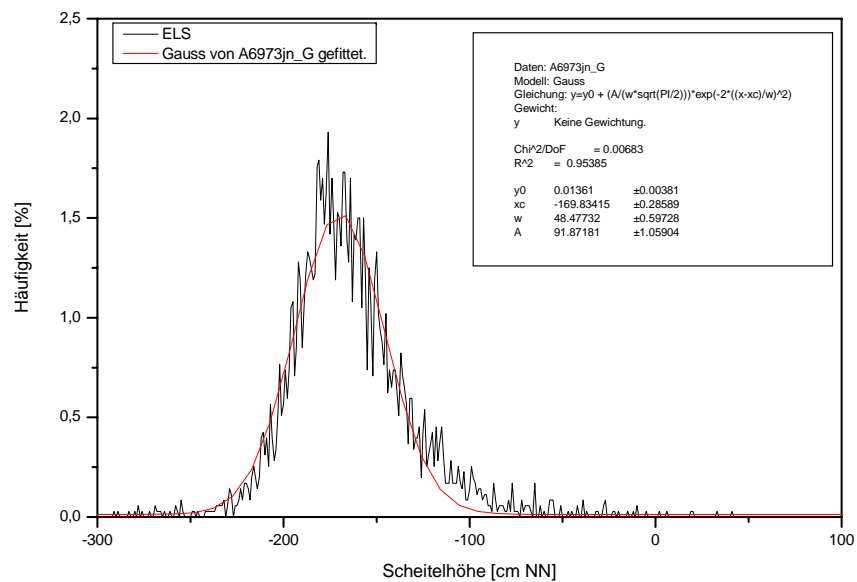
# Anlage 7: Häufigkeitsverteilung Bremerhaven Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



### Anlage 8: Häufigkeitsverteilung Brake Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



### Anlage 9: Häufigkeitsverteilung ELSfleth Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.



### Anlage 10: Häufigkeitsverteilung Vegesack Tnw für die 5-Jahres-Zeiträume 1969-73, 1979-83, 1989-93 und 1999-2003.

