

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 - 6

**Fahrrinnenanpassung der
Unter- und Außenweser**

Änderung der Sielzugverhältnisse

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

Dezember 2005



Projektgruppe Weseranpassung



1. INHALT

1.1 Inhaltsverzeichnis

1. INHALT	2
1.1 INHALTSVERZEICHNIS	2
1.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
1.3 TABELLENVERZEICHNIS	3
2. VERLASSUNG UND ZIELE	4
3. EINLEITUNG	4
4. VERÄNDERUNG DES ZEITFENSTERS FÜR ENT- UND BEWÄSSERUNG	6
5. VERÄNDERUNG DER WASSERSTANDSDIFFERENZ FÜR ZU- UND ENTWÄSSERUNG	14
6. ÜBERTRAGUNG DER ERGEBNISSE DER VORIGEN KAPITEL AUF EINE AUSWAHL VON SIELEN	20
7. ERMITTLUNG DES ABFLUSSES UND SEINER AUSBAUBEDINGTEN VERÄNDERUNGEN	22
8. ERMITTLUNG DES SALZEINTRAGES BEI ZUWÄSSERUNG UND SEINER AUSBAUBEDINGTEN VERÄNDERUNGEN	22
9. ZUSAMMENFASSUNG	22

1.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Sielen an der Unterweser	5
Abbildung 2: Form der verwendeten Tidekurven am Beispiel des Pegels Nordenham	6
Abbildung 3: Veränderung der mittleren Tidekurve infolge der ermittelten Ausbauänderungen am Beispiel des Pegels Nordenham	7
Abbildung 4: Zu- und Entwässerungsdauern für den Bezugspegel Nordenham für verschiedene Tidekurven	8

1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beziehung zwischen den verwendeten NN-Höhen und dem MThw bzw. MTnw für die verwendeten Pegel Nordenham – Farge	8
Tabelle 2: Bezugspegel Nordenham: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual	9
Tabelle 3: Bezugspegel Rechtenfleth: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual	10
Tabelle 4: Bezugspegel Brake: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual	11
Tabelle 5: Bezugspegel Elsfleth: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual	12
Tabelle 6: Bezugspegel Farge: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual	13
Tabelle 7: Bezugspegel Nordenham: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen und das Integral der Wasserstandsdifferenzen	15
Tabelle 8: Bezugspegel Rechtenfleth: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen und das Integral der Wasserstandsdifferenzen	16
Tabelle 9: Bezugspegel Brake: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen und das Integral der Wasserstandsdifferenzen	17
Tabelle 10: Bezugspegel Elsfleth: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen und das Integral der Wasserstandsdifferenzen	18
Tabelle 11: Bezugspegel Farge: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen und das Integral der Wasserstandsdifferenzen	19
Tabelle 12: Binnenwasserstände für eine Auswahl von Sielen an der Unterweser	20
Tabelle 13: Ausbaubedingte Veränderungen der möglichen Ent- und Zuwässerungszeiten für eine Auswahl von Sielen an der Unterweser	20
Tabelle 14: Ausbaubedingte Veränderungen der mittleren Höhendifferenzen und summierten Höhendifferenzen während der Ent- und Zuwässerungszeiten für eine Auswahl von Sielen an der Unterweser	21

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 Verschlechterung des Sielbetriebes mit Zu- und Entwässerung kommen wird. Neben dem eigentlichen Wasseraustausch sind der vermehrte Eintrag von Salz und Schwebstoffen in das Grabensystem die Hauptbefürchtungen.

Außerdem wurde im Rückblick auf die vergangenen Verfahren geäußert, dass es schon in den letzten Jahrzehnten zu einer Zunahme des Salzeintrages in die Gräben und einer Verschlickung der Außentiefs, Binnentiefs und der anschließenden Grabensysteme gekommen sei. Dies habe zur Folge gehabt, dass zum Einen das Wasser nicht oder nur bedingt zur Viehtränke genutzt werden könne, zum Anderen der Abfluss nicht mehr vollständig gewährleistet sei und die Räumkosten sich erhöht hätten.

Anhand von Pegeldata (Tidekurven) sollen Aussagen zu dem Problemfeld Zu- und Entwässerung gemacht werden. Hierzu beschäftigt sich diese Studie gezielt mit der Veränderung der Zeitfenster und der Höhendifferenzen zwischen Binnen- und Außenwasserstand.

3. EINLEITUNG

Die geplante Anpassung der Unter- und Außenweser wirkt sich durch Veränderung der Tidekenngrößen auch auf die Zu- und Entwässerungsbedingungen an den Sielen in der Unterweser aus. Durch umfangreiche hydronumerische Modelluntersuchungen wurden von der Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg folgende Veränderungen als Maximalwerte ermittelt:

Anstieg des MThw um 3 cm
Absenk des MTnw um 6 cm
Zunahme des MThb um 9 cm

Diese Werte treten im oberstromigen Bereich der Unterweser (Farge – Bremen) auf und werden bei der Untersuchung möglicher ausbaubedingter Änderungen für den Betrieb der Siele als „worst case“ zugrunde gelegt.

Im Bereich der Unterweser gibt es eine größere Anzahl von Sielen (vgl. Abbildung 1), die über weitverzweigte Grabensysteme das umliegende Gebiet ent- und bewässern. Für die Siele gibt es Betriebspläne, die bestimmte Sollhöhen des Binnenwasserstandes vorgeben und daraus folgend die Durchführung von Zu- oder Entwässerungen bestimmen, wobei durch den Einsatz von Stemm- oder Hubtoren sowie Pumpen die Durchflussmenge vom Sielwärter gesteuert werden kann.

In dieser Studie werden die theoretischen Veränderungen der Betriebsbedingungen für die Siele (mögliche Dauer des Sielzugs und der Wasserstandsdifferenzen) durch die oben angeführten Veränderungen der Tidekennwerte berechnet und im konkreten Fall auf eine Auswahl von Sielen übertragen.

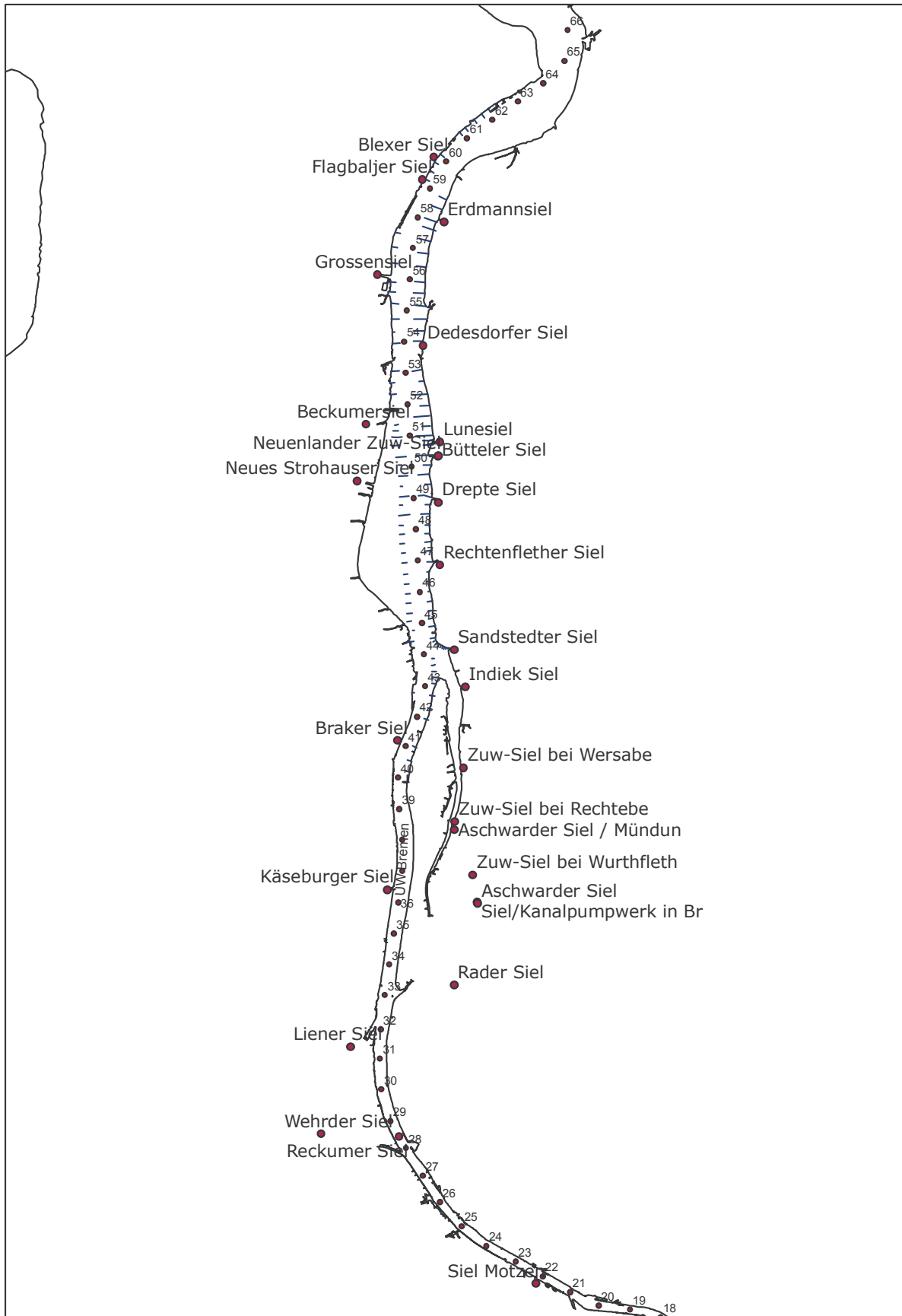


Abbildung 1: Lage der Siele an der Unterweser

4. VERÄNDERUNG DES ZEITFENSTERS FÜR ENT- UND BEWÄSSERUNG

Im ersten Schritt wird nur die Veränderung des Zeitfensters betrachtet, die sich durch die ausbaubedingte Verformung der Tidekurve ergibt. Für die 5 Pegel Nordenham, Rechtenfleth, Brake, Elsfleth und Farge werden jeweils 6 verschiedene Tidekurven betrachtet:

- a) Ganglinie mit mittleren Scheitelhöhen
- b) Ganglinie mit Springhöhen (MThw +20 cm, MTnw -20 cm)
- c) Ganglinie mit Nipphöhen (MThw -20 cm, MTnw +20 cm)
- d) Ganglinie mit mittlerem Tidehub durch Oberwasser / Wind um 50 cm versetzt
- e) Ganglinie mit mittlerem Tidehub durch Oberwasser / Wind um 100 cm versetzt
- f) Sturmtide (MThw +250 cm, MTnw +100 m)

Die Kurve a stellt eine tatsächlich gelaufene Tidekurve dar, die durch eine leichte Veränderung der Eintrittszeiten und Scheitelhöhen auf mittlere Flut- und Ebbedauern und mittlere Tidehoch- und -niedrigwasserscheitel eingestellt wurde. Die übrigen Tidekurven b – f wurden durch eine Höhenskalierung oder eine Höhenverschiebung aus der mittleren Tidekurve generiert. Die Höhenskalierung wurde durch eine lineare Zunahme des Änderungsbetrages vom Mittelwasser aus bis zum Maximalwert, der bei den Scheitelwasserständen erreicht wird, realisiert. Der Kurvenverlauf ist am Beispiel des Pegels Nordenham in Abbildung 2 dargestellt.

Eine Veränderung der Flut- und Ebbedauern wurde nicht vorgenommen, da die Veränderungen bei der hier gewählten Genauigkeit nicht abgebildet werden können. Die von der BAW – DH ermittelten Veränderungen liegen bei maximal +2 min für die Flutdauer und –2 min für die Ebbedauer. Der mittlere Wasserstand über eine Tide verändert sich durch die Verschiebung der Eintrittszeiten in dieser Größenordnung um weniger als 1 mm.

Für jede dieser 6 Kurven wurde eine Ganglinie mit den oben angegebenen ausbaubedingten Änderungsbeträgen in beschriebener Weise durch Höhenskalierung berechnet. In Abbildung 3 ist der höhenabhängige Änderungsbetrag für die mittlere Tidekurve und die mittlere Tidekurve mit und ohne Ausbauänderung dargestellt.

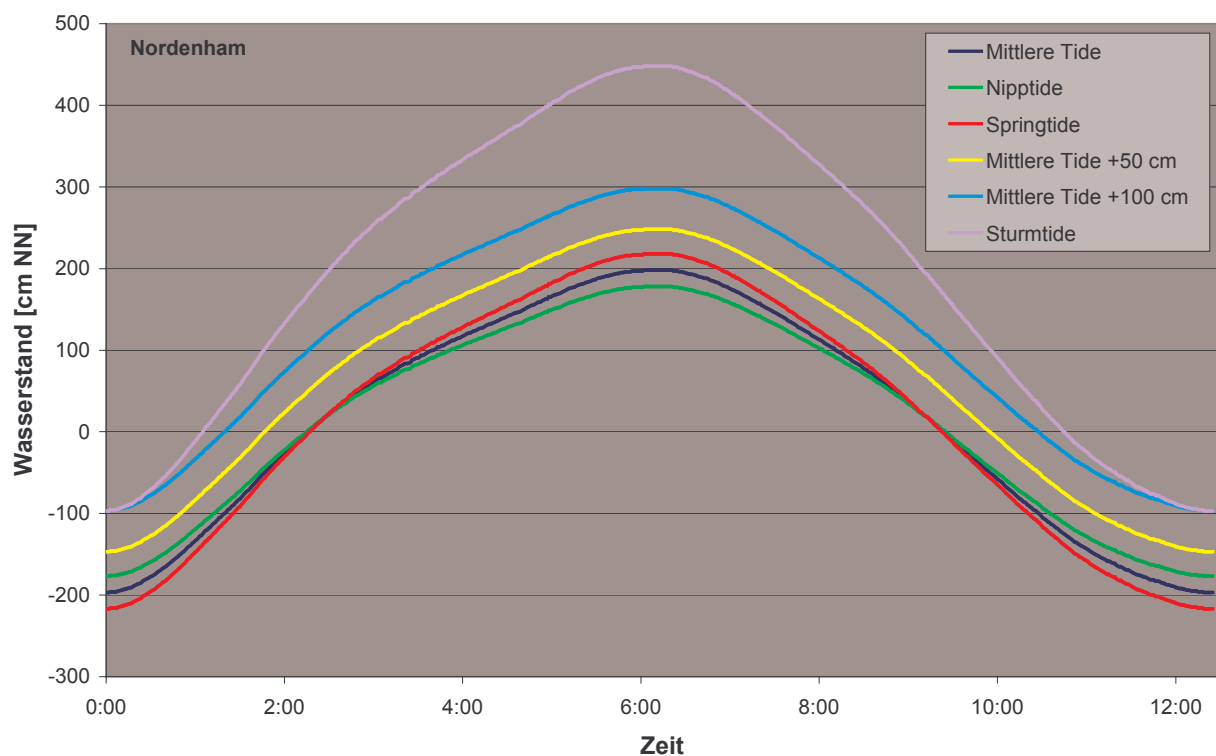


Abbildung 2: Form der verwendeten Tidekurven am Beispiel des Pegels Nordenham.

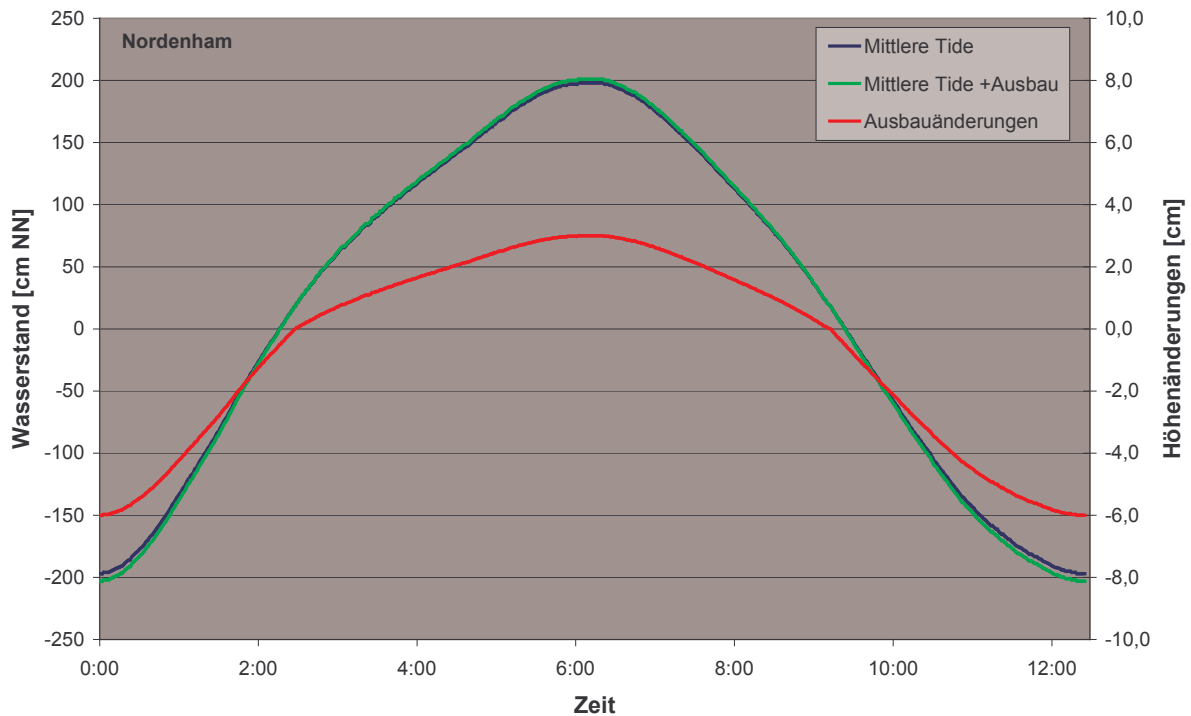


Abbildung 3: Veränderung der mittleren Tidekurve infolge der ermittelten Ausbauänderungen am Beispiel des Pegels Nordenham.

Das theoretische Zeitfenster für die Ent- und Bewässerung ergibt sich aus der Höhenlage des Binnenwasserstandes und der Wasserstandshöhe der Tidekurve. Liegt der Binnenwasserstand über dem Wasserstand der Tidekurve kann entwässert werden, liegt er darunter kann zugewässert werden. Eine Veränderung des Binnenwasserstandes durch die Ent- und Bewässerung wird bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Für die 6 Paare von Tidekurven werden für Binnenwasserstände zwischen $-1,75$ m NN und $+2,00$ m NN mit einer Abstufung von 25 cm durch Abzählen der Minuten die jeweiligen Zeitfenster der Sielzeiten ermittelt.

Durch die Tidedauer liegt das maximale Zeitfenster bei 746 min, d.h. es ist über die gesamte Tide Zu- oder Entwässerung möglich. In Abbildung 4 sind die Längen der Zeitfenster am Beispiel des Bezugspegels Nordenham für die verschiedenen Kombinationen aus Tidekurve und Binnenwasserstand grafisch aufbereitet. In Tabelle 2 - Tabelle 6 sind für die 5 Pegel die Zeitfenster vor und nach Ausbau und die absolute und prozentuale Veränderung aufgelistet. Eine Verkleinerung des Zeitfensters wird durch eine blaue Hinterlegung, eine Vergrößerung durch eine orange und keine Veränderung durch eine grüne angezeigt. Verhältnisse, bei denen keine Veränderungen auftreten, weil sie nicht möglich sind (Zeitfenster von 0 bzw. 746 min), sind blass gelb und grün hinterlegt. Die Färbung wurde zur besseren Orientierung auch auf die entsprechenden Zeitfenster vor und nach Ausbau übertragen. Bei Ist-Zeitfenstern von 0 min lassen sich keine prozentualen Änderungen berechnen. Die Felder, die dies betrifft, sind mit einem Strich versehen.

Die Veränderungen des Zeitfensters liegen in der Größenordnung von wenigen Minuten. Größere Änderungen des Zeitfensters von bis zu 20 - 30 min ergeben sich in den Fällen, in denen durch die oben angegebenen Wasserstandsveränderungen der Bereich um den Scheitelwasserstand hinzukommt oder wegfällt.

Bei der Zuwässerung treten Verkürzungen des Zeitfensters bei niedrigen Binnenwasserständen ($-1,75$ – $+0,25$ mNN, bei Sturmfluten bis $+1,75$ m NN) auf, bei denen aber das Zeitfenster größer

als 7 h ist. Bei höheren Wasserständen vergrößert sich das Zeitfenster. Zur Einordnung der NN-Höhen in die Tidekurve sind in Tabelle 1 für einen Teil der verwendeten NN-Höhen die entsprechenden Höhen bezogen auf MThw und MTnw angegeben.

Bei der Entwässerung kehren sich die Verhältnisse um. Bei niedrigen Binnenwasserständen vergrößert sich das Zeitfenster, bei hohen verkürzt es sich. Die Verkürzung tritt aber wiederum bei Bedingungen ein, bei denen bereits ein großes Zeitfenster vorhanden ist.

Als Schlussfolgerung ergibt sich hieraus für die Zu- und Entwässerung, dass für Bedingungen, bei denen zur Zeit nur kürzere Zeitfenster zur Verfügung stehen eine Vergrößerung der Zeitfenster erfolgt. Eine Verkürzung der Zeitfenster erfolgt für Verhältnisse mit aktuell langen Zeitfenstern.

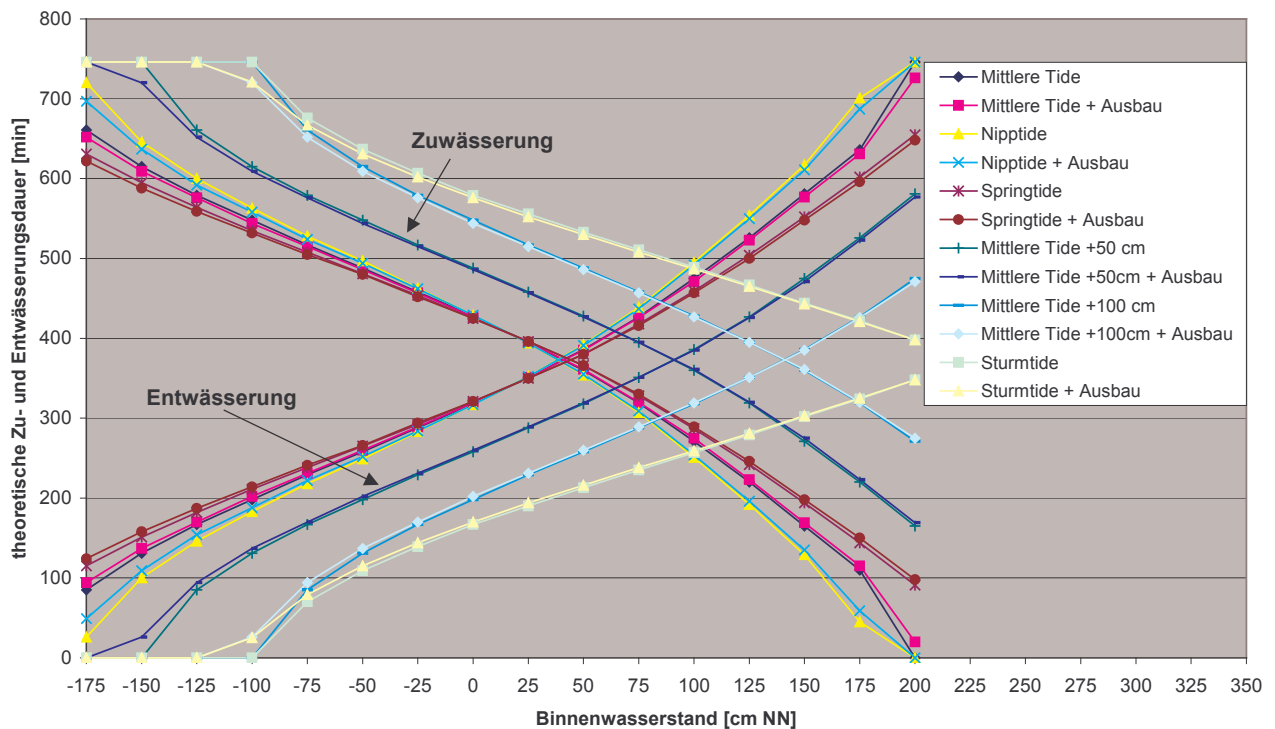


Abbildung 4: Zu- und Entwässerungsdauern für den Bezugspegel Nordenham für verschiedene Tidekurven.

NN-Höhe [cm]		Nordenham	Rechtenfleth	Brake	Elsfleth	Farge
-175	cm bezogen auf MThw	-373	-379	-388	-396	-402
-100		-298	-304	-313	-321	-327
0		-198	-204	-213	-221	-227
100		-98	-104	-113	-121	-127
175		-23	-29	-38	-46	-52
-175	cm bezogen auf MTnw	22	9	3	-10	-19
-100		97	84	78	65	56
0		197	184	178	165	156
100		297	284	278	265	256
175		372	359	353	340	331

Tabelle 1: Beziehung zwischen den verwendeten NN-Höhen und dem MThw bzw. MTnw für die verwendeten Pegel Nordenham – Farge.

Binnenwasserstand	Zuwässerung												Entwässerung															
	cmNN	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%			
Zuwässerung																												
Wasserstände über Binnenwasserstand																												
-175	661	652	720	697	631	622	746	746	746	746	746	746	746	746	-9	-1,4	-23	-3,2	-9	-1,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-150	615	609	646	637	595	588	746	720	746	746	746	746	746	746	-6	-1,0	-9	-1,4	-7	-1,2	-26	-3,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-125	579	576	600	592	564	559	661	652	746	746	746	746	746	746	-3	-0,5	-8	-1,3	-5	-0,9	-9	-1,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-100	548	544	563	558	535	532	615	609	746	720	746	721	746	746	-4	-0,7	-5	-0,9	-3	-0,6	-6	-1,0	-26	-3,5	-25	-3,4	0	0,0
-75	517	515	528	524	508	505	579	576	661	652	676	667	746	746	-2	-0,4	-4	-0,8	-3	-0,6	-3	-0,5	-9	-1,4	-9	-1,3	0	0,0
-50	488	486	497	494	481	480	548	544	615	609	637	631	746	746	-2	-0,4	-3	-0,6	-1	-0,2	-4	-0,7	-6	-1,0	-6	-0,9	0	0,0
-25	458	457	463	462	454	452	517	515	579	576	607	602	746	746	-1	-0,2	-1	-0,2	-2	-0,4	-2	-0,4	-3	-0,5	-5	-0,8	0	0,0
0	428	427	429	429	425	425	488	486	548	544	579	576	746	746	-1	-0,2	0	0,0	0	0,0	-2	-0,4	-4	-0,7	-3	-0,5	0	0,0
25	395	395	394	394	396	396	458	457	517	515	556	552	746	746	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-1	-0,2	-2	-0,4	-4	-0,7	0	0,0
50	360	361	354	355	366	366	428	427	488	486	533	530	746	746	1	0,3	1	0,3	0	0,0	-1	-0,2	-2	-0,4	-3	-0,6	0	0,0
75	319	320	307	309	328	330	395	395	458	457	511	508	746	746	1	0,3	2	0,7	2	0,6	0	0,0	-1	-0,2	-3	-0,6	0	0,0
100	271	275	251	254	287	289	360	361	428	427	489	487	746	746	4	1,5	3	1,2	2	0,7	1	0,3	-1	-0,2	-2	-0,4	0	0,0
125	220	223	192	196	242	246	319	320	395	395	467	465	746	746	3	1,4	4	2,1	4	1,7	1	0,3	0	0,0	-2	-0,4	0	0,0
150	165	169	129	135	194	198	271	275	360	361	444	443	746	746	4	2,4	6	4,7	4	2,1	4	1,5	1	0,3	-1	-0,2	0	0,0
175	110	115	45	59	144	150	220	223	319	320	422	421	746	746	5	4,5	14	31,1	6	4,2	3	1,4	1	0,3	-1	-0,2	0	0,0
200	0	20	0	0	91	98	165	169	271	275	398	398	746	746	20	-	0	-	7	7,7	4	2,4	4	1,5	0	0,0	0	0,0
Entwässerung																												
Wasserstände unter Binnenwasserstand																												
-175	85	94	26	49	115	124	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10,6	23	88,5	9	7,8	0	-	0	-	0	-	0	-
-150	131	137	100	109	151	158	0	26	0	0	0	0	0	0	6	4,6	9	9,0	7	4,6	26	-	0	-	0	-	0	-
-125	167	170	146	154	182	187	85	94	0	0	0	0	0	0	3	1,8	8	5,5	5	2,7	9	10,6	0	-	0	-	0	-
-100	198	202	183	188	211	214	131	137	0	26	0	25	746	746	4	2,0	5	2,7	3	1,4	6	4,6	26	-	25	-	0	-
-75	229	231	218	222	238	241	167	170	85	94	70	79	746	746	2	0,9	4	1,8	3	1,3	3	1,8	9	10,6	9	12,9	0	0,0
-50	258	260	249	252	265	266	198	202	131	137	109	115	746	746	2	0,8	3	1,2	1	0,4	4	2,0	6	4,6	6	5,5	0	0,0
-25	288	289	283	284	292	294	229	231	167	170	139	144	746	746	1	0,3	1	0,4	2	0,7	2	0,9	3	1,8	5	3,6	0	0,0
0	318	319	317	317	321	321	258	260	198	202	167	170	746	746	1	0,3	0	0,0	0	0,0	2	0,8	4	2,0	3	1,8	0	0,0
25	351	351	352	352	350	350	288	289	229	231	190	194	746	746	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,3	2	0,9	4	2,1	0	0,0
50	386	385	392	391	380	380	318	319	258	260	213	216	746	746	-1	-0,3	-1	-0,3	0	0,0	1	0,3	2	0,8	3	1,4	0	0,0
75	427	426	439	437	418	416	351	351	288	289	235	238	746	746	-1	-0,2	-2	-0,5	-2	-0,5	0	0,0	1	0,3	3	1,3	0	0,0
100	475	471	495	492	459	457	386	385	318	319	257	259	746	746	-4	-0,8	-3	-0,6	-2	-0,4	-1	-0,3	1	0,3	2	0,8	0	0,0
125	526	523	554	550	504	500	427	426	351	351	279	281	746	746	-3	-0,6	-4	-0,7	-4	-0,8	-1	-0,2	0	0,0	2	0,7	0	0,0
150	581	577	617	611	552	548	475	471	386	385	302	303	746	746	-4	-0,7	-6	-1,0	-4	-0,7	-4	-0,8	-1	-0,3	1	0,3	0	0,0
175	636	631	701	687	602	596	526	523	427	426	324	325	746	746	-5	-0,8	-14	-2,0	-6	-1,0	-3	-0,6	-1	-0,2	1	0,3	0	0,0
200	746	726	746	746	655	648	581	577	475	471	348	348	746	746	-20	-2,7	0	0,0	-7	-1,1	-4	-0,7	-4	-0,8	0	0,0	0	0,0

Tabelle 2: Bezugspegel Nordenham: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual (rechte Hälfte). Erläuterungen im Text.

Binnenwasserstand cmNN	Zuwässerung										Entwässerung															
	Wasserstände über Binnenwasserstand										Wasserstände unter Binnenwasserstand															
	Mittlere Tide	Mittlere Tide + Ausbau	Nippptide	Nippptide + Ausbau	Springtide	Springtide + Ausbau	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +50cm + Ausbau	Mittlere Tide +100 cm	Mittlere Tide +100cm + Ausbau	Sturmide	Sturmide + Ausbau	Mittlere Tide	Nippptide	Springtide	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +100 cm	Sturmide	Sturmide + Ausbau	Mittlere Tide	Nippptide	Springtide	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +100 cm	Sturmide	Sturmide + Ausbau
	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%
-175	694	680	746	746	655	647	746	746	746	746	746	746	-14	-2,0	0	0,0	-8	-1,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-150	641	633	677	665	617	611	746	746	746	746	746	746	-8	-1,2	-12	-1,8	-6	-1,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-125	602	597	626	618	583	580	694	680	746	746	746	746	-5	-0,8	-8	-1,3	-3	-0,5	-14	-2,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-100	567	562	585	580	553	549	641	633	746	746	746	746	-5	-0,9	-5	-0,9	-4	-0,7	-8	-1,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-75	536	532	549	544	524	521	602	597	694	680	702	690	-4	-0,7	-5	-0,9	-3	-0,6	-5	-0,8	-14	-2,0	-12	-1,7	-12	-1,7
-50	502	499	512	508	492	491	567	562	641	633	658	652	-3	-0,6	-4	-0,8	-1	-0,2	-5	-0,9	-8	-1,2	-6	-0,9	-6	-0,9
-25	469	466	475	473	462	461	536	532	602	597	626	620	-3	-0,6	-2	-0,4	-1	-0,2	-4	-0,7	-5	-0,8	-6	-1,0	-6	-1,0
0	436	434	439	438	432	432	502	499	567	562	597	594	-2	-0,5	-1	-0,2	0	0,0	-3	-0,6	-5	-0,9	-3	-0,5	-3	-0,5
25	400	400	400	400	400	400	469	466	536	532	573	569	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-3	-0,6	-4	-0,7	-4	-0,7	-4	-0,7
50	360	361	355	355	364	365	436	434	502	499	549	547	1	0,3	0	0,0	1	0,3	-2	-0,5	-3	-0,6	-2	-0,4	-2	-0,4
75	316	318	305	308	326	327	400	400	469	466	525	522	2	0,6	3	1,0	1	0,3	0	0,0	-3	-0,6	-3	-0,6	-3	-0,6
100	270	272	250	254	283	285	360	361	436	434	500	498	2	0,7	4	1,6	2	0,7	1	0,3	-2	-0,5	-2	-0,4	-2	-0,4
125	220	224	194	198	239	242	316	318	400	400	475	474	4	1,8	4	2,1	3	1,3	2	0,6	0	0,0	-1	-0,2	-1	-0,2
150	168	172	137	142	194	196	270	272	360	361	451	450	4	2,4	5	3,6	2	1,0	2	0,7	1	0,3	-1	-0,2	-1	-0,2
175	118	122	65	76	149	153	220	224	316	318	425	425	4	3,4	11	16,9	4	2,7	4	1,8	2	0,6	0	0,0	0	0,0
200	40	54	0	0	98	105	168	172	270	272	400	400	14	35,0	0	-	7	7,1	4	2,4	2	0,7	0	0,0	0	0,0

Tabelle 3: Bezugspegel Rechtenfleth: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual (rechte Hälfte). Erläuterungen im Text.

Binnenwasserstand cmNN	Zuwässerung										Entwässerung																									
	Mittlere Tide	Nippptide	Springtide	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +100 cm	Sturmide	Mittlere Tide + Ausbau	Nippptide	Springtide	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +100 cm	Sturmide	Mittlere Tide	Nippptide	Springtide	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +100 cm	Sturmide																		
	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%																		
Zuwässerung																																				
Wasserstände über Binnenwasserstand																																				
-175	717	698	746	746	671	662	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	-19	-2,6	0	0,0	-9	-1,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
-150	658	649	698	684	632	625	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	-9	-1,4	-14	-2,0	-7	-1,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-125	618	612	643	635	598	592	717	698	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	-6	-1,0	-8	-1,2	-6	-1,0	-19	-2,6	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-100	582	577	602	595	567	563	658	649	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	746	-5	-0,9	-7	-1,2	-4	-0,7	-9	-1,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-75	548	545	564	559	536	533	618	612	717	698	722	706	706	706	706	706	706	706	706	706	-3	-0,5	-5	-0,9	-3	-0,6	-6	-1,0	-19	-2,6	-16	-2,2	-2	-0,3	-2	-0,3
-50	515	513	527	523	506	503	582	577	658	649	672	664	664	664	664	664	664	664	664	664	-2	-0,4	-4	-0,8	-3	-0,6	-5	-0,9	-9	-1,4	-8	-1,2	-6	-0,9	-6	-0,9
-25	482	480	491	488	475	473	548	545	618	612	639	633	633	633	633	633	633	633	633	633	-2	-0,4	-3	-0,6	-2	-0,4	-3	-0,5	-6	-1,0	-6	-0,9	-6	-0,9		
0	447	446	452	450	444	442	515	513	582	577	611	608	608	608	608	608	608	608	608	608	-1	-0,2	-2	-0,4	-2	-0,5	-2	-0,4	-5	-0,9	-3	-0,5	-3	-0,5		
25	412	411	413	413	410	410	482	480	548	545	585	581	581	581	581	581	581	581	581	581	-1	-0,2	0	0,0	0	0,0	-2	-0,4	-3	-0,5	-4	-0,7	-4	-0,7		
50	371	371	367	367	373	374	447	446	515	513	560	557	557	557	557	557	557	557	557	557	0	0,0	0	0,0	1	0,3	-1	-0,2	-2	-0,4	-3	-0,5	-3	-0,5		
75	326	327	317	318	333	335	412	411	482	480	536	533	533	533	533	533	533	533	533	533	1	0,3	1	0,3	2	0,6	-1	-0,2	-2	-0,4	-3	-0,6	-3	-0,6		
100	279	282	263	266	293	294	371	371	447	446	511	509	509	509	509	509	509	509	509	509	3	1,1	3	1,1	1	0,3	0	0,0	-1	-0,2	-2	-0,4	-2	-0,4		
125	232	235	211	215	248	250	326	327	412	411	486	484	484	484	484	484	484	484	484	484	3	1,3	4	1,9	2	0,8	1	0,3	-1	-0,2	-2	-0,4	-2	-0,4		
150	185	189	155	161	208	211	279	282	371	371	461	460	460	460	460	460	460	460	460	460	4	2,2	6	3,9	3	1,4	3	1,1	0	0,0	-1	-0,2	-1	-0,2		
175	134	138	94	101	163	167	232	235	326	327	436	434	434	434	434	434	434	434	434	434	4	3,0	7	7,4	4	2,5	3	1,3	1	0,3	-2	-0,5	-2	-0,5		
200	74	82	0	0	115	120	185	189	279	282	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	8	10,8	0	-	5	4,3	4	2,2	3	1,1	0	0,0	0	0,0		
Entwässerung																																				
Wasserstände unter Binnenwasserstand																																				
-175	28	48	0	0	75	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	71,4	0	-	9	12,0	0	-	0	-	0	-	0	-			
-150	88	97	48	62	114	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10,2	14	29,2	7	6,1	0	-	0	-	0	-	0	-			
-125	128	134	103	111	148	154	28	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4,7	8	7,8	6	4,1	20	71,4	0	-	0	-	0	-			
-100	164	169	144	151	179	183	88	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3,0	7	4,9	4	2,2	9	10,2	0	-	0	-	0	-			
-75	197	201	182	187	210	213	128	134	28	48	24	40	40	40	40	40	40	40	40	4	2,0	5	2,7	3	1,4	6	4,7	20	71,4	16	66,7	16	66,7			
-50	231	233	219	223	240	243	164	169	88	97	74	82	82	82	82	82	82	82	82	2	0,9	4	1,8	3	1,3	5	3,0	9	10,2	8	10,8	8	10,8			
-25	264	266	255	258	271	273	197	201	128	134	107	113	113	113	113	113	113	113	113	2	0,8	3	1,2	2	0,7	4	2,0	6	4,7	6	5,6	6	5,6			
0	298	300	294	296	302	304	231	233	164	169	135	138	138	138	138	138	138	138	138	2	0,7	2	0,7	2	0,7	2	0,9	5	3,0	3	2,2	3	2,2			
25	334	335	333	333	336	336	264	266	197	201	161	165	165	165	165	165	165	165	165	1	0,3	0	0,0	0	0,0	2	0,8	4	2,0	4	2,5	4	2,5			
50	375	375	379	379	373	372	298	300	231	233	186	189	189	189	189	189	189	189	189	0	0,0	0	0,0	-1	-0,3	2	0,7	2	0,9	3	1,6	3	1,6			
75	420	419	429	428	413	411	334	335	264	266	210	213	213	213	213	213	213	213	213	-1	-0,2	-1	-0,2	-2	-0,5	1	0,3	2	0,8	3	1,4	3	1,4			
100	467	464	483	480	453	452	375	375	298	300	235	237	237	237	237	237	237	237	237	-3	-0,6	-3	-0,6	-1	-0,2	0	0,0	2	0,7	2	0,9	2	0,9			
125	514	511	535	531	498	496	420	419	334	335	260	262	262	262	262	262	262	262	262	-3	-0,6	-4	-0,7	-2	-0,4	-1	-0,2	1	0,3	2	0,8	2	0,8			
150	561	557	591	585	538	535	467	464	375	375	285	286	286	286	286	286	286	286	286	-4	-0,7	-6	-1,0	-3	-0,6	-3	-0,6	0	0,0	1	0,4	1	0,4			
175	612	608	652	645	583	579	514	511	420	419	310	312	312	312	312	312	312	312	312	-4	-0,7	-7	-1,1	-4	-0,7	-3	-0,6	-1	-0,2	2	0,6	2	0,6			
200	671	664	746	746	631	626	561	557	467	464	338	338	338	338	338	338	338	338	338	-7	-1,0	0	0,0	-5	-0,8	-4	-0,7	-3	-0,6	0	0,0	0	0,0			

Tabelle 4: Bezugspegel Brake: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual (rechte Hälfte). Erläuterungen im Text.

Binnenwasserstand cmNN	Zuwässerung										Entwässerung													
	Mittlere Tide		Nippptide		Springtide		Mittlere Tide +50 cm		Mittlere Tide +100 cm		Sturmtide		Mittlere Tide		Nippptide		Springtide		Mittlere Tide +50 cm		Mittlere Tide +100 cm		Sturmtide	
	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%
Wasserstände über Binnenwasserstand																								
-175	746	746	746	746	732	709	746	746	746	746	746	746	0	0,0	0	0,0	-23	-3,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-150	710	696	746	746	672	663	746	746	746	746	746	746	-14	-2,0	0	0,0	-9	-1,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-125	659	651	694	682	633	626	746	746	746	746	746	746	-8	-1,2	-12	-1,7	-7	-1,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
-100	618	611	645	636	597	591	710	696	746	746	746	746	-7	-1,1	-9	-1,4	-6	-1,0	-14	-2,0	0	0,0	0	0,0
-75	579	574	598	592	560	554	659	651	746	746	746	746	-5	-0,9	-6	-1,0	-6	-1,1	-8	-1,2	0	0,0	0	0,0
-50	535	529	552	547	517	513	618	611	710	696	715	703	-6	-1,1	-5	-0,9	-4	-0,8	-7	-1,1	-14	-2,0	-12	-1,7
-25	486	484	501	497	477	471	579	574	659	651	673	667	-2	-0,4	-4	-0,8	-6	-1,3	-5	-0,9	-8	-1,2	-6	-0,9
0	444	442	453	450	438	436	535	529	618	611	643	638	-2	-0,5	-3	-0,7	-2	-0,5	-6	-1,1	-7	-1,1	-5	-0,8
25	404	404	408	406	402	401	486	484	579	574	613	608	0	0,0	-2	-0,5	-1	-0,2	-2	-0,4	-5	-0,9	-5	-0,8
50	365	365	365	365	367	367	444	442	535	529	584	581	0	0,0	0	0,0	0	0,0	-2	-0,5	-6	-1,1	-3	-0,5
75	329	331	324	325	334	334	404	404	486	484	552	550	2	0,6	1	0,3	0	0,0	0	0,0	-2	-0,4	-2	-0,4
100	290	292	280	281	300	302	365	365	444	442	521	516	2	0,7	1	0,4	2	0,7	0	0,0	-2	-0,5	-5	-1,0
125	247	249	229	232	261	263	329	331	404	404	486	483	2	0,8	3	1,3	2	0,8	2	0,6	0	0,0	-3	-0,6
150	203	206	180	183	221	223	290	292	365	365	455	453	3	1,5	3	1,7	2	0,9	2	0,7	0	0,0	-2	-0,4
175	155	159	124	129	181	185	247	249	329	331	425	424	4	2,6	5	4,0	4	2,2	2	0,8	2	0,6	-1	-0,2
200	104	109	56	65	137	142	203	206	290	292	397	396	5	4,8	9	16,1	5	3,6	3	1,5	2	0,7	-1	-0,3
Wasserstände unter Binnenwasserstand																								
-175	0	0	0	0	14	37	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	23	164	0	-	0	-	0	-
-150	35	50	0	0	74	83	0	0	0	0	0	0	15	42,9	0	-	9	12,2	0	-	0	-	0	-
-125	87	95	52	64	113	120	0	0	0	0	0	0	8	9,2	12	23,1	7	6,2	0	-	0	-	0	-
-100	128	135	101	110	149	155	35	50	0	0	0	0	7	5,5	9	8,9	6	4,0	15	42,9	0	-	0	-
-75	167	172	148	154	186	192	87	95	0	0	0	0	5	3,0	6	4,1	6	3,2	8	9,2	0	-	0	-
-50	211	217	194	199	229	233	128	135	35	50	31	43	6	2,8	5	2,6	4	1,7	7	5,5	15	42,9	12	38,7
-25	259	262	245	249	269	275	167	172	87	95	73	79	3	1,2	4	1,6	6	2,2	5	3,0	8	9,2	6	8,2
0	301	304	293	296	308	310	211	217	128	135	103	108	3	1,0	3	1,0	2	0,6	6	2,8	7	5,5	5	4,9
25	342	342	338	340	344	345	259	262	167	172	133	138	0	0,0	2	0,6	1	0,3	3	1,2	5	3,0	5	3,8
50	381	381	381	381	379	379	301	304	211	217	162	165	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	1,0	6	2,8	3	1,9
75	416	415	422	421	412	412	342	342	259	262	194	196	-1	-0,2	-1	-0,2	0	0,0	0	0,0	3	1,2	2	1,0
100	455	454	466	465	446	444	381	381	301	304	225	230	-1	-0,2	-1	-0,2	-2	-0,4	0	0,0	3	1,0	5	2,2
125	499	497	517	514	485	483	416	415	342	342	260	263	-2	-0,4	-3	-0,6	-2	-0,4	-1	-0,2	0	0,0	3	1,2
150	543	540	566	563	525	523	455	454	381	381	291	293	-3	-0,6	-3	-0,5	-2	-0,4	-1	-0,2	0	0,0	2	0,7
175	591	587	622	617	565	561	499	497	416	415	321	322	-4	-0,7	-5	-0,8	-4	-0,7	-2	-0,4	-1	-0,2	1	0,3
200	642	637	690	681	609	604	543	540	455	454	349	350	-5	-0,8	-9	-1,3	-5	-0,8	-3	-0,6	-1	-0,2	1	0,3

Tabelle 6: Bezugspegel Farbe: Zeitfenster für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen absolut und prozentual (rechte Hälfte). Erläuterungen im Text.

5. VERÄNDERUNG DER WASSERSTANDSDIFFERENZ FÜR ZU- UND ENTWÄSSERUNG

Im zweiten Schritt werden für die im vorigen Kapitel beschriebenen Kombinationen aus Tidekurve und Binnenwasserstand die mittlere Wasserstandsdifferenz zwischen Binnen- und Außenwasserstand für die Dauer der Zu- bzw. Entwässerung, die Veränderung der mittleren Wasserstandsdifferenz und das Integral der Wasserstandsdifferenz ermittelt. Für die mittlere Wasserstandsdifferenz wird für jeden Minutenwert, der die Bedingung Zuwässerung möglich (Außenwasserstand > Binnenwasserstand) bzw. Entwässerung möglich (Außenwasserstand < Binnenwasserstand) die Differenz zwischen Außenwasserstand und Binnenwasserstand bzw. umgekehrt berechnet. Diese Differenzen werden über den gesamten Zeitraum gemittelt. Für das Integral der Wasserstandsdifferenzen wird die Differenz der Summen aus den minütlichen Wasserstandsdifferenzen vor und nach dem Ausbau ermittelt, d.h. es wird die Veränderung des Zeitfensters und des Wasserstandsunterschiedes zwischen außen und binnen berücksichtigt. Die in Tabelle 7 - Tabelle 11 angegebenen Änderungen sind entsprechend dem vorigen Kapitel farbig hinterlegt. Verbesserungen der Bedingungen orange, Verschlechterungen blau, keine Veränderungen grün. Wenn Zu- oder Entwässerung für den jeweiligen Binnenwasserstand nicht möglich ist, ist das entsprechende Feld durch einen Strich markiert.

Für die Entwässerung ergeben sich für alle Kombinationen Verbesserungen, die eine Entwässerung zulassen. Für die Zuwässerung ergeben sich größtenteils Verbesserungen. Verschlechterungen der Bedingungen treten in den Bereichen auf, die bereits jetzt sehr gute Bedingungen für die Zuwässerung bieten, so dass diese relativ kleinen Veränderungen keinen Einfluss auf die Zuwässerung darstellen.

Binnenwasserstand	Mittlere Tide	Mittlere Tide + Ausbau	Nippide	Nippide + Ausbau	Springtide	Springtide + Ausbau	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +50cm + Ausbau	Mittlere Tide +100 cm	Mittlere Tide +100cm + Ausbau	Sturmtide	Sturmtide + Ausbau	Mittlere Tide		Nippide		Springtide		Mittlere Tide +50 cm		Mittlere Tide +100 cm		Sturmtide	
													cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Zuwässerung																								
Wasserstände über Binnenwasserstand																								
-175	215	220	199	198	231	234	250	249	300	299	378	378	4	-151	-1	-491	3	34	-1	-499	-1	-499	-1	-516
-150	207	210	193	196	220	222	225	224	275	274	353	353	3	113	3	-52	3	218	-1	-499	-1	-499	-1	-516
-125	195	197	182	185	207	209	215	220	250	249	328	328	2	288	3	192	2	353	4	-151	-1	-499	-1	-516
-100	181	183	169	171	192	195	207	210	225	224	303	303	2	420	2	361	2	461	3	113	-1	-499	-1	-516
-75	166	168	155	157	177	180	195	197	215	220	296	301	2	518	2	485	2	545	2	288	4	-151	5	-221
-50	151	153	140	142	163	165	181	183	207	210	290	293	2	601	2	583	2	614	2	420	3	113	3	6
-25	136	138	125	127	148	150	166	168	195	197	279	282	2	658	2	653	2	662	2	518	2	288	3	163
0	120	123	109	111	132	134	151	153	181	183	267	269	2	693	2	694	2	691	2	601	2	420	2	283
25	105	107	93	95	117	119	136	138	166	168	253	255	2	705	2	708	2	703	2	658	2	518	2	380
50	90	92	79	81	102	104	120	123	151	153	239	240	2	697	2	696	2	697	2	693	2	601	2	462
75	76	78	64	66	88	89	105	107	136	138	224	226	2	670	2	662	2	675	2	705	2	658	2	532
100	62	64	51	52	74	76	90	92	120	123	209	211	2	621	2	597	2	636	2	697	2	693	2	591
125	48	50	37	39	60	62	76	78	105	107	195	197	2	549	2	503	2	579	2	670	2	705	2	636
150	34	36	22	24	46	48	62	64	90	92	179	181	2	454	2	386	2	502	2	621	2	697	2	669
175	19	21	6,2	8	31	33	48	50	76	78	165	166	2	338	2	206	2	412	2	549	2	670	2	690
200	3	4,9	-	-	16	18	34	36	62	64	149	151	2	144	0	0	2	292	2	454	2	621	2	698
Entwässerung																								
Wasserstände unter Binnenwasserstand																								
-175	6,3	10	-	-	19	23	-	-	-	-	-	-	4	348	0	0	4	539	0	0	0	0	0	0
-150	22	26	9,5	14	35	39	-	-	-	-	-	-	4	611	4	439	4	722	0	0	0	0	0	0
-125	38	42	25	29	50	54	6,3	10	-	-	-	-	4	786	4	684	4	858	4	348	0	0	0	0
-100	53	57	41	45	65	69	22	26	-	-	-	-	4	919	4	853	4	966	4	611	0	0	0	0
-75	68	72	56	60	80	84	38	42	6,3	10	6,3	10	3	1017	3	977	4	1050	4	786	4	348	4	295
-50	82	86	70	74	93	97	53	57	22	26	22	27	3	1099	3	1074	4	1118	4	919	4	611	4	522
-25	96	99	84	87	107	111	68	72	38	42	38	42	3	1157	4	1144	4	1167	3	1017	4	786	4	679
0	109	113	98	101	121	125	82	86	53	57	53	57	3	1191	4	1186	4	1196	3	1099	4	919	4	799
25	122	125	110	114	133	137	96	99	68	72	69	73	3	1203	3	1199	3	1207	3	1157	3	1017	4	896
50	133	136	121	124	145	148	109	113	82	86	84	88	3	1195	3	1188	4	1201	3	1191	3	1099	4	978
75	143	146	131	134	155	159	122	125	96	99	99	102	3	1168	4	1153	3	1180	3	1203	3	1157	3	1048
100	153	156	140	143	165	168	133	136	109	113	112	116	3	1120	3	1089	3	1140	3	1195	3	1191	4	1107
125	162	165	150	152	174	178	143	146	122	125	126	130	3	1048	3	995	3	1083	3	1168	3	1203	4	1152
150	172	174	159	162	184	187	153	156	133	136	140	143	3	953	3	877	2	1007	3	1120	3	1195	4	1184
175	182	184	166	170	194	197	162	165	143	146	152	156	3	836	4	697	3	916	3	1048	3	1168	4	1206
200	186	190	176	177	203	206	172	174	153	156	165	169	4	643	1	491	3	796	3	953	3	1120	4	1214

Tabelle 8: Bezugspegel Rechtenfleth: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen (jeweils 1. Spalte auf der rechten Hälfte) und das Integral der Wasserstandsdifferenzen (jeweils 2. Spalte auf der rechten Hälfte). Erläuterungen im Text.

Binnenwasserstand	Mittlere Tide	Mittlere Tide + Ausbau	Nippide	Nippide + Ausbau	Springtide	Springtide + Ausbau	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +50cm + Ausbau	Mittlere Tide +100 cm	Mittlere Tide +100cm + Ausbau	Sturmide	Sturmide + Ausbau	Mittlere Tide		Nippide		Springtide		Mittlere Tide +50 cm		Mittlere Tide +100 cm		Sturmide	
													cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Zuwässerung																								
Wasserstände über Binnenwasserstand																								
-175	217	222	207	206	234	237	258	257	308	307	387	386	6	-256	-1	-480	3	-35	-1	-488	-1	-488	-1	-505
-150	210	213	195	199	223	226	233	232	283	282	362	361	3	38	4	-155	3	157	-1	-488	-1	-488	-1	-505
-125	198	200	186	188	210	212	217	222	258	257	337	336	2	223	3	120	3	301	6	-256	-1	-488	-1	-505
-100	184	187	173	175	196	198	210	213	233	232	312	311	2	367	3	300	2	415	3	38	-1	-488	-1	-505
-75	170	172	158	161	181	183	198	200	217	222	296	302	2	478	2	438	2	508	2	223	6	-256	6	-307
-50	155	157	144	146	166	168	184	187	210	213	292	296	2	566	2	544	2	581	2	367	3	38	3	-55
-25	140	142	128	130	151	153	170	172	198	200	282	285	2	631	2	622	2	638	2	478	2	223	3	109
0	125	126	113	115	136	138	155	157	184	187	269	271	2	674	2	674	2	674	2	566	2	367	2	229
25	109	111	98	99	121	123	140	142	170	172	256	258	2	694	2	697	2	692	2	631	2	478	2	337
50	95	97	83	85	107	108	125	126	155	157	241	244	2	692	2	693	2	690	2	674	2	566	2	426
75	81	83	70	71	93	94	109	111	140	142	227	229	2	670	2	665	1	674	2	694	2	631	2	499
100	68	69	56	58	79	81	95	97	125	126	212	214	2	627	2	610	2	641	2	692	2	674	2	561
125	54	56	42	44	66	68	81	83	109	111	197	200	2	566	2	535	2	589	2	670	2	694	2	610
150	39	41	27	29	51	53	68	69	95	97	182	184	2	486	2	427	2	527	2	627	2	692	2	648
175	25	27	12	14	37	39	54	56	81	83	167	170	2	377	2	280	2	442	2	566	2	670	2	674
200	9	11	-	-	22	24	39	41	68	69	153	155	2	230	0	0	2	331	2	486	2	627	2	687
Entwässerung																								
Wasserstände unter Binnenwasserstand																								
-175	2,3	6,2	-	-	15	19	-	-	-	-	-	-	4	231	0	0	4	459	0	0	0	0	0	0
-150	18	22	5,6	9,6	31	35	-	-	-	-	-	-	4	525	4	326	4	651	0	0	0	0	0	0
-125	34	38	21	25	46	49	2,3	6,2	-	-	-	-	4	710	4	600	3	795	4	231	0	0	0	0
-100	49	52	37	40	61	65	18	22	-	-	-	-	4	854	3	780	4	909	4	525	0	0	0	0
-75	64	67	52	55	75	79	34	38	2,3	6,2	2,3	6,3	4	966	4	919	4	1002	4	710	4	231	4	198
-50	77	81	66	69	89	92	49	52	18	22	19	22	4	1054	3	1024	3	1075	4	854	4	525	4	450
-25	91	95	80	83	103	106	64	67	34	38	34	38	4	1118	3	1102	3	1131	4	966	4	710	4	614
0	104	107	93	96	116	119	77	81	49	52	49	54	3	1162	3	1154	3	1167	4	1054	4	854	4	734
25	117	120	105	109	128	131	91	95	64	67	64	68	3	1182	4	1177	4	1185	4	1118	4	966	4	842
50	128	131	116	119	139	142	104	107	77	81	79	83	3	1179	3	1173	4	1184	3	1162	4	1054	4	932
75	138	141	126	129	149	153	117	120	91	95	94	97	3	1157	3	1145	4	1167	3	1182	4	1118	3	1005
100	147	151	135	139	160	163	128	131	104	107	107	111	3	1115	3	1091	3	1134	3	1179	3	1162	4	1066
125	158	161	146	149	169	172	138	141	117	120	121	124	3	1054	3	1015	3	1082	3	1157	3	1182	3	1116
150	168	171	156	159	181	184	147	151	128	131	134	138	3	973	3	907	3	1021	3	1115	3	1179	4	1154
175	178	181	165	168	191	194	158	161	138	141	147	150	3	864	3	761	3	936	3	1054	3	1157	3	1180
200	187	190	168	169	200	203	168	171	147	151	159	163	3	717	1	480	3	825	3	973	3	1115	4	1193

Tabelle 9: Bezugspegel Brake: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen (jeweils 1. Spalte auf der rechten Hälfte) und das Integral der Wasserstandsdifferenzen (jeweils 2. Spalte auf der rechten Hälfte). Erläuterungen im Text.

Binnenwasserstand	Mittlere Tide	Mittlere Tide + Ausbau	Nippide	Nippide + Ausbau	Springtide	Springtide + Ausbau	Mittlere Tide +50 cm	Mittlere Tide +50cm + Ausbau	Mittlere Tide +100 cm	Mittlere Tide +100cm + Ausbau	Sturmtide	Sturmtide + Ausbau	Mittlere Tide		Nippide		Springtide		Mittlere Tide +50 cm		Mittlere Tide +100 cm		Sturmtide	
													cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Zuwässerung																								
Wasserstände über Binnenwasserstand																								
-175	215	215	214	214	231	235	265	265	315	315	393	392	-1	-512	-1	-506	4	-200	-1	-512	-1	-512	-1	-527
-150	209	212	189	193	221	224	240	240	290	290	368	367	3	-116	4	-491	2	31	-1	-512	-1	-512	-1	-527
-125	197	200	185	188	209	211	215	215	265	265	343	342	3	102	3	-36	3	196	-1	-512	-1	-512	-1	-527
-100	184	186	172	175	195	197	209	212	240	240	318	317	2	265	3	178	2	329	3	-116	-1	-512	-1	-527
-75	169	171	159	161	181	182	197	200	215	215	293	292	2	391	2	341	2	433	3	102	-1	-512	-1	-527
-50	155	157	144	146	166	168	184	186	209	212	289	293	2	494	2	463	2	519	2	265	3	-116	4	-191
-25	141	143	129	132	152	154	169	171	197	200	280	282	2	578	2	562	2	590	2	391	3	102	2	-3
0	127	129	116	118	138	140	155	157	184	186	267	269	2	637	2	633	2	640	2	494	2	265	2	137
25	113	115	102	104	125	127	141	143	169	171	254	256	2	669	2	671	2	668	2	578	2	391	2	254
50	100	102	89	90	111	113	127	129	155	157	240	241	2	674	1	675	2	672	2	637	2	494	2	349
75	86	88	74	76	98	100	113	115	141	143	225	227	2	659	2	656	2	660	2	669	2	578	2	433
100	72	74	60	62	84	85	100	102	127	129	211	213	2	626	2	614	2	634	2	674	2	637	2	504
125	58	60	46	48	69	71	86	88	113	115	197	199	2	574	2	545	2	593	2	659	2	669	2	564
150	44	46	32	34	56	57	72	74	100	102	184	185	2	497	2	446	2	533	2	626	2	674	2	612
175	30	32	17	19	42	43	58	60	86	88	170	172	2	400	2	325	1	453	2	574	2	659	2	646
200	14	16	0,7	2,7	29	44	46	72	74	157	159		2	277	2	100	2	361	2	497	2	626	2	666
Entwässerung																								
Wasserstände unter Binnenwasserstand																								
-175	-	-	-	-	6,6	11	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	4	318	0	0	0	0	0	0
-150	9,8	14	-	0,9	23	27	-	-	-	-	-	-	4	397	1	16	4	548	0	0	0	0	0	0
-125	26	29	13	17	38	41	-	-	-	-	-	-	4	614	4	471	3	713	0	0	0	0	0	0
-100	41	45	29	32	53	56	9,8	14	-	-	-	-	4	778	3	684	3	846	4	397	0	0	0	0
-75	55	59	43	47	67	71	26	29	-	-	-	-	4	903	4	847	4	950	4	614	0	0	0	0
-50	69	73	58	62	81	84	41	45	9,8	14	10	14	3	1007	4	969	3	1037	4	778	4	397	4	336
-25	82	85	71	74	93	97	55	59	26	29	26	30	3	1090	3	1068	3	1107	4	903	4	614	4	523
0	94	98	83	86	105	109	69	73	41	45	41	45	3	1149	3	1139	3	1158	3	1007	4	778	4	664
25	106	109	95	98	117	120	82	85	55	59	56	60	3	1182	4	1177	3	1185	3	1090	4	903	4	781
50	118	121	106	110	129	132	94	98	69	73	71	75	3	1186	4	1182	3	1190	3	1149	3	1007	4	876
75	130	133	119	122	141	144	106	109	82	85	85	89	3	1171	3	1162	3	1178	3	1182	3	1090	4	960
100	142	145	131	133	153	156	118	121	94	98	99	102	2	1139	3	1121	3	1151	3	1186	3	1149	3	1031
125	153	156	141	144	165	167	130	133	106	109	111	115	3	1086	3	1051	3	1110	3	1171	3	1182	3	1091
150	164	167	152	154	176	179	142	145	118	121	123	127	3	1010	3	952	3	1050	2	1139	3	1186	4	1139
175	174	177	162	165	186	189	153	156	130	133	136	139	3	913	3	831	3	970	3	1086	3	1171	3	1173
200	185	188	166	171	197	200	164	167	142	145	147	150	3	789	5	606	3	878	3	1010	2	1139	3	1193

Tabelle 10: Bezugspegel Elsflth: Mittlere Wasserstandshöhen für die Zu- und Entwässerung für verschiedene Tidebedingungen vor und nach dem Ausbau (linke Hälfte) und die ausbaubedingten Veränderungen der mittleren Wasserstandshöhen (jeweils 1. Spalte auf der rechten Hälfte) und das Integral der Wasserstandsdifferenzen (jeweils 2. Spalte auf der rechten Hälfte). Erläuterungen im Text.

6. ÜBERTRAGUNG DER ERGEBNISSE DER VORIGEN KAPITEL AUF EINE AUSWAHL VON SIELEN

Die Auswirkungen der oben angeführten Veränderungen der Tidekennwerte werden anhand der in den vorigen beiden Kapiteln ermittelten Ergebnisse auf die tatsächlich auftretenden Binnenwasserstände übertragen. Hierfür wurden 10 Siele ausgewählt, die den gesamten Bereich zwischen Weser-km 60 und 22 abdecken. 5 Siele liegen auf der rechten Weserseite und 5 auf der linken. 4 Siele dienen nur zur Entwässerung, die übrigen 6 werden sowohl zur Entwässerung als auch zur Zuwässerung genutzt. In Tabelle 12 sind die Daten zu diesen Sielen besonders bezüglich des Binnenwasserstandes zusammengefasst. Die Angaben sind lückenhaft und möglicherweise nicht mehr aktuell. Die Angaben beruhen auf den im WSA Bremerhaven vorhandenen und den von den Wasser- und Bodenverbänden auf aktuelle Anfragen der Projektgruppe Weseranpassung gelieferten Daten. Eine grobe Abschätzung kann anhand der vorhandenen Informationen über die Höhenbereiche, in denen sich der Binnenwasserstand bewegt, erfolgen. In der Tabelle 13 sind die Bandbreiten der Änderungen der Sielbetriebszeiten für Entwässerung und Zuwässerung für mittlere Tiden, Nipp- und Springtiden aufgeführt. Tabelle 14 enthält für mittlere Tiden die Veränderung des mittleren Höhenunterschiedes zwischen Binnen- und Außenwasserstand. Ein positiver Wert bedeutet, dass sich für die jeweilige Fließrichtung die Wasserstands Differenz vergrößert.

	W-km	Ufer	Bezugspegel	Betrieb	Binnenwasserstand [m NN]			
					Minimal	Maximal	Mittel Sommer	Mittel Winter
Blexer Siel	59,9	L	Nordenham	E				
Beckumer Siel	51,5	L	Nordenham	Z+E			-1,40	
Lunesiel	50,8	R	Nordenham	E	-1,80	-0,50	-1,28	
Strohauser Siel	49,5	L	Rechtenfleth	Z+E			+0,90	
Drepte Siel	49	R	Rechtenfleth	E		0,00	-1,20	
Rechtenflether Siel	46,9	R	Rechtenfleth	Z+E			-0,50	
Sandstedter Siel	44,1	R	Rechtenfleth	Z+E		-0,60	-1,00	-1,04
Käseburger Siel	36,3	L	Brake	Z+E			-1,30	-1,00
Rader Siel	32,4	R	Elsfleth	E	-1,80	-1,20	-1,00 – -1,20	
Stedinger Siel	22	L	Farge	Z+E	-0,90	0,05		

Tabelle 12: Binnenwasserstände für eine Auswahl von Sielen an der Unterweser.

	Entwässerung						Zuwässerung					
	Mittlere Tide		Nipp tide		Spring tide		Mittlere Tide		Nipp tide		Spring tide	
	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%	min	%
Blexer Siel	+2/+10	+1/+10	+3/+9	+1/+9	+1/+9	+1/+8	-	-	-	-	-	-
Beckumer Siel	+2/+10	+1/+10	+3/+9	+1/+9	+1/+9	+1/+8	-2/-9	0/-1	-3/-23	-1/-3	-1/-9	0/-1
Lunesiel	+2/+10	+1/+10	+3/+9	+1/+9	+1/+9	+1/+8	-	-	-	-	-	-
Strohauser Siel	-2/+3	0/+1	-4/+4	-1/+2	-2/+1	0	-3/+2	-1/+1	-4/+4	-1/+2	-1/+2	0/+1
Drepte Siel	+2/+5	+1/+4	+1/+8	0/+7	0/+3	0/+2	-	-	-	-	-	-
Rechtenflether Siel	+2/+5	+1/+4	+1/+8	0/+7	0/+3	0/+2	-2/-5	-1	-1/-8	0/-1	0/-3	0/-1
Sandstedter Siel	+2/+5	+1/+4	+1/+8	0/+7	0/+3	0/+2	-2/-5	-1	-1/-8	0/-1	0/-3	0/-1
Käseburger Siel	+4/+6	+2/+5	+5/+8	+3/+8	+3/+6	+1/+4	-3/-6	-1	-5/-8	-1	-3/-6	-1
Rader Siel	+6/+11	+4/+18	+8/+18	+7/+99	+5/+12	+3/+25	-	-	-	-	-	-
Stedinger Siel	+3/+7	+1/+6	+3/+9	+1/+9	+2/+6	+1/+4	-2/-7	-1	-3/-9	-1	-2/-6	-1

Tabelle 13: Ausbaubedingte Veränderungen der möglichen Ent- und Zuwässerungszeiten für eine Auswahl von Sielen an der Unterweser.

	Entwässerung		Zuwässerung	
	mittlere Höhendifferenz	Summe der Höhendifferenzen	mittlere Höhendifferenz	Summe der Höhendifferenzen
	cm	cm	cm	cm
Blexer Siel	+4	500 - 1000	-	-
Beckumer Siel	+4	500 - 1000	+2/+3	0 - 700
Lunesiel	+4	500 - 1000	-	-
Strohauser Siel	+3	1000	+2	600 - 700
Drepte Siel	+3/+4	800 - 1200	-	-
Rechtenflether Siel	+3/+4	800 - 1200	+2	300 - 700
Sandstedter Siel	+3/+4	800 - 1200	+2	300 - 700
Käseburger Siel	+4	700 - 1000	+2	200 - 500
Rader Siel	+4	400 - 900	-	-
Stedinger Siel	+3/+4	900 - 1200	+2	400 - 700

Tabelle 14: Ausbaubedingte Veränderungen der mittleren Höhendifferenzen und summierten Höhendifferenzen während der Ent- und Zuwässerungszeiten für eine Auswahl von Sielen an der Unterweser.

Bei der Entwässerung gibt es – bis auf das Strohauser Siel – für die Betriebszeiten nur Verbesserungen in der Größenordnung von bis zu 10 Minuten (Radersiel bis +18 Minuten). Beim Strohauser Siel ergeben sich durch den hohen Binnenwasserstand positive und negative Veränderungen. Für die Binnenwasserstände, die hier zu negativen Veränderungen führen, sind die Betriebszeiten aber so lang, dass Veränderungen weniger als 1% betragen.

Bei der Zuwässerung treten in der Regel Verkürzungen auf, die sich ebenfalls im Bereich von bis zu 10 Minuten bewegen. Das Strohauser Siel bildet hierbei ebenfalls die Ausnahme mit teilweise auch Vergrößerungen der Betriebszeiten. Am Beckumer Siel betragen bei sehr niedrigen Binnenwasserständen die Verkürzungen bis zu 23 Minuten. Da die Zeitfenster für die Zuwässerung bei niedrigen Binnenwasserständen sehr lang sind, bewegen sich die prozentualen Änderungen zwischen 0 und 1% (Beckumer Siel bis 3%).

Die Veränderung der Durchflussmöglichkeit, d.h. das Wasservolumen, das während einer Tide entwässert oder zugewässert werden kann, hängt nicht nur vom Zeitfenster und seiner Veränderung sondern auch von der Veränderung der Höhendifferenz zwischen Binnen- und Außenwasserstand ab. Bei der Veränderung der mittleren Höhendifferenz ergibt so wohl für die Entwässerung als auch für die Zuwässerung eine Vergrößerung, die bei 3 – 4 cm bzw. 2 – 3 cm liegt.

Zur Kombination von Veränderung der Betriebsdauer und Veränderung der mittleren Höhendifferenz wurde die summierte Höhendifferenz ermittelt. Für alle Siel werden hier Verbesserungen ausgewiesen, die für die Entwässerung höher als für die Zuwässerung ausfallen. Quantitative Aussagen zu den Abflussmengenveränderungen lassen sich aus diesen Werten nicht ableiten.

Inwieweit sich diese größtenteils positiven Veränderungen der Randbedingungen für den Sielbetrieb auch in der praktischen Nutzung niederschlagen, hängt von der Steuerung des Siels ab. Die Größenordnung der Änderungen liegen in einem Bereich, der wahrscheinlich zu keinen

messbaren Veränderungen der Be- und Entwässerungsleistung führt. Bei einer Steuerung des Siels in Abhängigkeit von Binnenwasserständen bleibt auch bei den veränderten Randbedingungen die Möglichkeit erhalten, in der bisherigen Weise den Sielbetrieb zu fahren.

Aus Sicht des Naturschutzes könnten die veränderten Randbedingungen zu einer verstärkten Entwässerung führen. Wie oben angeführt sind die Veränderungen der Entwässerungsleistung als gering einzustufen, so dass der Wasserstand (Oberflächenwasser und Grundwasser) im Binnenland nur unwesentlich beeinflusst wird.

7. ERMITTLUNG DES ABFLUSSES UND SEINER AUSBAUBEDINGTEN VERÄNDERUNGEN

Für eine konkrete Kalkulation der Veränderungen des Gesamtdurchflusses, des Durchflusses zu bestimmten Zeiten, von maximalen und mittleren Strömungsgeschwindigkeiten, sind neben den Tidekurven und ihren Veränderungen auch die Sielgeometrien, die Form des Außentiefs und der binnenseitigen Vorfluter inklusive anschließendem Grabensystem und der Binnenwasserzufluss zu berücksichtigen. Durch die Veränderung des Außen- und Binnenwasserstandes kommt es zu zeitlichen Veränderungen der Strömung und damit des Durchflussvolumens. Erschwerend kann noch eine Steuerung des Siels durch z.B. Schütze hinzukommen. Aussagen zu den oben genannten Parametern lassen sich nur in einem numerischen Modell ermitteln. Die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel verdeutlichen die Auswirkungen des geplanten Ausbaus in ausreichendem Maße, so dass auf eine numerische Modellierung des Sielbetriebes verzichtet wird.

8. ERMITTLUNG DES SALZEINTRAGES BEI ZUWÄSSERUNG UND SEINER AUSBAUBEDINGTEN VERÄNDERUNGEN

Für diesen Untersuchungspunkt gilt in gleichem Maße das in Kapitel 7 angeführte. Die Abschätzung des Salzeintrages ist direkt mit dem Durchflussvolumen und seiner zeitlichen Veränderung verknüpft.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der ermittelten maximalen ausbaubedingten Änderungen der Scheitelwasserstände wurde für verschiedene Tidebedingungen (mittlere Tide, Nipptide, Springtide, Sturmide u.a.) die Veränderung der möglichen Sielbetriebszeiten für Zu- und Entwässerung für unterschiedliche Binnenwasserstandshöhen ermittelt. Zudem wurden die Veränderungen der mittleren Höhendifferenz und der Summe der Höhendifferenz berechnet.

Insgesamt führen die Änderungen der Randbedingungen zu einer tendenziellen Verbesserung der Möglichkeiten des Sielbetriebs:

Bei der Entwässerung gibt es sowohl bei den Zeiten als auch bei den Höhendifferenzen Verbesserungen.

Bei der Zuwässerung kommt es zu einer Verkürzung der möglichen Sielbetriebszeiten, die aber aufgrund der Länge von über 6 Stunden unbedeutend sind. Die mittlere Höhendifferenz und die Summe der Höhendifferenzen vergrößert sich dagegen und führen somit auch bei der Zuwässerung zu einer Verbesserung der Randbedingungen.

Eine konkrete Abschätzung von Durchflussmengen, Strömungsgeschwindigkeiten und Salzeintrag und ihren Veränderungen wurde aufgrund der Erfordernis einer Berechnung im numerischen Modell und den eindeutig positiven Auswirkungen der ausbaubedingten Änderung der Scheitelwasserstände auf den Sielbetrieb nicht durchgeführt.

Aufgestellt:
Bremerhaven, Dezember 2005

.....
Dr. D. Lange