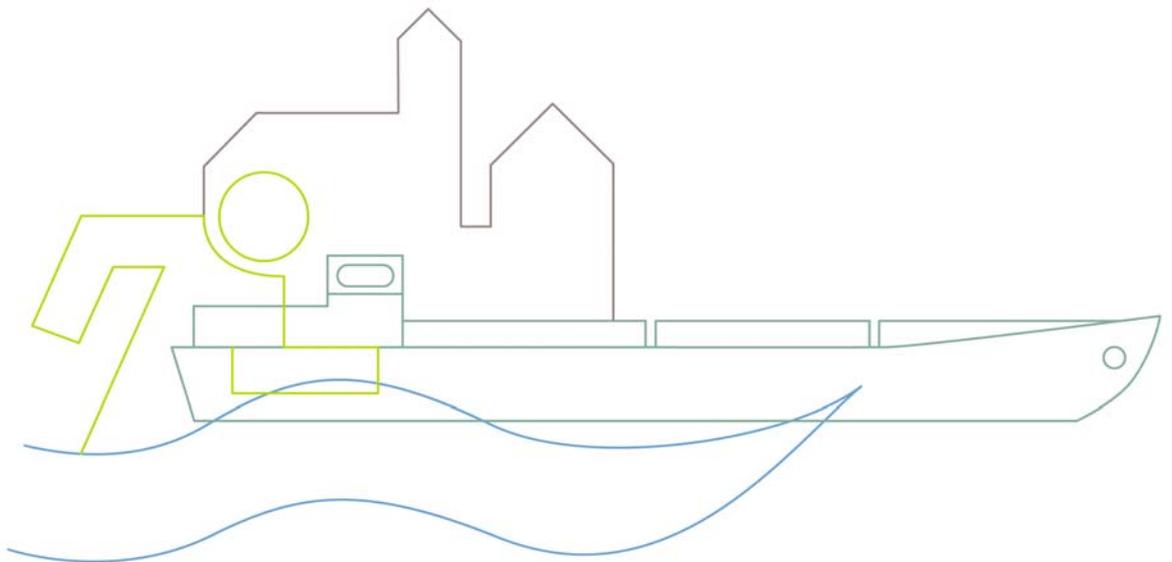


# Bericht

## Untersuchung des ökologischen Entwicklungs- potenzials der Unter- und Außenelbe (Ökologische Potenzialanalyse)

### Teil 3 Ökologische Bewertungsgrundlagen für den Strombau



## **Bundesanstalt für Gewässerkunde**

### **Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe (Ökologische Potenzialanalyse) Teil 3 – Ökologische Bewertungsgrundlagen für den Strombau**

Auftraggeber: Projektgruppe Potenzialanalyse  
Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord / Freie und Hansestadt Hamburg,  
Behörde für Wirtschaft und Arbeit, Amt Strom- und Hafenausbau  
Auftrag vom 16. Juli 2003

BfG-Jap-Nr.: 2917

Aufgestellt: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Koblenz, Dezember 2004

BfG-1412

## Bearbeiter

Federführung, Koordination	Referat U3	Herr Liebenstein
Gesamtbearbeitung einschließlich Gewässermor- phologie	Referat U3	Herr Liebenstein Herr Böhringer (Björnsen Beratende Ingenieure, Köln) Herr Meyer (Kocks Consult, Koblenz)
Bearbeitung der Schutzgüter Hydrologie	Referat M1	Herr Blasi
Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten	Referat G1	Herr Dr. Ackermann
Wasserbeschaffenheit und Stoff- haushalt	Referat U2	Herr Schöl
Boden	Referat M3	Herr Dr. Fuchs
Vegetation		Herr Böhringer (Björnsen Beratende Ingenieure, Köln)
Fauna	Referat U4	Frau Dr. Büttner
Landschaftsbild		Herr Meyer (Kocks Consult, Koblenz)
GIS-Bearbeitung		Herr Franzen (Björnsen Beratende Ingenieure, Koblenz)
Textbearbeitung, Layout	Referat U3	Frau Zimmerer

## Inhaltsverzeichnis

<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG.....</b>	<b>3</b>
<b>2 VORGEHENSWEISE BEI DER BEARBEITUNG.....</b>	<b>4</b>
2.1 Darstellung der Vorgehensweise .....	4
2.2 Vorgehensweise bei der Bewertung .....	5
<b>3 BESCHREIBUNG DER STROMBAUWERKE .....</b>	<b>7</b>
3.1 Linienhafte Strombauwerke .....	7
3.1.1 Allgemeine Beschreibung .....	7
3.1.1.1 Strombauliche Funktionen.....	9
3.1.1.2 Material.....	12
3.1.1.2.1 Bauwerkskörper.....	12
3.1.1.2.2 Verklammerung .....	14
3.1.1.2.3 Kernfüllung und Zwischenlagen .....	14
3.1.1.2.4 Gründung und Fußsicherung .....	14
3.1.1.3 Bauweisen.....	14
3.1.2 Querbauwerke.....	15
3.1.2.1 Bühnen.....	16
3.1.2.2 Sohlschwellen.....	19
3.1.3 Längsbauwerke (Leitwerke).....	21
3.2 Flächenhafte Strombauwerke .....	26
3.2.1 Allgemeine Beschreibung .....	26
3.2.1.1 Strombauliche Funktionen.....	27
3.2.1.2 Material.....	29
3.2.1.2.1 Verbringungsmaterial .....	29
3.2.1.2.2 Material für die Randsicherung.....	30
3.2.1.2.3 Material für die Abdeckung.....	31
3.2.1.3 Bauweisen.....	31
3.2.2 Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte.....	33
3.2.3 Randliche Unterwasserablagerungsflächen.....	36
3.2.4 Inseln .....	39
3.2.5 Ufervorspülungen .....	45
3.2.6 Übertiefenverfüllungen.....	48
<b>4 BESCHREIBUNG UND BEWERTUNG DER LOKALEN WIRKUNGEN VON STROMBAUWERKEN .....</b>	<b>50</b>
4.1 Linienhafte Strombauwerke .....	55
4.1.1 Allgemeine Beschreibung .....	55
4.1.1.1 Material.....	55
4.1.1.1.1 Material - Beschreibung der ökologischen Wirkungen.....	56
4.1.1.1.1.1 Bauwerkskörper.....	56
4.1.1.1.1.2 Verklammerung .....	67
4.1.1.1.1.3 Kernfüllung und Zwischenlagen .....	69
4.1.1.1.1.4 Gründung und Fußsicherung .....	70
4.1.1.1.2 Material - Bewertung der ökologischen Wirkungen .....	70
4.1.1.1.2.1 Ökologische Verbesserungen .....	71

4.1.1.1.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	71
4.1.1.2	Bauweisen.....	73
4.1.1.2.1	Bauweisen - Beschreibung der ökologischen Wirkungen.....	73
4.1.1.2.1.1	Kronenhöhe und Höhenvarianz.....	74
4.1.1.2.1.2	Form.....	78
4.1.1.2.1.3	Länge und Größe.....	80
4.1.1.2.1.4	Lage im Querprofil des Stroms.....	81
4.1.1.2.1.5	Lage im Längsprofil des Stroms.....	82
4.1.1.2.2	Bauweisen - Bewertung der ökologischen Wirkungen.....	86
4.1.1.2.2.1	Ökologische Verbesserungen.....	87
4.1.1.2.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	87
4.1.2	Querbauwerke.....	87
4.1.2.1	Buhnen.....	88
4.1.2.1.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	88
4.1.2.1.1.1	Allgemeine Wirkungen.....	88
4.1.2.1.1.2	Material und Bauweise.....	91
4.1.2.1.1.3	Kronenhöhe und Höhenvarianz.....	92
4.1.2.1.1.4	Länge der Buhnen und Größe der Buhnenfelder.....	95
4.1.2.1.1.5	Form.....	100
4.1.2.1.1.6	Anzahl der Buhnen bzw. Buhnenfelder.....	101
4.1.2.1.1.7	Lage im Längsprofil des Stroms.....	101
4.1.2.1.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	102
4.1.2.1.2.1	Ökologische Verbesserungen.....	103
4.1.2.1.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	104
4.1.2.2	Sohlschwellen.....	105
4.1.2.2.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	105
4.1.2.2.1.1	Allgemeine Wirkungen.....	105
4.1.2.2.1.2	Material und Bauweise.....	107
4.1.2.2.1.3	Kronenhöhe und Höhenvarianz.....	107
4.1.2.2.1.4	Lage im Längsprofil des Stroms.....	108
4.1.2.2.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	108
4.1.2.2.2.1	Ökologische Verbesserungen.....	109
4.1.2.2.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	109
4.1.3	Längsbauwerke (Leitwerke).....	109
4.1.3.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	109
4.1.3.1.1	Allgemeine Wirkungen.....	109
4.1.3.1.2	Material und Bauweise.....	111
4.1.3.1.3	Kronenhöhe und Höhenvarianz.....	111
4.1.3.1.4	Form.....	113
4.1.3.1.5	Lage im Querprofil des Stroms.....	114
4.1.3.1.6	Lage im Längsprofil des Stroms.....	116
4.1.3.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	117
4.1.3.2.1	Ökologische Verbesserungen.....	117
4.1.3.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	118
4.2	Flächenhafte Strombauwerke.....	119
4.2.1	Allgemeine Beschreibung.....	119

4.2.1.1	Material.....	119
4.2.1.1.1	Material - Beschreibung der ökologischen Wirkungen.....	119
4.2.1.1.1.1	Verbringungsmaterial .....	120
4.2.1.1.1.2	Material für die Randsicherung.....	126
4.2.1.1.1.3	Material für die Abdeckung.....	127
4.2.1.1.2	Material - Bewertung der ökologischen Wirkungen .....	128
4.2.1.1.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	128
4.2.1.1.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	129
4.2.1.2	Bauweisen.....	130
4.2.1.2.1	Bauweisen - Beschreibung der ökologischen Wirkungen.....	130
4.2.1.2.1.1	Flächengröße .....	130
4.2.1.2.1.2	Oberflächenniveau.....	132
4.2.1.2.1.3	Neigung der Randbegrenzung .....	137
4.2.1.2.1.4	Form .....	139
4.2.1.2.1.5	Lage im Querprofil des Stroms .....	140
4.2.1.2.1.6	Lage im Längsprofil des Stroms.....	142
4.2.1.2.2	Bauweisen - Bewertung der ökologischen Wirkungen .....	145
4.2.1.2.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	146
4.2.1.2.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	147
4.2.2	Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte.....	148
4.2.2.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	148
4.2.2.1.1	Allgemeine Wirkungen .....	148
4.2.2.1.2	Oberflächenniveau.....	149
4.2.2.1.3	Oberflächenstruktur.....	149
4.2.2.1.4	Form .....	150
4.2.2.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten .....	150
4.2.2.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	151
4.2.2.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	151
4.2.3	Randliche Unterwasserablagerungsflächen.....	151
4.2.3.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	151
4.2.3.1.1	Allgemeine Wirkungen .....	151
4.2.3.1.2	Oberflächenniveau.....	152
4.2.3.1.3	Oberflächenstruktur.....	153
4.2.3.1.4	Form .....	153
4.2.3.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten .....	153
4.2.3.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	153
4.2.3.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	154
4.2.4	Inseln .....	154
4.2.4.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	154
4.2.4.1.1	Allgemeine Wirkungen .....	154
4.2.4.1.2	Oberflächenniveau.....	157
4.2.4.1.3	Oberflächenstruktur und Uferstruktur .....	158
4.2.4.1.4	Form .....	160
4.2.4.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten .....	163
4.2.4.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	163
4.2.4.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	164

4.2.5	Ufervorspülungen .....	165
4.2.5.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten.....	165
4.2.5.1.1	Allgemeine Wirkungen .....	165
4.2.5.1.2	Oberflächenniveau.....	169
4.2.5.1.3	Oberflächenstruktur .....	171
4.2.5.1.4	Form .....	173
4.2.5.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten .....	173
4.2.5.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	174
4.2.5.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	174
4.2.6	Übertiefenverfüllungen.....	175
4.2.6.1	Beschreibung der ökologischen Wirkungen.....	175
4.2.6.1.1	Allgemeine Wirkungen .....	175
4.2.6.2	Bewertung der ökologischen Wirkungen .....	177
4.2.6.2.1	Ökologische Verbesserungen .....	177
4.2.6.2.2	Ökologische Beeinträchtigungen.....	177
4.3	Hinweise zur ökologischen Optimierung .....	177
4.3.1	Linienhafte Strombauwerke .....	178
4.3.2	Flächenhafte Strombauwerke .....	180
<b>5</b>	<b>BESCHREIBUNG UND BEWERTUNG DER GROBRÄUMIGEN WIRKUNGEN HYDROLOGISCHER UND MORPHOLOGISCHER ÄNDERUNGEN .....</b>	<b>183</b>
5.1	Allgemeines zu großräumigen Wirkungen.....	183
5.2	Änderung des Tidehubs .....	184
5.2.1	Beschreibung der Tidehubänderungen .....	184
5.2.2	Ökologische Bedeutung der Tidehubänderung .....	188
5.2.3	Fortsetzung der bisherigen Entwicklung des Tidehubs.....	209
5.2.4	Umkehrung der bisherigen Entwicklung des Tidehubs.....	215
5.2.5	Hinweise zur ökologischen Optimierung .....	220
5.3	Änderung der Niveauflächenverteilung .....	223
5.3.1	Beschreibung der Niveauflächenverteilung im Elbe-Ästuar.....	223
5.3.2	Ökologische Bedeutung der Niveauflächenverteilung.....	228
5.3.3	Niveauflächenänderungen im limnischen Bereich (Abschnitt III).....	239
5.3.4	Niveauflächenänderung im oligohalinen Bereich (Abschnitt IV).....	246
5.3.5	Niveauflächenänderung im polyhalinen Bereich (Abschnitt VI).....	249
5.3.6	Hinweise zur ökologischen Optimierung .....	254
<b>6</b>	<b>EG-WASSERRAHMENRICHTLINIE .....</b>	<b>257</b>
6.1	Allgemeine Zielsetzungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie .....	257
6.2	Lokale Wirkungen von Strombauwerken und ihr Bezug zur EG-Wasserrahmenrichtlinie.....	258
6.2.1	Linienhafte Strombauwerke .....	259
6.2.2	Flächenhafte Strombauwerke .....	259
6.3	Großräumige Wirkungen hydrologischer und morphologischer Änderungen und ihr Bezug zur EG-Wasserrahmenrichtlinie .....	260
6.3.1	Wasserstandsänderungen.....	260
6.3.2	Niveauflächenänderungen .....	261
	<b>LITERATUR / QUELLEN .....</b>	<b>263</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>269</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1-1:	(Regel-)Aufbau eines linienhaften Strombauwerkes (ohne Kernfüllung aus anderen Materialien).....	8
Abbildung 3.1-2:	Anordnung verschiedener linienhafter Strombauwerke im Querprofil eines Stromes (schematische Beispieldarstellung).....	9
Abbildung 3.1-3:	Grundlegende Wirkung linienhafter Strombauwerke (Buhnen), dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil.....	10
Abbildung 3.1-4:	Grundlegende Wirkung linienhafter Strombauwerke (Sohlschwellen), dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil.....	11
Abbildung 3.1-5:	Grundlegende Wirkung linienhafter Strombauwerke (Längsbauwerke), dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil.....	11
Abbildung 3.1-6:	Einzelbuhne.....	16
Abbildung 3.1-7:	Buhnenfelder an der Unterelbe stromab von Geesthacht.....	17
Abbildung 3.1-8:	Variationen der Kronenhöhe im Längsprofil von Buhnen (abstrakte Beispieldarstellung).....	18
Abbildung 3.1-9:	Beispiel einer Sohlschwelle aus Wasserbausteinen.....	20
Abbildung 3.1-10:	Beispiel einer Sohlschwelle aus geotextilen Containern.....	20
Abbildung 3.1-11:	Unterschiedliche Ausführungsformen von Sohlschwellen im Querprofil (abstrakte Beispieldarstellung).....	21
Abbildung 3.1-12:	Leitwerk im Bereich der Außenelbe (bei etwa Thw).....	22
Abbildung 3.1-13:	Leitwerk zur Strommitte hin gelegen.....	24
Abbildung 3.1-14:	Leitwerk randlich gelegen, nicht ans Ufer angebunden.....	23
Abbildung 3.1-15:	Leitwerk randlich gelegen, ans Ufer angebunden.....	25
Abbildung 3.2-1:	Lage flächenhafter Strombauwerke im Strom (abstrakte Beispieldarstellung; Lageplan).....	26
Abbildung 3.2-2:	Lage flächenhafter Strombauwerke im Strom (abstrakte Beispieldarstellung; Querprofil).....	27
Abbildung 3.2-3:	Grundlegende Wirkung flächenhafter Strombauwerke (Draufsicht eines Gewässerabschnittes). Vereinfachte Darstellung des mittleren Geschwindigkeitsprofils.....	28
Abbildung 3.2-4:	Grundlegende Wirkung flächenhafter Strombauwerke (Übertiefenverfüllung - Draufsicht eines Gewässerabschnittes). Vereinfachte Darstellung des mittleren Geschwindigkeitsprofils.....	29
Abbildung 3.2-5:	Geotextile Container als Randsicherung einer Insel im Grass Lake, Illinois, (Quelle: <a href="http://www.auf.uni-rostock.de/lbaw/lb/mitarbeiter/Cantre/geotextile%20Schl%E4uche.html">http://www.auf.uni-rostock.de/lbaw/lb/mitarbeiter/Cantre/geotextile%20Schl%E4uche.html</a> ).....	30
Abbildung 3.2-6:	Querschnitt durch die Randsicherung einer Unterwasserablagerungsfläche (Beweissicherungsdatenbank - Anpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt - <a href="http://www.cux.wsd-nord.de/htm/start.asp">http://www.cux.wsd-nord.de/htm/start.asp</a> ).....	31
Abbildung 3.2-7:	Aufbau einer Unterwasserablagerungsfläche in der Strommitte (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt A-A', siehe Abbildung 3.2-1).....	33
Abbildung 3.2-8:	Unterwasserablagerungsflächen mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	34
Abbildung 3.2-9:	Unterwasserablagerungsflächen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	35
Abbildung 3.2-10:	Aufbau einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt B-B', siehe Abbildung 3.2-1).....	36
Abbildung 3.2-11:	Randliche Unterwasserablagerungsflächen mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	37
Abbildung 3.2-12:	Randliche Unterwasserablagerungsflächen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	38
Abbildung 3.2-13:	Randliche Unterwasserablagerungsfläche mit verlängerten Randlinien (Draufsicht).....	38

Abbildung 3.2-14:	Aufbau einer Insel (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt C-C', siehe Abbildung 3.2-1).....	39
Abbildung 3.2-15:	Inseln mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	40
Abbildung 3.2-16:	Inseln mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	41
Abbildung 3.2-17:	Übersicht verschiedener Uferstrukturen von Inseln.....	42
Abbildung 3.2-18:	Insel mit verlängerten Randlinien (Draufsicht).....	43
Abbildung 3.2-19:	Inselkette mit zwei Inseln (Draufsicht).....	44
Abbildung 3.2-20:	Ufervorspülung ohne Erosionsschutz (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	45
Abbildung 3.2-21:	Uferspülung mit Erosionsschutz (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt D-D', siehe Abbildung 3.2-1).....	46
Abbildung 3.2-22:	Ufervorspülungen mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	47
Abbildung 3.2-23:	Ufervorspülungen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung).....	48
Abbildung 3.2-24:	Übertiefenverfüllung (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt E-E', siehe Abbildung 3.2-1).....	49
Abbildung 4.1-1:	Vegetationsloses Deckwerk mit Steinschüttung im Bereich Nordkehdingen (ca. Elbe-km 685).....	59
Abbildung 4.1-2:	Verklammerte Ufersicherung am Anleger Kollmar, bei Elbe-km 668, rechts. An einer weniger verklammerten Stelle hat sich die Wibels-Schmiele angesiedelt. ....	68
Abbildung 4.1-3:	Vegetationszonierung einer Steinschüttung im limnischen Bereich des Elbe-Ästuars (OERTLING 1992).....	76
Abbildung 4.1-4:	Leitwerk Kugelbake mit Grünalgen der Gattung <i>Enteromorpha</i> (Höhenniveau ca. MThw).....	84
Abbildung 4.1-5:	Besiedlung von Hartsubstraten am Beispiel Weser-Ästuar: Abfolge der Zoobenthosgemeinschaften auf Bühnen entlang des longitudinalen Salinitätsgradienten in der Unter- und Außenweser. Angegeben sind dominante Arten und weitere Kenngrößen (schematisiert - aus BIOCONSULT 1998).....	85
Abbildung 4.1-6:	Teilweise überströmte Buhne.....	93
Abbildung 4.1-7:	Wirbelbildungen im Modellversuch in Abhängigkeit von der Zeit visualisiert (rot); Schwingungen des Stromstrichs um die Mittelachse bei sehr groß gewählten Bühnenabständen (Quelle FELKEL 1975 in RITZERT 2001, Seite 16).....	95
Abbildung 4.1-8:	Wirbelbildung im Modellversuch in Abhängigkeit von der Zeit visualisiert; Bei Bühnenlängen zu Abstandsverhältnissen von 1:1 sind Wirbel und damit der Stromstrich vollkommen stabil (Quelle: FELKEL 1975 in RITZERT 2001, Seite 16).....	96
Abbildung 4.1-9:	Sekundärströmung und hiervon hervorgerufene Verlandungszonen in seitlichen Ausbuchtungen (schematisch, oben Hafenbecken, unten Bühnenfelder) (Quelle: ZANKE 2002, Seite 167).....	94
Abbildung 4.1-10:	Kolk- und Rückenbildung im Bühnenfeld (Quelle: FRANZIUS 1927 in SPANNRING 1999, Seite 11).....	97
Abbildung 4.2-1:	Hjulström-Sundborg-Diagramm. Dieses Diagramm gibt an, bei welcher Strömungsgeschwindigkeit (cm/s; 15 cm über dem Boden) ein Quarzkorn bestimmter Größe erodiert bzw. abgelagert wird. Zahlen=Porosität (FÜCHTBAUER 1988).....	121
Abbildung 4.2-2:	Sandufer an der Unterelbe im Bereich Auberg.....	124
Abbildung 4.2-3:	Längszonierung der benthischen Fauna entlang des Salinitätsgradienten im Ästuar.....	144

Abbildung 5.2-1:	Darstellung der wesentlichen Tidekennwerte (nach DIN 4049-3, Dezember 1992).....	185
Abbildung 5.2-2:	MTnw–Zeitreihen ausgewählter Elbe-Pegel sowie des Pegel Helgoland .....	186
Abbildung 5.2-3:	MThw–Zeitreihen ausgewählter Elbe-Pegel sowie des Pegel Helgoland .....	186
Abbildung 5.2-4:	MThb–Zeitreihen ausgewählter Elbe-Pegel sowie des Pegel Helgoland .....	187
Abbildung 5.2-5:	Verformung der Tidekurve nach oberstrom und reflexionsbedingte Verschiebung der Kenterpunkte (aus ZANKE 2002).....	190
Abbildung 5.2-6:	Änderung des Tidehubs durch Abdämmung und Regelung (aus HENSEN 1959) .....	192
Abbildung 5.2-7:	Uferdeckwerk als landseitige Begrenzung eines Strandsimsen-Röhrichts (Nordkehdingen, ca. Elbe-km 683) .....	205
Abbildung 5.2-8:	Uferdeckwerk als wasserseitige Begrenzung eines Schilf-Röhrichts (Uferdeckwerk bei Eschschallen, Elbe-km 664) .....	206
Abbildung 5.3-1:	Einteilung der Niveauflächen .....	224
Abbildung 5.3-2:	Abgrenzung der Teilabschnitte I bis VII der UVU (nach PÖUN 1997).....	226
Abbildung A2-1:	Abschnitt III, Fallbeispiel 1: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser (FB 1a: Veränderung von 100 ha, FB 1b: Veränderung von 50 ha) .....	273
Abbildung A2-2:	Abschnitt III, Fallbeispiel 2: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser (FB 2a: Veränderung von 100 ha, FB 2b: Veränderung von 50 ha) .....	274
Abbildung A2-3:	Abschnitt III, Fallbeispiel 3: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser (FB 3a: Veränderung von 100 ha, FB 3b: Veränderung von 50 ha).....	275
Abbildung A2-4:	Abschnitt III, Fallbeispiel 4: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt (FB 4a: Veränderung von 100 ha, FB 4b: Veränderung von 50 ha) .....	276
Abbildung A2-5:	Abschnitt IV, Fallbeispiel 5: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser (FB 5a: Veränderung von 200 ha, FB 5b: Veränderung von 100 ha).....	277
Abbildung A2-6:	Abschnitt IV, Fallbeispiel 6: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser (FB 6a: Veränderung von 200 ha, FB 6b: Veränderung von 100 ha) .....	278
Abbildung A2-7:	Abschnitt IV, Fallbeispiel 7: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser (FB 7a: Veränderung von 200 ha, FB 7b: Veränderung von 100 ha).....	279
Abbildung A2-8:	Abschnitt IV, Fallbeispiel 8: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt (FB 8a: Veränderung von 200 ha, FB 8b: Veränderung von 100 ha).....	280
Abbildung A2-9:	Abschnitt VI, Fallbeispiel 9: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser und flachem Tiefwasser (FB 9a: Veränderung von 2000 ha, FB 9b: Veränderung von 1000 ha).....	281
Abbildung A2-10:	Abschnitt VI, Fallbeispiel 10: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser (FB 10a: Veränderung von 2000 ha, FB 10b: Veränderung von 1000 ha).....	282
Abbildung A2-11:	Abschnitt VI, Fallbeispiel 11: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser (FB 11a: Veränderung von 2000 ha, FB 11b: Veränderung von 1000 ha).....	283
Abbildung A2-12:	Abschnitt VI, Fallbeispiel 12: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt (FB 12a: Veränderung von 2000 ha, FB 12b: Veränderung von 1000 ha).....	284

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1-1:	Materialien für den Bau linienhafter Strombauwerke .....	12
Tabelle 3.1-2:	Parameter für den Bau linienhafter Strombauwerke .....	15
Tabelle 3.1-3:	Parameter für den Bau von Buhnen.....	17
Tabelle 3.1-4:	Parameter für den Bau von Sohlschwellen.....	19
Tabelle 3.1-5:	Parameter für den Bau von Leitwerken.....	23
Tabelle 3.2-1:	Materialien für den Bau flächenhafter Strombauwerke .....	29
Tabelle 3.2-2:	Parameter für den Bau flächenhafter Strombauwerke.....	32
Tabelle 3.2-3:	Parameter für den Bau von Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte	34
Tabelle 3.2-4:	Parameter für den Bau von randlichen Unterwasserablagerungsflächen .....	37
Tabelle 3.2-5:	Parameter für den Bau von Inseln .....	39
Tabelle 3.2-6:	Parameter für den Bau von Ufervorspülungen.....	46
Tabelle 4.2-1:	Bedeutung der Substratverhältnisse für die Vegetation im limnischen Abschnitt der Untereibe .....	121
Tabelle 4.2-2:	Höhenzonierung der Vegetation im limnischen Abschnitt der Untereibe (an naturnahen Standorten).....	134
Tabelle 4.2-3:	Höhenzonierung der Vegetation im polyhalinen bis marinen Abschnitt der Untereibe (an naturnahen Standorten).....	135
Tabelle 4.2-4:	Vegetation der Untereibe entlang des Salinitätsgradienten (unter naturnahen Standort-Bedingungen) .....	143
Tabelle 5.2-1:	Untergrenze der Verbreitung charakteristischer Pflanzenarten des Elbe-Ästuars .....	203
Tabelle 5.3-1:	Flächenänderungen in den Teilabschnitten III bis VII der UVU (verändert nach PÖUN 1997).....	225
Tabelle 5.3-2:	Fallbeispiele zur Niveauflächenverteilung .....	228
Tabelle 6-1:	Begriffsbestimmungen für die biologische Qualitätskomponente des höchsten und des guten ökologischen Potenzials von erheblich veränderten Wasserkörpern .....	258
Tabelle A1-1:	Höhen- und Tiefenangaben bezogen auf KN (aufgrund der oben aufgeführten Annahmen).....	270
Tabelle A1-2:	Höhen- und Tiefenangaben bezogen auf MTnw (aufgrund der oben aufgeführten Annahmen).....	271

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Auftrages zur Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe wurden durch die BfG bereits Teil 1 und Teil 2 in den Jahren 2002 und 2003 abgeschlossen (BfG 2002, 2003).

In Teil 1 (BfG 2002) wurden die ökologischen Entwicklungsziele für das Elbe-Ästuar dargestellt, der ökologische Ist-Zustand des Elbe-Ästuars beschrieben und Möglichkeiten aufgezeigt, mit welchen Maßnahmen(typen) eine Verbesserung der ökologischen Situation in Hinblick auf die Entwicklungsziele zu erreichen wären. Ergänzend dazu wurden räumliche Bereiche benannt, welche sich für die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmentypen eignen würden.

Im darauf aufbauenden Teil 2 (BfG 2003) erfolgte im Wesentlichen die inhaltliche Vertiefung sowie die räumliche Konkretisierung der in Teil 1 erarbeiteten konzeptionellen Vorarbeiten. Für 19 ausgewählte Maßnahmenggebiete wurde die Möglichkeit der Umsetzung einzelner Maßnahmentypen sowie die jeweils damit verbundene erzielbare ökologische Aufwertung beschrieben und bewertet. Weiterhin wurde geprüft, ob eine Maßnahme realisierbar erscheint bzw. mit welchen Schwierigkeiten bei einer Umsetzung zu rechnen ist. Ebenso wurde beurteilt, ob die Maßnahmen, welche den aquatischen Bereich betreffen, aus wasserbaulicher Sicht realisierbar sind. In 5 Szenarien wurden verschiedene Randbedingungen beschrieben, unter denen die Maßnahmen für eine ökologische Aufwertung vorrangig betrachtet werden sollten.

Der nun vorliegende Teil 3 geht bei der Untersuchung des ökologischen Potenzials der Unter- und Außenelbe der speziellen Frage nach, inwieweit auch strombauliche Maßnahmen zu einer nachhaltigen Entwicklung des Elbe-Ästuars beitragen können. Dabei gilt es, Strombauwerke nicht als technisch unveränderlich anzusehen, sondern die Strombauwerke und den Strombau aus ökologischer Sicht zu modifizieren und zu optimieren. Dazu werden zuerst in einer weitgehend abstrakten Darstellung und möglichst ohne örtlichen Bezug die möglichen linienhaften und flächenhaften Strombauwerke hinsichtlich ihrer strombaulichen Funktionen, des Materials und ihrer Bauweisen beschrieben.

Anschließend erfolgt eine Beschreibung und Bewertung der Wirkungen, die mit den unterschiedlichen Materialien und Bauweisen in Bezug auf verschiedene Schutzgüter und Parameter verbunden sind bzw. von diesen auf die unmittelbare Umgebung ausgehen können (lokale Wirkungen). Die wesentlichen ökologischen Wirkungen (Verbesserungen, Beeinträchtigungen) werden jeweils zusammengefasst und daraus einige zentrale Kernpunkte zur ökologischen Optimierung linienhafter und flächenhafter Strombauwerke abgeleitet.

Die Wirkungen von Strombauwerken gehen jedoch vielfach über das Bauwerk selbst und seine unmittelbare Umgebung hinaus. Während sich die lokalen Wirkungen von Strombauwerken noch weitgehend losgelöst von der konkreten Lage und Gestaltung eines Strombauwerks beschreiben lassen, ist dies bei den großräumigen Wirkungen nicht möglich. Um dennoch Einschätzungen bestimmter Wirkungen vornehmen zu können, werden Annahmen bezüglich der Veränderungen verschiedener hydrologischer und morphologischer Parameter (hier: Ver

änderungen des Tidehubs und der Niveauflächenverteilung) getroffen. Schutzgutbezogen werden die ökologischen Wirkungen dieser angenommenen Änderungen beschrieben und bewertet. Diese Veränderungen werden in unterschiedlichen Fallbeispielen mit variierenden Größen betrachtet. Künftige Planungen von Strombauwerken lassen sich hinsichtlich ihrer dann im konkreten Fall ermittelten Wirkungen mit diesen Fallbeispielen vergleichen und hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen einschätzen.

Die Ergebnisse von Teil 3 zeigen, dass die Möglichkeiten einer Optimierung sowohl für linienhafte als auch flächenhafte Strombauwerke bestehen und damit aus ökologischer Sicht Verbesserungen gegenüber den bisher errichteten Strombauwerken erzielt werden können. Dies kann vor allem bei der möglichst naturnahen Gestaltung flächenhafter Strombauwerke der Fall sein. Direkte Vergleiche zwischen linienhaften und flächenhaften Strombauwerken konnten im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht angestellt werden.

Positive Wirkungen auf das Gewässer wären vor allem durch eine mögliche Reduzierung des Tidehubs gegeben. Durch die damit verbundene Ausdehnung von Flachwasserbereichen könnten vielfältige ökologische Funktionen des Gewässers gestärkt werden. Ähnliche Verbesserungen bei Flachwasserbereichen könnten durch Veränderungen der Niveauflächen vor allem im limnischen und oligohalinen Abschnitt des Elbe-Ästuars erzielt werden.

Am Schluss von Teil 3 erfolgt eine kurze Betrachtung, inwieweit sich die Überlegungen zur Optimierung von linienhaften und flächenhaften Strombauwerken in Übereinstimmung mit den Forderungen und Zielen der EU-WRRL befinden. Eine Ausdehnung der Flachwasserbereiche würde beispielsweise in hohem Maße den Zielsetzungen der EG-WRRL entsprechen.

# 1 Veranlassung und Zielsetzung

Im Rahmen des Auftrages zur Untersuchung des ökologischen Potenzials der Unter- und Außenelbe hat die BfG im März 2002 den Teil 1 (BFG 2002) und im Juni 2003 den Teil 2 (BFG 2003) abgeschlossen.

Der Auftrag zur Untersuchung des ökologischen Potenzials der Unter- und Außenelbe hat verschiedene Teilaspekte zum Inhalt. Der Schwerpunkt von Teil 1 liegt – aufbauend auf einer Beschreibung des Ist-Zustands – auf der Darstellung ökologischer Entwicklungsziele für das Elbe-Ästuar zwischen dem Wehr Geesthacht und der Nordsee (ohne Nebenflüsse). Darüber hinaus wurden Maßnahmen(typen) zur Aufwertung des ökologischen Zustands erarbeitet und in einer zusammenfassenden Betrachtung bewertet. In Teil 2 erfolgte die inhaltliche Vertiefung der in Teil 1 erarbeiteten konzeptionellen Vorschläge sowie die räumliche Konkretisierung für 19 Maßnahmengebiete.

Im Teil 3 soll der speziellen Frage nachgegangen werden, inwieweit erforderlich werdende strombauliche Maßnahmen zu einer nachhaltigen Entwicklung des Elbe-Ästuars beitragen können. Dabei gilt es, Strombauwerke nicht als technisch unveränderlich anzusehen, sondern Grundlagen zu schaffen, mit denen Strombauwerke und der Strombau aus ökologischer Sicht modifiziert und optimiert werden können. Es gilt also zu prüfen, ob die unterschiedlichen Strombauwerke ökologische Funktionen und Prozesse fördern (können) oder negativ beeinflussen (können).

Dabei sind sowohl die unterschiedlichen Arten von Strombauwerken in einer weitgehend abstrakten Weise und möglichst ohne örtlichen Bezug hinsichtlich ihrer strombaulichen Funktionen, des Materials und ihrer Bauweisen darzustellen und zu beschreiben. Weiterhin sollen die Wirkungen, die mit den unterschiedlichen Materialien und Bauweisen in Bezug auf verschiedene Schutzgüter und Parameter verbunden sind bzw. von diesen auf die unmittelbare Umgebung ausgehen (lokale Wirkungen) ermittelt und zu bewertet werden.

Da die Wirkungen von Strombauwerken jedoch vielfach über das Bauwerk selbst und seine unmittelbare (lokale) Umgebung hinausgehen, sind auch die großräumigen Wirkungen, insbesondere hinsichtlich verschiedener hydrologischer und morphologischer Parameter, zu erfassen und einer Bewertung zu unterziehen.

Abschließend soll auch in Teil 3 eine kurze Betrachtung erfolgen, inwieweit sich die Überlegungen zur Optimierung von Strombauwerken in Übereinstimmung mit den Forderungen und Zielen der EU-WRRL befinden.

## 2 Vorgehensweise bei der Bearbeitung

### 2.1 Darstellung der Vorgehensweise

Für die Bearbeitung des Teils 3 war eine intensive Vorabstimmung mit dem Auftraggeber erforderlich, um die Vielzahl von Variationsmöglichkeiten, die es bei der Bauweise und Ausgestaltung von Strombauwerken gibt, so einzugrenzen, dass die für den Auftraggeber relevanten Strombauwerke betrachtet werden.

Dabei wurde seitens des Auftraggebers deutlich gemacht, dass der Schwerpunkt der Bearbeitung bei den Strombauwerken liegen soll, die gegenwärtig ausgeführt oder geplant werden. Diese aktuellen Strombauwerke unterscheiden sich von früheren Strombauwerken durch folgende Veränderungen:

- Sie bestehen häufiger aus anderen Materialien (verstärkt Einsatz von Geotextilien an Stelle von Wasserbausteinen).
- Sie sind großflächiger (verstärkt flächige an Stelle linienhafter Strombauwerke).
- Sie sind weniger sichtbar (verstärkt unter MTnw endende Strombauwerke).

Unabhängig von der geänderten Bauweise bleiben die Funktionen der Strombauwerke bestehen, nämlich die Lenkung des Stroms und der Schutz der Ufer. Es kommt aber eine weitere wesentliche Funktion hinzu: künftige Strombauwerke an der Unter- und Außenelbe sollen dazu beitragen, dass das Niedrigwasser nicht weiter absinkt.

Die einzelnen Arbeitsschritte stellen sich wie folgt dar:

Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Wirkungen ist eine allgemeine Beschreibung der Strombauwerke (strombauliche Funktion, Material, Bauweise) in Kapitel 3. Um nachfolgend qualitative Unterschiede verschiedener Bauweisen bzw. Arten von Strombauwerken aufzeigen zu können, werden jeweils einzelne Parameter, z. B. Höhen, Länge, Form usw., variiert. Die Beschreibungen werden durch skizzenhafte Darstellungen (Lageskizzen, Profile, abstrakte Beispieldarstellungen) von Strombauwerken bzw. den ausgewählten Variationsmöglichkeiten ergänzt. Die Darstellungen erfolgen ohne konkreten örtlichen Bezug zur Elbe.

Auf der Grundlage dieser Beschreibungen werden in Kapitel 4 schutzgutbezogen die möglichen lokalen ökologischen Wirkungen der verschiedenen Strombauwerke, z. B. die Bedeutung unterschiedlicher Baumaterialien für die faunistische Besiedlung, dargestellt und bewertet. Die lokalen Wirkungen beziehen sich dabei auf das Strombauwerk selbst bzw. seine nähere Umgebung.

Mit der Bewertung der verschiedenen Parameter für den Bau von Strombauwerken werden Grundlagen geschaffen, um künftig erforderlich werdende Strombaumaßnahmen in der Unter- und Außenelbe aus ökologischer Sicht zu modifizieren bzw. zu optimieren. Hauptsächlich sind dabei Fragen danach zu beantworten, ob die unterschiedlichen Strombauwerke ökologische Funktionen und Prozesse fördern (können) oder negativ beeinflussen (können). Die Betrachtung soll im Wesentlichen auf einem abstrakten Niveau erfolgen, d. h., nicht an konkrete

ten örtlichen Beispielen durchgeführt werden. Sie wird im regionalen Längsschnitt der Unter- und Außenelbe durchgeführt, weil insbesondere in Längsrichtung von der See stromaufwärts die hydrographischen Parameter (Salinität, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, Trübung, etc.) ganz wesentlich die ökologischen Milieubedingungen bestimmen.

Die Wirkungen von Strombauwerken gehen jedoch vielfach über das Bauwerk selbst und seine unmittelbare (lokale) Umgebung hinaus und sind deshalb auch großräumig zu betrachten.

Während sich die lokalen Wirkungen der Strombauwerke noch weitgehend losgelöst von der konkreten Lage und Gestaltung eines Strombauwerks beschreiben lassen, ist dies bei den großräumigen Wirkungen nicht möglich. Um dennoch Einschätzungen bestimmter Wirkungen vornehmen zu können, werden Annahmen bezüglich der Veränderungen verschiedener hydrologischer und morphologischer Parameter getroffen (hier: Veränderungen des Tidehubs und der Niveauflächenverteilung), die mit dem Bau von Strombauwerken verbunden sein können. Schutzgutbezogen werden die ökologischen Wirkungen dieser Änderungen beschrieben und bewertet. Diese Veränderungen werden in unterschiedlichen Fallbeispielen mit variierenden Größen betrachtet. Künftige Planungen von Strombauwerken lassen sich hinsichtlich ihrer dann im konkreten Fall ermittelten Wirkungen mit diesen Fallbeispielen vergleichen und hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen einschätzen. Auf diese Weise können Strombauwerke aus ökologischer Sicht modifiziert bzw. optimiert werden und gegebenenfalls einen Beitrag zu ökologischer Entwicklung des Elbe-Ästuars leisten.

Die großräumigen Wirkungen werden besonders auf der Grundlage vorhandener Daten und Kenntnisse bisheriger Entwicklungen beurteilt. Die zu betrachtenden Fallbeispiele sind mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Da sich die verschiedenen Strombauwerke hinsichtlich des verwendeten Materials, der Bauweise usw. zum Teil gleichen, lassen sich im nachfolgenden Textteil Wiederholungen nicht immer vermeiden. Die Beschreibung und Bewertung erfolgt jeweils bei der ersten Nennung eines Strombauwerks, in der weiteren Bearbeitung kann dann auf diese Angaben verwiesen werden. Obwohl Uferdeckwerke zu den Strombauwerken gerechnet werden, werden sie nachfolgend nicht behandelt, da sie bei den aktuellen Planungen nur von untergeordneter Bedeutung sind.

Schließlich werden die Überlegungen zur Optimierung von Strombauwerken dahingehend betrachtet, inwieweit sich damit Übereinstimmungen mit den Forderungen und Zielen der EG-WRRL ergeben.

## **2.2 Vorgehensweise bei der Bewertung**

### **Allgemeine Hinweise zur Bewertung**

Eine formale Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Strombauwerken - wie sie z. B. im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie erfolgt - wurde für die vorliegende Ausarbeitung als nicht geeignet angesehen. Zum einen liegen als Grundlage der Bearbeitung keine konkreten Planungen mit konkretem Ortsbezug, sondern abstrakte, idealisiert dargestellte

Strombauwerke vor. Ohne Ortsbezug können deren konkrete ökologische Auswirkungen im Sinn eines Vergleichs mit dem bestehenden Ist-Zustand jedoch nicht erfasst und bewertet werden. Zum anderen sind die Strombauwerke durch viele Parameter mit jeweils vielen Variationsmöglichkeiten beschrieben, was im Falle einer Bewertung aller denkbaren Varianten zu einer unüberschaubar hohen Anzahl an „Strombauwerkstypen“ führen würde.

Um die ökologischen Auswirkungen der Strombauwerke aus naturschutzfachlicher Sicht zu interpretieren, sollen jedoch trotzdem Bewertungsaussagen erfolgen, allerdings mit Hilfe einer rein verbal-argumentativen Methodik. Die Bewertung gliedert sich dabei in zwei aufeinander aufbauende Teile:

- Beschreibung der mit den ökologischen Auswirkungen verbundenen ökologischen Verbesserungen bzw. Beeinträchtigungen.
- Beschreibung der Möglichkeiten zur ökologischen Optimierung der Strombauwerke.

#### **Beschreibung der mit den Wirkungen verbundenen ökologischen Verbesserungen bzw. Beeinträchtigungen**

Ausgehend von der Beschreibung der ökologischen Wirkungen erfolgt eine Analyse, in welcher Hinsicht mit diesen Wirkungen ökologische Verbesserungen oder ökologische Beeinträchtigungen verbunden sind. Grundlage dafür ist eine kurze Darstellung der Kriterien, die für diese Analyse maßgebend sind. Hier sind insbesondere die Ergebnisse der Potenzialanalyse Teil 1 (Leitbild, Umweltziele) zu berücksichtigen. Die Bearbeitung erfolgt getrennt nach den einzelnen Schutzgütern. Sind mit einer Wirkung positive und negative Folgen verbunden (zum Beispiel bei der Umwandlung von Flachwasserzonen in Wattbereiche durch Sedimentation) so ist nach Möglichkeit darzustellen, ob dies in der Summe aus Sicht des Schutzguts eine ökologische Verbesserung oder eine ökologische Beeinträchtigung bedeutet oder ob die Auswirkungen neutral zu bewerten sind.

#### **Beschreibung der Möglichkeiten zur ökologischen Optimierung der Strombauwerke**

Aufbauend auf der Analyse der ökologischen Verbesserungen und Beeinträchtigungen erfolgt eine zusammenfassende Beschreibung der wesentlichen Möglichkeiten zur ökologischen Optimierung der Strombauwerke. Zusammenfassend wird dargestellt, wie durch die Anlage von Strombauwerken ökologische Verbesserungen erzielt bzw. mögliche ökologische Beeinträchtigungen reduziert werden können. Die Hinweise erfolgen schutzgutübergreifend, so dass die Querbezüge und Übereinstimmungen zwischen den verschiedenen Themen deutlich werden. Die Hinweise beschränken sich dabei auf die wirkungsvollsten und wesentlichen Möglichkeiten zur ökologischen Optimierung von Strombauwerken.

## 3 Beschreibung der Strombauwerke

Strombauwerke dienen im Wesentlichen der Lenkung eines Flusses oder Stroms und dem Schutz der Ufer. In ihrer klassischen Ausprägung umfassen sie **Quer- und Längsbauwerke** sowie **Uferdeckwerke, d. h. stärker linienhaft ausgebildete Bauwerke**. Aktuell treten jedoch immer mehr **flächenhafte Strombauwerke** hinzu. Mit ihnen werden andere Zielsetzungen verfolgt, nämlich verstärkt eine Dämpfung des Tidehubs zu bewirken. Die unterschiedlichen Arten von Strombauwerken werden nachfolgend beschrieben.

Die jeweiligen Strombauwerke können dabei in Bezug auf verschiedene Parameter, z. B. Höhe, Länge, Form usw., variiert werden. Es werden für die einzelnen Strombauwerke und die verschiedenen Parameter **beispielhaft** jeweils mehrere Variationsmöglichkeiten vorgegeben, die in ihrer ökologischen Wirkung sehr unterschiedlich sein können. Diese unterschiedlichen ökologischen Wirkungen werden in Kapitel 4 aufgezeigt und bewertet. Die Beschreibungen werden durch skizzenhafte Darstellungen (Lageskizzen, Profile) von Strombauwerken bzw. den ausgewählten Variationsmöglichkeiten für verschiedene Parameter ergänzt. Die teilweise abstrakten Beispieldarstellungen sollen dabei lediglich das grundsätzliche Prinzip der einzelnen Variationsmöglichkeiten erläutern. Alle Darstellungen erfolgen wegen der grundsätzlichen Betrachtungsweise ohne konkreten Ortsbezug zur Elbe.

Unterhaltungsmaßnahmen oder sonstige Maßnahmen die ebenfalls strombauliche Regelungsziele erfüllen können, z. B. Pflegebaggerungen in Nebenrinnen oder Verklappungen, sowie vorwiegend Uferschutzzwecken dienende Strombauwerke, z. B. Lahnungen oder Uferdeckwerke, werden wegen ihrer geringen Bedeutung hinsichtlich der Aufgabenstellung nicht behandelt.

### 3.1 Linienhafte Strombauwerke

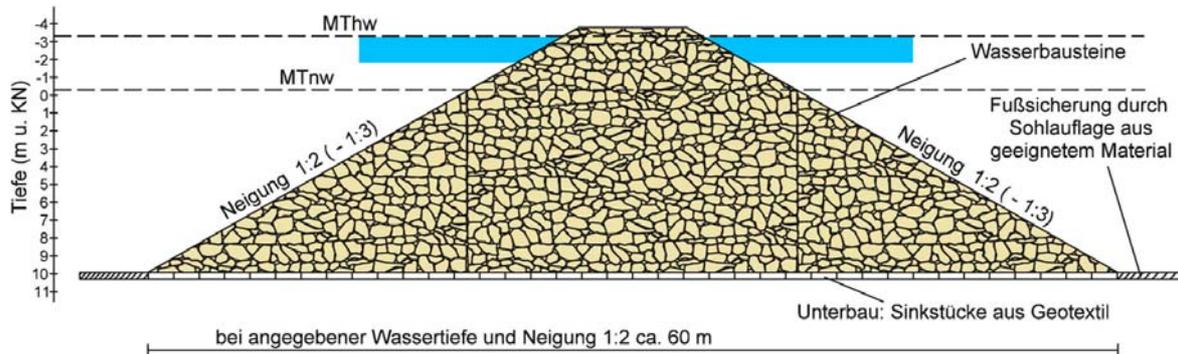
#### 3.1.1 Allgemeine Beschreibung

In der Vergangenheit wurden zu Strombauzwecken im Ästuarbereich hauptsächlich linienhafte Strombauwerke mit einem weitgehend ähnlichen Aufbau und Querschnitt errichtet.

Der Aufbau eines linienhaften Strombauwerks lässt sich bei dieser bisher üblichen Bauweise wie folgt beschreiben: Auf einer Gründungsschicht wird der eigentliche Bauwerkskörper aus Wasserbausteinen angeschüttet. Der Bauwerkskörper kann im Innern gegebenenfalls eine Kernfüllung aus anderen Materialien und Zwischenlagen enthalten. Sofern dieser Kern aus feinkörnigem Material besteht, ist er mit einer geeigneten Filterschicht gegenüber den aufliegenden Wasserbausteinen abzudecken, damit das Kernmaterial nicht ausgespült und die Standsicherheit des Strombauwerks nicht gefährdet wird. Am Rand wird das Strombauwerk gegebenenfalls mit einer Fußsicherung versehen.

Diese Strombauwerke werden mit einem trapezförmigen Profil mit Böschungsneigungen von ca. 1 : 2 bis 1 : 3 angelegt. Die Kronenhöhe liegt meist etwas über MThw, die gesamte Höhe

des Strombauwerks richtete sich dabei nach den anstehenden Gewässertiefen. Abbildung 3.1-1 zeigt einen (Regel-)Aufbau eines linienhaften Strombauwerks.

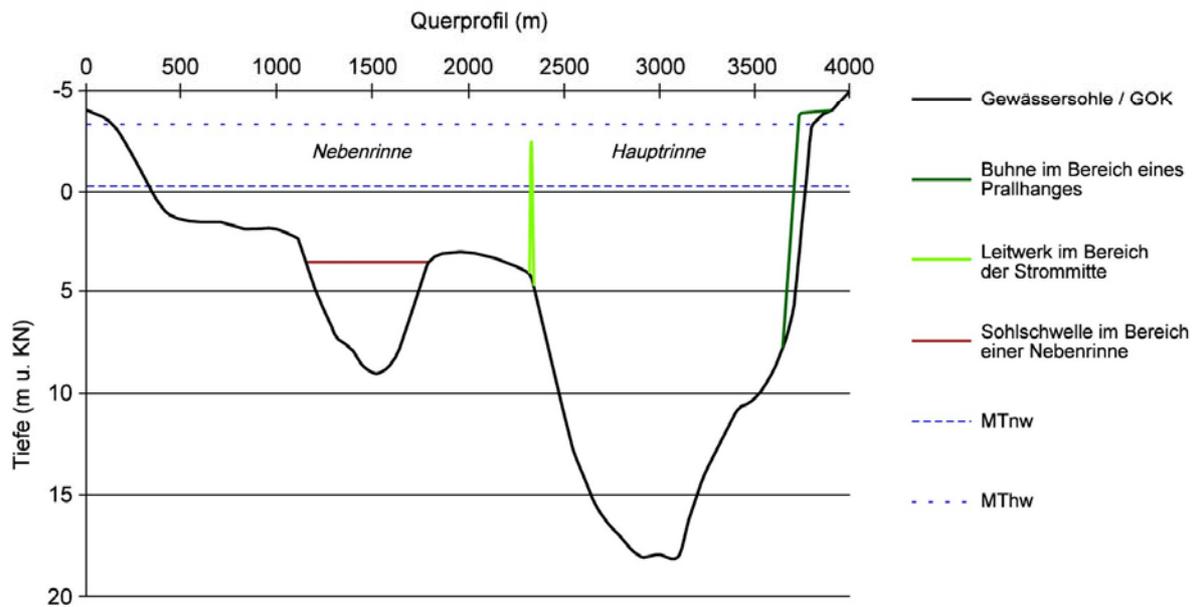


**Abbildung 3.1-1: (Regel-)Aufbau eines linienhaften Strombauwerkes (ohne Kernfüllung aus anderen Materialien)**

Die linienhaften Strombauwerke werden nach ihrer Lage und Ausrichtung in Quer- und Längsbauwerke unterschieden. Die typischen Querbauwerke (Buhnen) sind am Ufer angeordnet, während die Längsbauwerke mehr zur Strommitte hin gelegen sind.

Aktuelle Überlegungen im Rahmen von Strombaukonzeptionen an der Elbe beinhalten jedoch auch unter Tideniedrigwasser endende linienhafte Querbauwerke in Form von Barren oder Sohlschwellen im Bereich von Nebenrinnen. Aufgrund dieser Aktualität werden diese Strombauwerke deshalb mit betrachtet. Unabhängig von den verschiedenen Begrifflichkeiten (Barre, Sohlschwelle, Grundschwelle) und der jeweiligen exakten Definition wird im Weiteren nur der Begriff Sohlschwelle verwendet.

Die nachfolgende Abbildung 3.1-2 zeigt beispielhaft die Anordnung verschiedener linienhafter Strombauwerke im Querprofil eines Stromes.



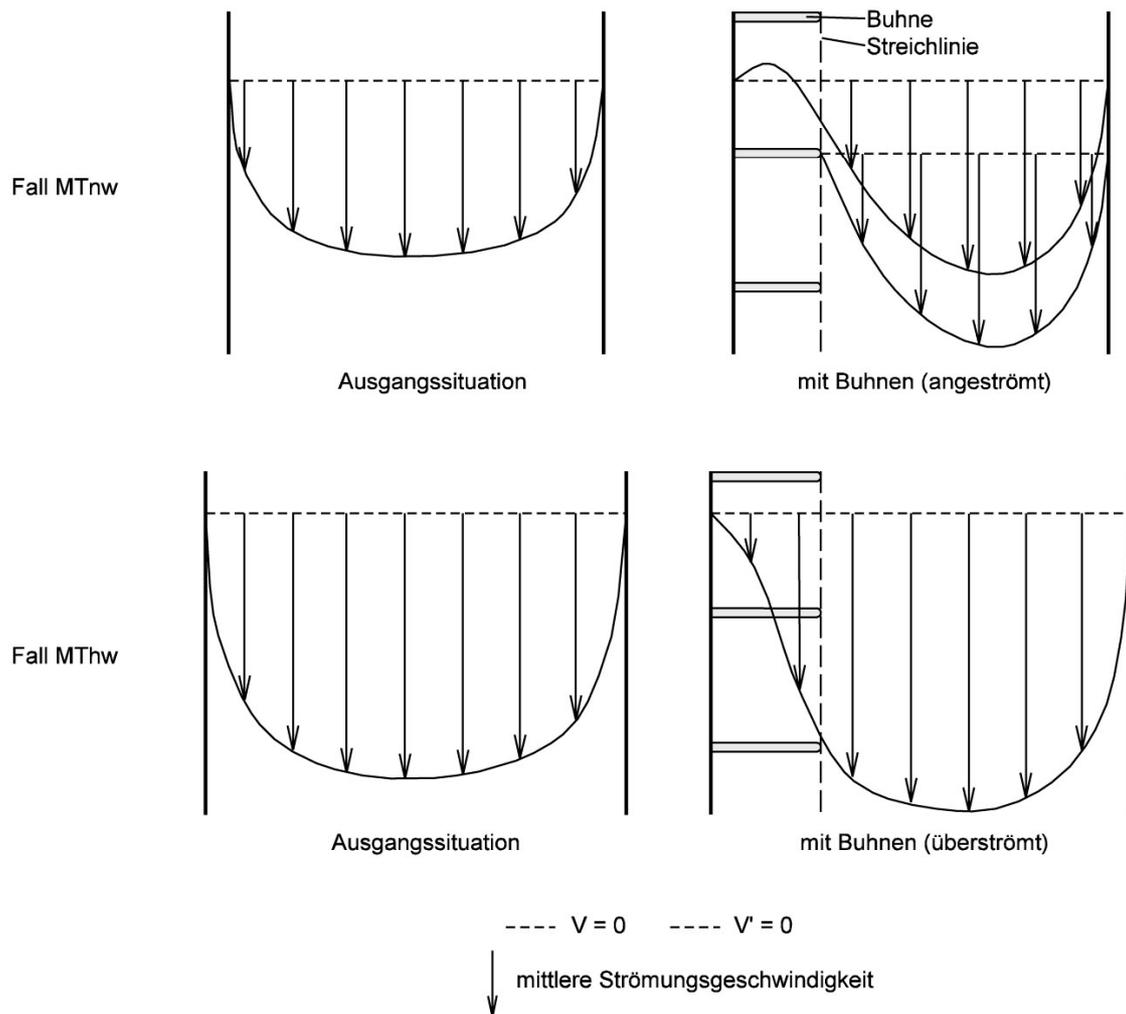
**Abbildung 3.1-2: Anordnung verschiedener linienhafter Strombauwerke im Querprofil eines Stromes (schematische Beispieldarstellung)**

### 3.1.1.1 Strombauliche Funktionen

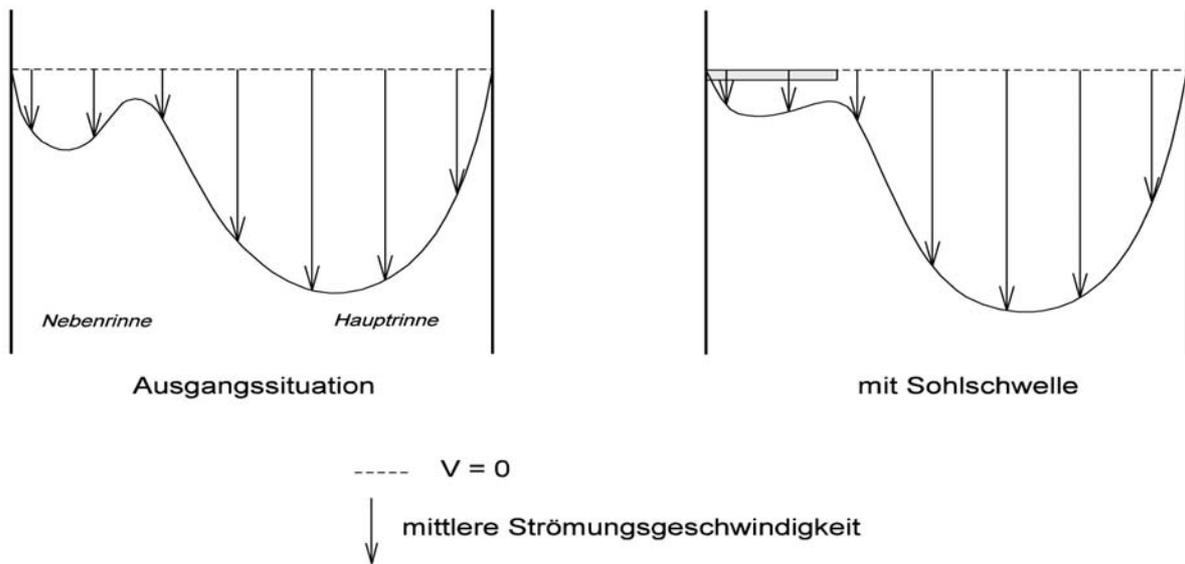
Wesentliche strombauliche Funktionen der beschriebenen linienhaften Bauwerke (Buhnen und Leitwerke als Bestandteile des klassischen Strombaus) sind die Konzentration des Hauptdurchflusses auf die Fahrrinne (Strombündelung) und die Küsten- und Ufersicherung. Sohl-schwellen üben weniger die eben beschriebenen Wirkungen aus, vielmehr wird ihre strom-bauliche Hauptwirkung darin gesehen, die Rauheit zu erhöhen und somit eine Dämpfung der Wasserstände (Tidehub) zu erreichen.

#### ***Konzentration des Hauptdurchflusses auf die Fahrrinne (Strombündelung):***

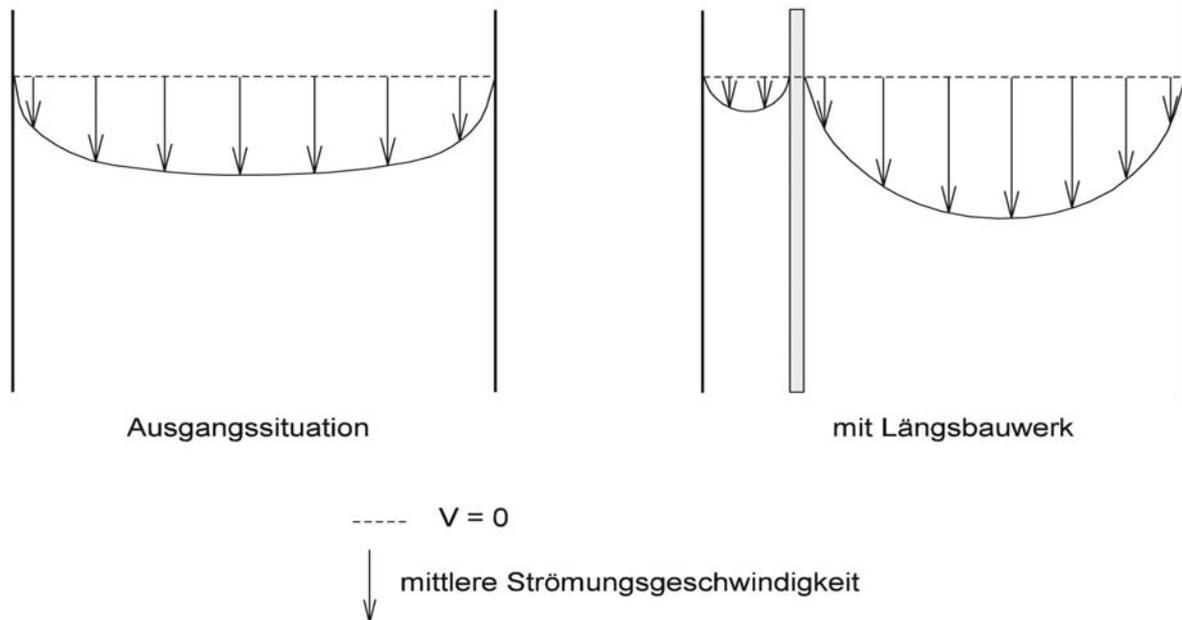
Buhnen und Leitwerke verändern den Durchflussquerschnitt. Der Hauptdurchfluss wird in die Strommitte bzw. den Bereich der Fahrrinne gelenkt. Wesentliche Ziele dieser Strombündelung sind der Erhalt von Mindesttiefen für die Schifffahrt sowie die Reduktion von Unterhaltungs-baggerungen. Durch die Strombündelung werden die Strömungsgeschwindigkeiten vergrößert und infolgedessen unerwünschte Sedimentationsprozesse, welche aufwändige Unterhaltungs-baggerungen zur Folge haben, in bestimmten Bereichen der Fahrrinne reduziert. Die grundlegenden Wirkungen der verschiedenen linienhaften Strombauwerke auf die Strömung, dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil, zeigen die Abbildungen 3.1-3 bis 3.1-5.



**Abbildung 3.1-3: Grundlegende Wirkung linienhafter Strombauwerke (Buhnen), dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil**



**Abbildung 3.1-4: Grundlegende Wirkung linienhafter Strombauwerke (Sohlenschwellen), dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil**



**Abbildung 3.1-5: Grundlegende Wirkung linienhafter Strombauwerke (Längsbauwerke), dargestellt am mittleren Geschwindigkeitsprofil**

**Ufersicherung:**

Leitwerke und Buhnen tragen dazu bei, dass der Strömungsangriff auf die Ufer und die Wirkung auflaufender Wellen reduziert werden, und schützen so die Ufer vor zu starker Erosion.

**Dämpfung von Tidewasserständen:**

Aktuelle Untersuchungen der BAW (BAW 2003) zeigen, dass eine Sohlschwelle (im Gutachten der BAW als Barre bezeichnet) eine dämpfende Wirkung auf kennzeichnende Tidewasserstände ausüben kann. So kann durch eine Sohlschwelle verhindert werden, dass noch viele Kilometer stromaufwärts des Querbauwerks das Tideniedrigwasser weiter absinkt. Diese dämpfende Wirkung von Strombauwerken auf die Tidewasserstände kann bei künftigen Vorhaben eine zentrale Bedeutung erlangen.

**3.1.1.2 Material**

Zur Errichtung des Bauwerkskörpers, zur möglicherweise erforderlich werdenden Verklammerung, für die Kernfüllung und Zwischenlagen sowie für die Gründung und Fußsicherung können unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen. Die nachfolgende Tabelle 3.1-1 gibt einen Überblick über die zum Bau von linienhaften Strombauwerken hauptsächlich verwendeten Materialien.

**Tabelle 3.1-1: Materialien für den Bau linienhafter Strombauwerke**

Bauwerkskörper	Verklammerung	Kernfüllung und Zwischenlagen	Gründung und Fußsicherung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserbausteine</li> <li>• Natursteine</li> <li>• Schlackensteine</li> <li>• Größenklassen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 - 15 cm</li> <li>• 15 - 45 cm</li> <li>• 45 - 100 cm</li> </ul> </li> <li>• Oberflächenbeschaf – fenheit                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• glatt</li> <li>• rau</li> </ul> </li> <li>• Geotextilien                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtermatten</li> <li>• Behälter</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vollverklammert</li> <li>• teilverklammert</li> <li>• nicht verklammert</li> <li>• Beton/Zementmörtel</li> <li>• Bitumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sand</li> <li>• Kies</li> <li>• Schotter</li> <li>• Geotextilien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinkstücke aus Geotextilien</li> <li>• Buschlagen/Faschinen</li> </ul>

**3.1.1.2.1 Bauwerkskörper**

**Wasserbausteine**

Der Bauwerkskörper linienhafter Strombauwerke ist oftmals nur aus Wasserbausteinen aufgebaut, die auf einer Gründungsschicht aufliegen (siehe Abbildung 3.1-2: (Regel-)Aufbau eines linienhaften Strombauwerkes). Als Wasserbausteine, die in wasserbaulichen Schutz- und Regulierungsbauwerken in Küstengewässern eingesetzt werden, kommen **Natur- und Schlackensteine** in Frage (TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN FÜR WASSERBAUSTEINE (TLW), AUSGABE 2003).

Im Wasserbau werden beispielsweise folgende Natursteine verwendet: Granite, Gabbros/Noirite, Basalte, Diabs, Grauwacken und Gneise.

Unter dem Begriff Schlackensteine versteht man industriell hergestelltes Gestein, das bei der Metallerzeugung oder Erzverhüttung im Schmelzfluss gebildet wird. In diesem Prozess ent

stehen Schlacken durch die Reaktion der Metallbegleitelemente mit den Zuschlägen (z. B. Kalk). Für den Wasserbau eignen sich Eisenhüttenschlacken bzw. Metallhüttenschlacken (z. B. Kupferhüttenschlacken) aus der Gewinnung von Eisen und Stahl bzw. von Nichteisen-Metallen.

Eine Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von Schlackensteinen in Bundeswasserstrassen stellt die BfG anhand einer Methodik zur Beurteilung der Umweltgefährdung bereit (BFG-MERKBLATT, VERSION JULI 2004).

Im Küstenbereich werden hauptsächlich Kupferschlackensteine (CUS) eingesetzt. Die Eignung von Schlackensteinen als Wasserbausteine beruht im Wesentlichen auf ihrer Verwitterungsbeständigkeit und der hohen Gesteinsdichte, die gegenüber anderen Materialien zu verringerten Einbaudicken oder kleineren Steingrößen führen kann.

#### **Größenklassen:**

Wasserbausteine werden von ihrer Größe her in unterschiedliche Schüttsteinklassen eingeteilt. Die hier beschriebenen Größen entsprechen etwa den in den TECHNISCHEN LIEFERBEDINGUNGEN FÜR WASSERBAUSTEINE (TLW), AUSGABE 1997, definierten Klassen 0 (5 - 15 cm), III (15 - 45 cm) und V (35 - 100 cm). Die unterschiedlichen Größenklassen - die auch gemischt verwendet werden können - bewirken unterschiedliche Gesamtoberflächen und Hohlraumssysteme sowie eine unterschiedliche Stabilität des Bauwerks.

#### **Oberflächenbeschaffenheit:**

Die verschiedenen Gesteine, die als Wasserbausteine eingesetzt werden, unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Oberflächenbeschaffenheit, z. B. durch eine glatte (Basalt und Kalkstein) oder raue Oberfläche (Granit oder Schlackensteine) oder durch weichere oder härtere bzw. schärfere Kanten.

#### **Geotextilien**

Als ein weiteres Material, das beim Bau von linienhaften Strombauwerken eingesetzt wird, sind Geotextile zu nennen. Ein Geotextil ist ein im Kontakt mit Böden und anderen Baustoffen im Bauwesen verwendetes wasser- und luftdurchlässiges, textiles Flächengebilde (DVWK MERKBLATT NR. 221/1992). Geotextilien können sowohl aus verrottbaren Naturfasern als auch aus synthetischen Rohstoffen hergestellt werden. Beim Bau von Strombauwerken werden Geotextilien vorwiegend als Filtermatten sowie in der Form sandgefüllter, geotextiler Behälter genutzt. Zur Herstellung der geotextilen Behälter werden synthetische UV-beständige reißfeste gewebte Textilien mit einer hohen Langlebigkeit verwendet.

Die Größe der ebenfalls wasser- und luftdurchlässigen geotextilen Behälter (Säcke oder Container), die bevorzugt unterhalb MT<sub>nw</sub> eingesetzt werden, richtet sich nach den hydrologisch-morphologischen Gegebenheiten, insbesondere den Strömungsverhältnissen. Besonders hervorzuheben ist die Variationsbreite der geotextilen Behälter hinsichtlich ihrer Form und ihrer Größe. Kleinere geotextile Säcke sind z. B. für Kernfüllungen geeignet. Geotextile Container können dagegen Durchmesser von ca. 2 bis 8 m haben und bis zu 50 m lang sein. Ihr Einsatz ist z. B. für den Bau von Sohlschwellen denkbar (siehe Kapitel 3.1.2.2). Sie werden zurzeit

bevorzugt als Randbegrenzung beim Bau flächenhafter Strombauwerke eingesetzt (siehe Kapitel 3.2.1.2).

#### **3.1.1.2.2 Verklammerung**

Die Verklammerung von Wasserbausteinen dient der höheren Stabilität eines Strombauwerks bzw. einer Ufersicherung gegenüber Strömungsangriff und Wellenschlag und soll somit zu einer längeren Lebensdauer des Bauwerks beitragen. Es ist dabei zwischen einer Vollverklammerung und einer Teilverklammerung zu unterscheiden. Mögliche Bindemittel für die Verklammerung sind Beton/Zementmörtel und Bitumen. Bei einer Vollverklammerung sind die Hohlräume zwischen den Wasserbausteinen vollständig verfüllt, bei einer Teilverklammerung nur zu einem bestimmten Prozentanteil. Die Verklammerung soll dazu beitragen, dass die Wasserbausteine in ihrer Lage über einen längeren Zeitraum fixiert bleiben. Verklammerte Strombauwerke sind damit insbesondere gegenüber Strömungsangriffen oder dem Wellenschlag der Schiffe stabiler als nicht verklammerte Bauwerke.

Auch wenn die verwendeten Wasserbausteine bei nicht verklammerten Strombauwerken eine ausreichende Größe besitzen, damit sie bei den vorherrschenden maximalen Strömungsgeschwindigkeiten nicht transportiert werden, kann das Bauwerk langfristig vor allem durch schiffserzeugte Wellen geschädigt werden.

#### **3.1.1.2.3 Kernfüllung und Zwischenlagen**

Für die Kernfüllung sowie den Einbau von Zwischenlagen finden feinere Korngrößen wie Sand oder Schotter als Baumaterialien Verwendung. Dieses Material ist oftmals in Säcke aus Kunststoff gefüllt (siehe Abschnitt Geotextilien). Der Einbau von Zwischenlagen hat dabei in erster Linie wirtschaftliche Gründe.

#### **3.1.1.2.4 Gründung und Fußsicherung**

Als Gründungsschicht finden Sinkstücke aus Geotextilien sowie Buschlagen und Faschinen Verwendung. Sehr gut geeignet sind Verbundmaterialien, z. B. Sinkstücke aus Geotextilien mit aufgebundenen Faschinenwürsten, d.h. Bündel aus nicht sperrigem Reisig (DVWK MERKBLATT NR. 221/1992). An den Geotextilien sind Schlaufen befestigt für die Anbindung der Faschinenwürste. Für die Standsicherheit wichtig ist die Filtereigenschaft der Gewebe sowie die Zugfestigkeit. Die befestigten Faschinen dienen der Dämpfung.

Als Fußsicherung eignen sich Verbundstoffmatten, bestehend aus einer Filterschicht sowie dem Trägergewebe. Diese Matten werden zusätzlich mit Auflastelementen gesichert.

#### **3.1.1.3 Bauweisen**

Als typische Bauweise eines linienhaften Strombauwerks wurde bereits der in Abbildung 3.1-1 dargestellte (Regel-)Aufbau eines linienhaften Strombauwerks beschrieben. Von dieser Bauweise ausgehend sind die unterschiedlichsten Differenzierungen möglich. Dabei können zum einen die bereits genannten unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen, es können aber auch weitere Parameter variiert werden.

Nachfolgend werden diejenigen Parameter aufgeführt, die unter ökologischen Gesichtspunkten für die Anlage eines Strombauwerks von besonderer Bedeutung sind. Dazu zählen z. B.

die Kronenhöhe und Höhenvarianz, die Form oder die Länge des Bauwerkes, aber auch die Lage im Quer- oder Längsprofil des Stroms. Für jeden dieser Parameter werden mehrere Varianten dargestellt - siehe nachfolgende Tabelle 3.1-2.

**Tabelle 3.1-2: Parameter für den Bau linienhafter Strombauwerke**

Kronenhöhe und Höhenvarianz	Form	Länge	Lage im Querprofil des Stroms	Lage im Längsprofil des Stroms
<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; KN -2 m</li> <li>• KN -2 m bis KN</li> <li>• KN bis KN +2 m</li> <li>• KN +2 m bis KN +3,5 m</li> <li>• &gt; KN +3,5 m</li> <li>• Kronenhöhe variabel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• linienhaftes Bauwerk nicht unterbrochen, Form lang gestreckt</li> <li>• linienhaftes Bauwerk unterbrochen</li> <li>• Form in Längs- und Querschnitt regelmäßig (Regelprofil)</li> <li>• Form in Längs- und Querschnitt unregelmäßig (unterschiedliche Höhen und Breiten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 50 m</li> <li>• 50 m bis 100 m</li> <li>• 100 m bis 1000 m</li> <li>• &gt; 1000 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Strommitte</li> <li>• am Rand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limnischer Bereich</li> <li>• oligo-bis mesohaliner Bereich</li> <li>• polyhaliner bis mariner Bereich</li> </ul>

In Abhängigkeit von der Kronenhöhe können die Strömungsverhältnisse im unmittelbaren Bereich des Strombauwerks sehr kleinräumig variieren. Dazu tragen auch Abweichungen von der „Regelform“ bei, z. B. unterschiedlich strukturierte Höhenabwicklungen oder variierende Böschungsneigungen, mit denen die Randlinie eines Strombauwerks verlängert werden kann. Eine Variante der höhenmäßigen Strukturierung kann auch darin bestehen, ein linienhaftes Strombauwerk höhenmäßig so weit abzusenken, dass ein „Durchbruch“ entsteht und es nicht mehr wie ein einzelnes Strombauwerk, sondern wie mehrere hintereinander liegende Strombauwerke erscheint.

Des Weiteren ist die Lage im Querprofil - mehr randlich oder mehr strommittig angeordnet - sowie die Lage im Längsprofil der Unter- und Außenelbe - und damit in Bereichen unterschiedlicher Salinität (oder Salzgehalte) - ein wesentlicher Parameter für die Wirkung von Strombauwerken z. B. in Bezug auf die Ansiedlungsbedingungen für Pflanzen und Tiere. Es wird nach dem limnischen, oligo- bis mesohalinen und polyhalinen bis marinen Salinitätsbereich, d. h., dem Süßwasser-, Brackwasser- bzw. Salzwasserbereich unterschieden (Einteilung siehe Tabelle 2-1, BfG (2002)).

### 3.1.2 Querbauwerke

Unter dem Kapitel Querbauwerke werden die etwa quer zur Strömungsrichtung angeordneten Buhnen und Sohlswellen behandelt. Auf deren strombauliche Funktionen wurde bereits hingewiesen.

### 3.1.2.1 Buhnen

Buhnen (Abbildung 3.1-6) sind im Küstenbereich senkrecht zur Uferlinie angeordnete Strombauwerke, die mit der so genannten Buhnenwurzel in das Ufer einbinden. Stromaufwärts (inklinante) oder stromabwärts (deklinante) gerichtete Buhnen werden im Küstenbereich wegen der sich im Tidezyklus umkehrenden Strömungsverhältnisse üblicherweise nicht gebaut. Die Höhe der Buhne liegt an der Buhnenwurzel etwa bei MThw. Zum Kopf der Buhne fällt der Buhnenrücken mit Neigungen von etwa 1 : 70 bis 1 : 100 leicht ab. Die einzelnen Buhnen unterscheiden sich insbesondere durch ihre Länge und durch die Tiefe, die vom entsprechenden Gewässerabschnitt abhängig ist. Im Bereich des Buhnenkopfes können die Buhnen dabei durchaus bis in Tiefen von ca. 20 m unter KN reichen. Die Buhnen können dabei relativ kurz, aber auch über hundert Meter lang sein.



**Abbildung 3.1-6: Einzelbuhne**

Oftmals erfüllt eine einzelne Buhne nicht die gewünschten strombaulichen Funktionen, so dass mehrere Buhnen in einem Uferabschnitt gebaut werden müssen. Zwei nebeneinander liegende Buhnen bilden dabei jeweils ein Buhnenfeld (Abbildung 3.1-7).



**Abbildung 3.1-7: Bühnenfelder an der Unterelbe stromab von Geesthacht**

Die in nachfolgender Tabelle 3.1-3 beschriebenen Parameter kennzeichnen die Variationsmöglichkeiten hinsichtlich Kronenhöhe und Höhenvarianz, Länge, Form, Anzahl der Bühnen sowie der Lage der Bühnen im Längsprofil des Stroms.

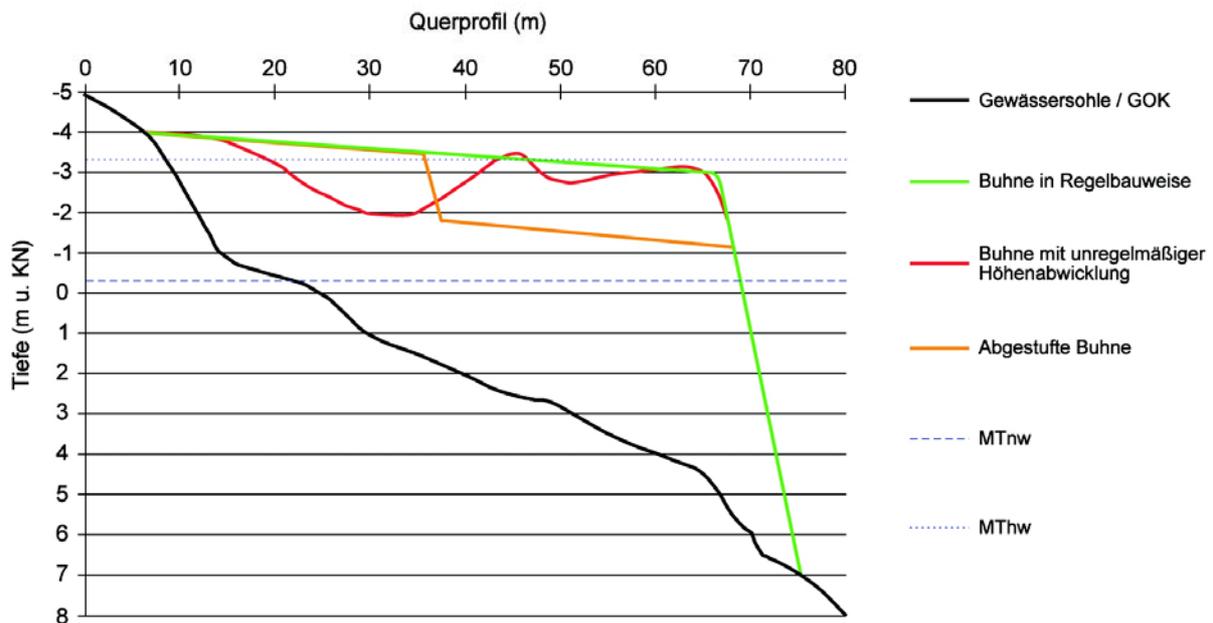
**Tabelle 3.1-3: Parameter für den Bau von Bühnen**

Kronenhöhe und Höhenvarianz	Länge	Form	Anzahl der Bühnen	Lage im Längsprofil des Stroms
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN bis KN +2 m</li> <li>• KN +2 m bis KN +3,5 m</li> <li>• &gt; KN +3,5 m</li> <li>• Kronenhöhe variabel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bis 10 m</li> <li>• 10 bis 50 m</li> <li>• &gt; 50 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelprofil</li> <li>• variables Profil</li> <li>• Oberfläche strukturiert</li> <li>• Sonderformen von Bühnen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Bühnen</li> <li>• 3 bis 5 Bühnen</li> <li>• &gt; 5 Bühnen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limnischer Bereich</li> <li>• oligo- bis mesohaliner Bereich</li> <li>• polyhaliner bis mariner Bereich</li> </ul>

Auf Material und Bauweise, z. B. Wasserbausteine, Größenklassen, Verklammerung usw., muss im Einzelnen nicht mehr eingegangen werden - siehe dazu Kapitel 3.1.1.2. Allerdings werden zum Bau von Bühnen aus bautechnischen Gründen nur Wasserbausteine und keine geotextilen Container verwendet. In Bereichen hohen Strömungsangriffs werden die Wasserbausteine entweder voll- oder teilverklammert.

### ***Kronenhöhe und Höhenvarianz***

Der Bauwerkskörper bildet ein Substrat für eine potenzielle Besiedlung mit Tieren oder für die Ansiedlung von Pflanzen (z. B. Algen, aber auch für höhere Pflanzen). Dabei ist das Besiedlungspotenzial eines Strombauwerkes für einzelne Arten unter anderem von der jeweiligen Wassertiefe abhängig. Wie in der Tabelle 3.1-3 dargestellt, sind hinsichtlich Kronenhöhe und Höhenvarianz unterschiedliche Ausführungsvarianten denkbar. Insbesondere wird von Bedeutung sein, ob die Kronenhöhe der Buhnen unter oder über der MThw-Linie liegt. Dazu sind aus ökologischer Sicht Buhnen mit „gestuften“ Kronenhöhen ebenso denkbar wie Buhnen mit einem unregelmäßigen Höhenniveau. Beispiele für unterschiedliche Kronenhöhen und Höhenvarianzen von Buhnen zeigt die nachfolgende Abbildung 3.1-8.



**Abbildung 3.1-8: Variationen der Kronenhöhe im Längsprofil von Buhnen (abstrakte Beispieldarstellung)**

### ***Länge***

Die Buhnenlänge (siehe Tabelle 3.1-3) hat Auswirkungen auf Strömungsänderungen und morphologische Prozesse. Sie variiert deshalb z. B. in Abhängigkeit von den strombaulichen Erfordernissen, aber auch in Abhängigkeit von der Ufermorphologie sowie der Lage im Längsprofil des Stroms.

### ***Form***

Die geometrische Form einer Buhne hat Auswirkungen auf das Strömungsverhalten sowie das Besiedlungspotenzial. Somit ist es möglich, bei gleicher wasserbaulicher Wirksamkeit, durch eine Variation der Form die ökologischen Auswirkungen von Buhnen zu optimieren. Dies kann durch eine entsprechende Form der Randlinie (Variationen der Böschungsneigung), durch Variationen der Höhe sowie durch bestimmte Sonderformen, z. B. geknickte Buhnen, an geeigneten Stromabschnitten geschehen.

### **Anzahl der Buhnen**

Strombauliche Erfordernisse machen oftmals die Anlage nicht nur einer Buhne, sondern mehrerer Buhnen in einem Uferabschnitt notwendig. Der Bereich zwischen zwei nebeneinander liegenden Buhnen bildet ein Buhnenfeld. Aufgrund der von den Buhnen erzeugten unterschiedlichen Strömungs- und Sedimentationsverhältnisse ergeben sich in den Buhnenfeldern unterschiedliche ökologische Standortbedingungen für Pflanzen und Tiere.

### **Lage im Längsprofil des Stroms**

Die Änderung der Salinität im Längsprofil eines Tidestroms bestimmt ganz wesentlich auch das Vorkommen der an diesen Salzgehalt angepassten Pflanzen- und Tierarten. Deshalb kommt auch der Lage einer Buhne in Bezug zu den angegebenen Salinitätsbereichen eine besondere Bedeutung zu.

#### **3.1.2.2 Sohlschwellen**

Unter Sohlschwellen sind linienhafte Querbauwerke am Grund von Gewässern zu verstehen. Sohlschwellen sind bislang im Bereich der Unter- und Außenelbe nicht als Strombauwerke zur Ausführung gekommen, sollen bei künftigen Vorhaben aber durchaus strombauliche Funktionen außerhalb des Hauptstroms, z. B. im Bereich von Nebenrinnen übernehmen. Sie enden unter MTnw und weisen aufgrund ihrer geringeren Gesamthöhe einen relativ kleinen Querschnitt auf. Je nach ihrer Lage im Gewässer können sie jedoch Längen von mehreren hundert Metern bzw. mehr als einen Kilometer aufweisen. Sohlschwellen wirken querschnittsreduzierend, drosseln die Strömung und verändern damit insbesondere die hydrologischen und morphologischen Parameter im Umfeld des Strombauwerkes. Die konstruktive Ausbildung der Sohlschwellen ist mit unterschiedlichen Varianten möglich, die sich sowohl in Bezug auf Material, Bauweise als auch Kronenhöhe unterscheiden.

Die verschiedenen Parameter, die für den Bau von Sohlschwellen betrachtet werden, sowie die jeweiligen Variationsmöglichkeiten sind in nachfolgender Tabelle 3.1-4 aufgeführt.

**Tabelle 3.1-4: Parameter für den Bau von Sohlschwellen**

<b>Material und Bauweise</b>	<b>Kronenhöhe und Höhenvari- anz</b>	<b>Lage im Längsprofil des Stroms</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserbausteine</li> <li>• Geotextile Container</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN -6 m bis KN -4 m</li> <li>• KN -4 m bis KN -2 m</li> <li>• KN -2 m bis KN</li> <li>• Kronenhöhe variabel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limnischer Bereich</li> <li>• oligo- bis mesohaliner Bereich</li> <li>• polyhaliner bis mariner Bereich</li> </ul>

### Material und Bauweise

Für den Bau von Sohlschwellen eignen sich sowohl Wasserbausteine als auch geotextile Container (zur Beschreibung der Materialien siehe Kapitel 3.1.1.2). Beide Materialien sind gleichermaßen geeignet, die strombaulichen Funktionen zu erfüllen.

Beim Bau einer Sohlschwelle aus Wasserbausteinen gleicht der Aufbau dem im Regelprofil dargestellten Aufbau. Aufgrund des zu erwartenden hohen Strömungsangriffs im Bereich von Sohlschwellen in Tideästuaren ist davon auszugehen, dass die Wasserbausteine entweder voll- oder teilverklammert werden. Bei der Verwendung geotextiler Container können unterschiedlich große Elemente mit Durchmessern von ca. 8 m und kleinere Elemente mit Durchmessern von ca. 2 m miteinander kombiniert werden. Damit lassen sich jeweils unterschiedlich große Strombauwerke herstellen. Die beiden nachfolgenden Abbildungen 3.1-9 und 3.1-10 zeigen die beiden beschriebenen Bauweisen.

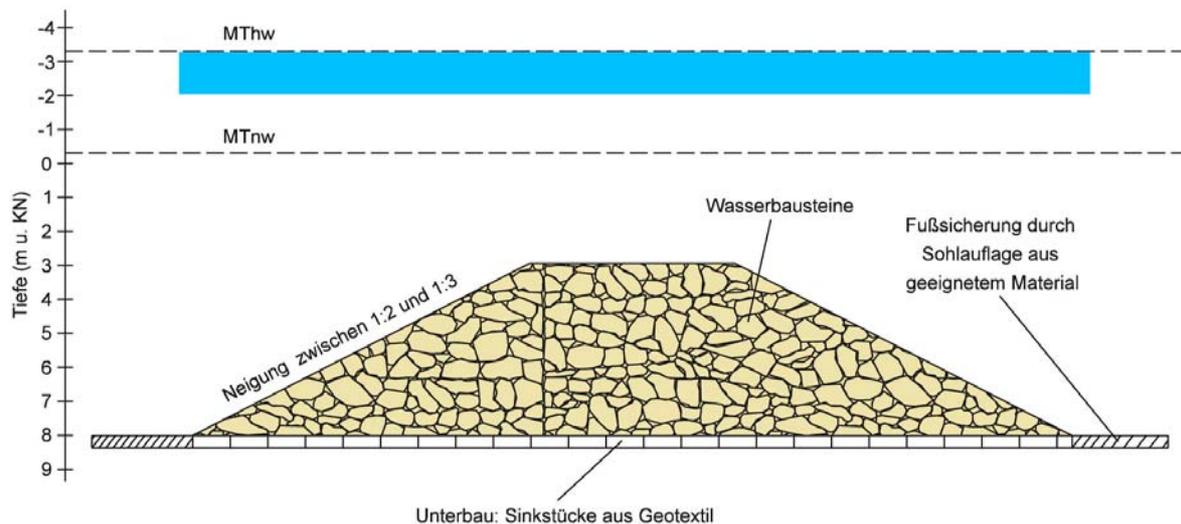


Abbildung 3.1-9: Beispiel einer Sohlschwelle aus Wasserbausteinen

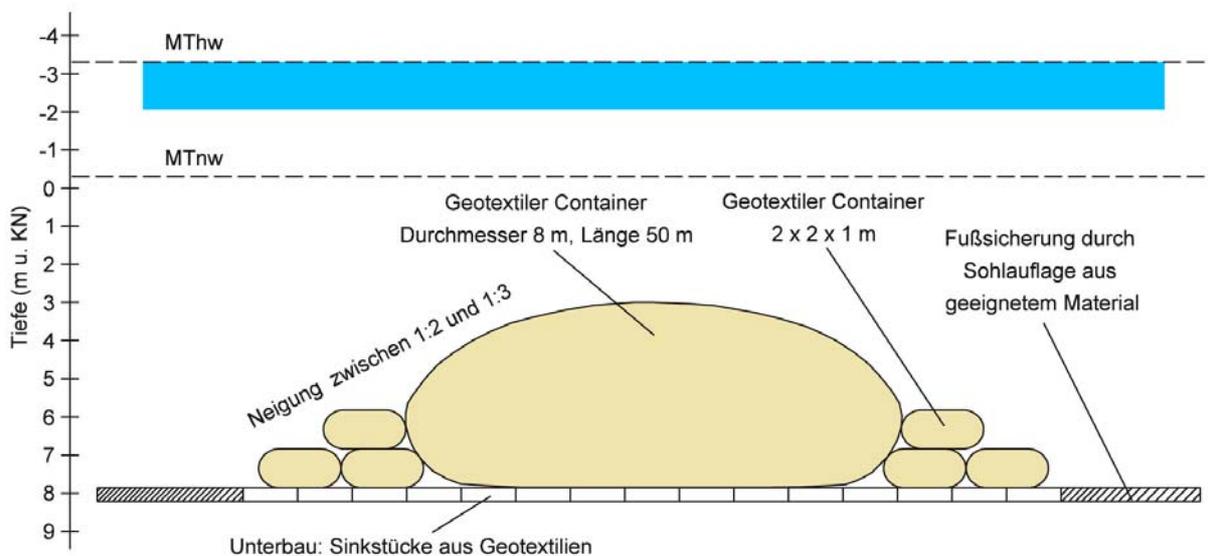
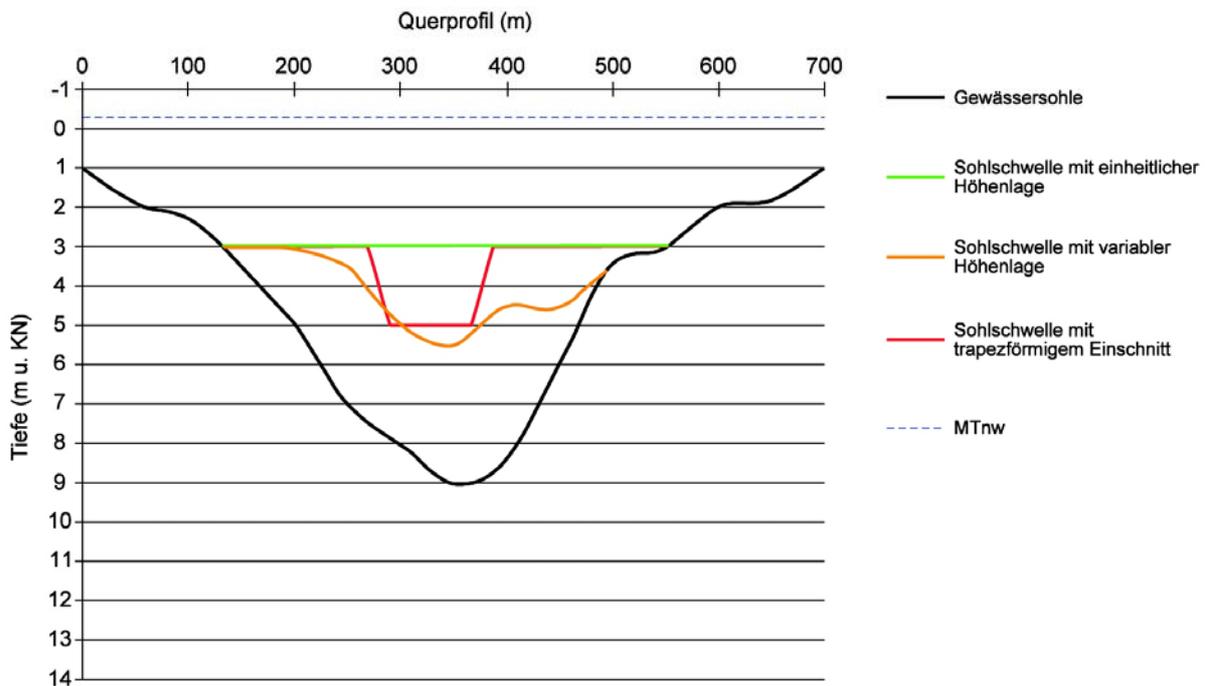


Abbildung 3.1-10: Beispiel einer Sohlschwelle aus geotextilen Containern

### ***Kronenhöhe und Höhenvarianz***

Sohlschwellen können in Bezug auf Kronenhöhe und Höhenvarianz ebenfalls sehr unterschiedlich ausgebildet werden. Sie können mit einer durchgängig einheitlichen Kronenhöhe auf unterschiedlichen Tiefenniveaus hergestellt werden (siehe Tabelle 3.1-4), sie können darüber hinaus z. B. im Mittelbereich mit trapezförmigen Einschnitten unterschiedlicher Tiefe und Breite gestaltet werden, was unterschiedliche Strömungsverhältnisse im Bereich des gesamten Strombauwerkes zur Folge hat. Die nachfolgende Abbildung 3.1-11 zeigt beispielhaft einige Variationsmöglichkeiten für die Kronenhöhe und Höhenvarianz von Sohlschwellen.



**Abbildung 3.1-11: Unterschiedliche Ausführungsformen von Sohlschwellen im Querprofil (abstrakte Beispieldarstellung)**

### ***Lage im Längsprofil des Stroms***

Der wesentliche Unterschied hinsichtlich der Lage von Sohlschwellen im Längsprofil besteht in den Bereichen, in denen eine Sohlschwelle außerhalb des Hauptstroms gebaut werden kann. Im Mündungsbereich ist dies z. B. in einer Nebenrinne möglich, in den weiter stromaufwärts gelegenen Abschnitten z. B. im Bereich einer hinter einer Insel verlaufenden Nebenelbe.

#### **3.1.3 Längsbauwerke (Leitwerke)**

Als weitere Form der linienhaften Strombauwerke werden nachfolgend die mehr in Längsrichtung des Stromes ausgerichteten Leitwerke dargestellt (siehe Abbildung 3.1-12). Der typische Aufbau eines Leitwerkes entspricht dem bereits in Kapitel 3.1.1 beschriebenen (Regel-)

Aufbau eines linienhaften Strombauwerks. Die üblicherweise zum Bau von Leitwerken verwendeten Materialien sind Wasserbausteine, die verklammert werden. Hinsichtlich des Materials wird deshalb auf die Aussagen in Kapitel 3.1.1.2 verwiesen.



**Abbildung 3.1-12: Leitwerk im Bereich der Außenelbe (bei etwa Thw)**

Abweichungen gegenüber der allgemeinen Beschreibung können sich aufgrund der nachfolgenden Parameter ergeben.

**Tabelle 3.1-5: Parameter für den Bau von Leitwerken**

<b>Kronenhöhe und Höhenvarianz</b>	<b>Form</b>	<b>Lage im Querprofil des Stroms</b>	<b>Lage im Längsprofil des Stroms</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN bis KN +2 m</li> <li>• KN +2 m bis KN +3,5 m</li> <li>• &gt; KN +3,5 m</li> <li>• Kronenhöhe variabel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelprofil</li> <li>• variables Profil</li> <li>• Leitwerk, nicht unterbrochen</li> <li>• Leitwerk, unterbrochen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Strommitte</li> <li>• Lage randlich, angebunden</li> <li>• Lage randlich, nicht angebunden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limnischer Bereich</li> <li>• oligo- bis mesohaliner Bereich</li> <li>• polyhaliner bis mariner Bereich</li> </ul>

***Kronenhöhe und Höhenvarianz***

Die Kronenhöhe eines Leitwerkes hat - ähnlich wie bei Buhnen - Einfluss auf das Strömungsverhalten, das Besiedlungspotenzial und weitere Faktoren im räumlichen Umfeld des Strombauwerkes. Die zu betrachtenden unterschiedlichen Varianten hinsichtlich Kronenhöhe und Höhenvarianz sind der Tabelle 3.1-5 zu entnehmen.

***Form***

In der Tabelle 3.1-5 sind unterschiedliche Formen von Leitwerken aufgeführt, z. B. Leitwerke mit Regelprofil, mit variablem Quer- und Längsprofil, „unterbrochene“ Leitwerke, d. h. Leitwerke, deren Höhengniveau teilweise deutlich abgesenkt wird, so dass bei bestimmten Wasserständen das Strombauwerk nicht als ein größeres Leitwerk, sondern als eine Kette mehrerer kleinerer Leitwerke erscheint. Die verschiedenen Formen beeinflussen z. B. das Strömungsverhalten in jeweils unterschiedlicher Weise. Wechselnde Breiten und Neigungen des Leitwerkes erhöhen die kleinräumige Standortvielfalt des Strombauwerks gegenüber einer Regelbauweise.

***Lage im Querprofil des Stroms***

Strömungsverhalten und morphologische Prozesse im Bereich eines Leitwerkes hängen sehr stark von dessen Lage im Strom ab. Ein zur Strommitte gelegenes Leitwerk teilt das Gewässer in eine Haupt- und eine Nebenrinne. Bei randlich gelegenen Leitwerken ist es in Bezug auf die verschiedenen hydrologischen und morphologischen Gestaltungsvorgänge zusätzlich von Bedeutung, ob das Bauwerk an das Ufer angebunden ist oder nicht.

***Lage im Längsprofil des Stroms***

Da sich das Querprofil eines tidebeeinflussten Stroms zur Mündung hin immer stärker aufweitet und auch die Salzgehalte immer größer werden, kann die Lage eines Leitwerks in verschiedenen Abschnitten des Längsprofils unterschiedliche Wirkung z. B. auf hydrologische Parameter oder Lebensgemeinschaften haben.

Die nachfolgenden Abbildungen 3.1-13 bis 3.1-15 zeigen beispielhaft Leitwerke in unterschiedlichen Stromabschnitten und unterschiedlichen Lagen zum Ufer.

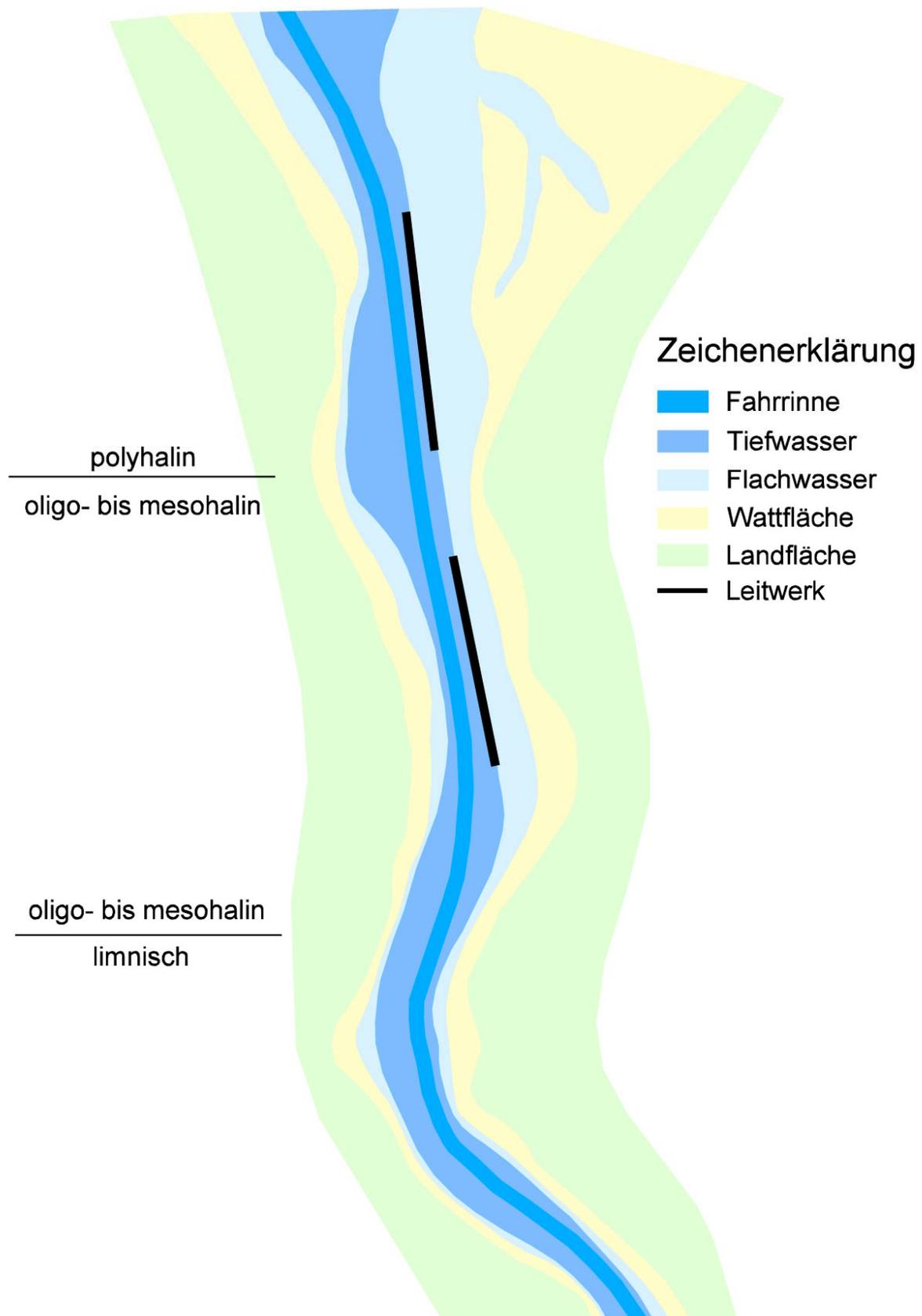


Abbildung 3.1-13: Leitwerk zur Strommitte hin gelegen

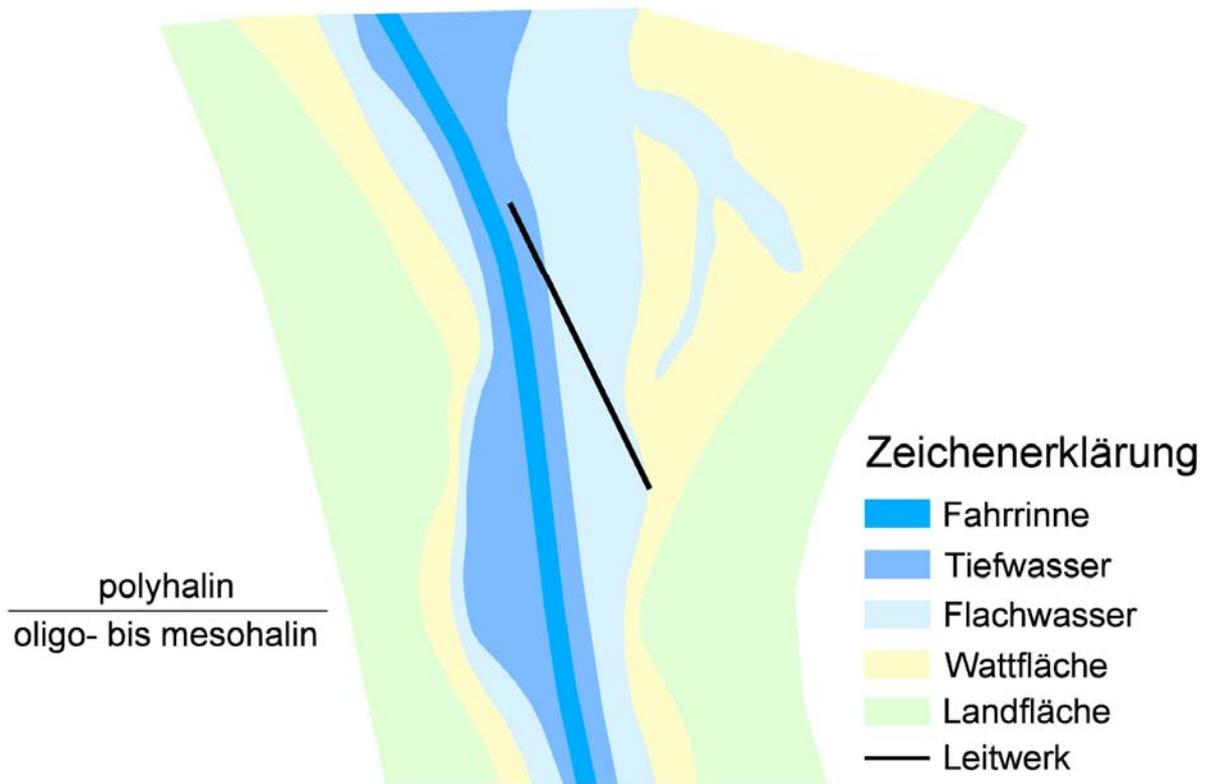


Abbildung 3.1-14: Leitwerk randlich gelegen, nicht ans Ufer angebunden

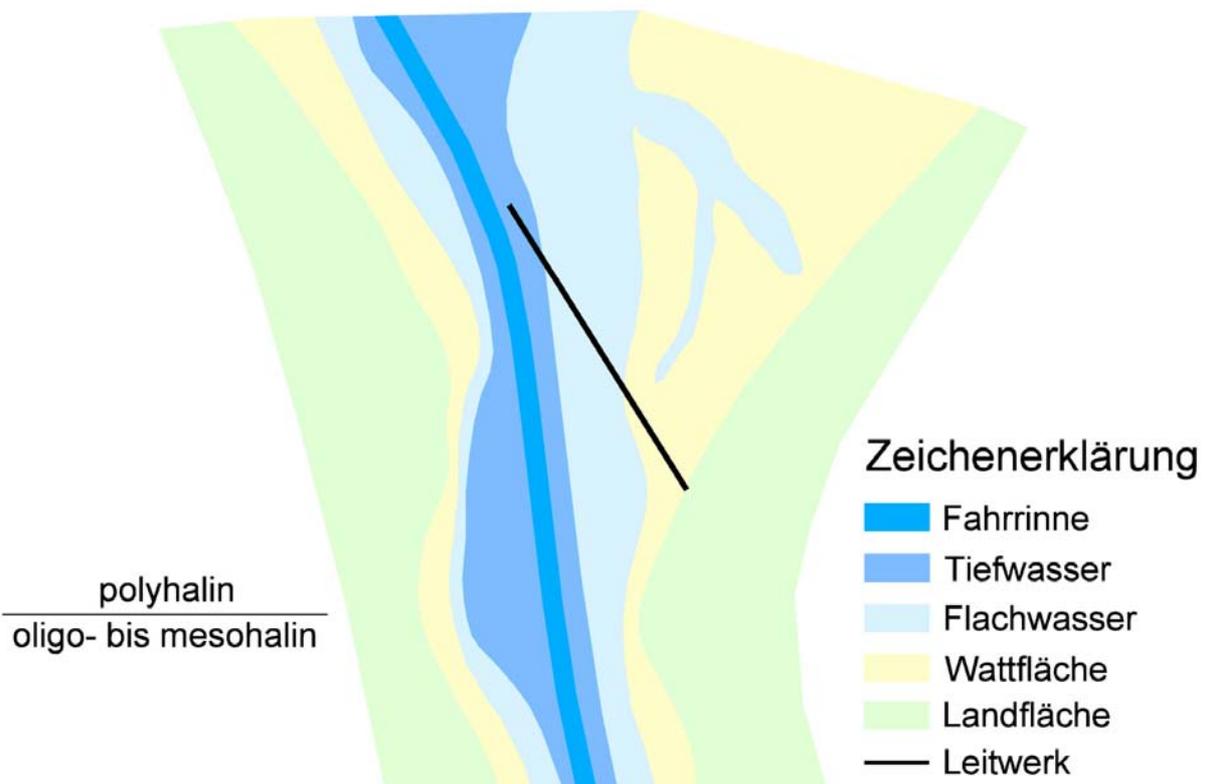


Abbildung 3.1-15: Leitwerk randlich gelegen, ans Ufer angebunden

## 3.2 Flächenhafte Strombauwerke

### 3.2.1 Allgemeine Beschreibung

Neben den linienhaften Strombauwerken werden zunehmend auch flächenhafte Strombauwerke konzipiert. Es sind dies großflächige, ortsfeste Ablagerungsflächen, in denen Baggergut aus der Unterhaltung oder von Ausbaumaßnahmen verbracht wird. Sie sind in der Regel durch Randsicherungen oder Abdeckungen in ihrer Form und Dimension festgelegt, wodurch sie vor Erosion weitgehend geschützt sind. Es können je nach Lage im Strom und Oberflächenniveau verschiedene Arten flächenhafter Strombauwerke unterschieden werden.

**Unterwasserablagerungsflächen** haben ein Oberflächenniveau unterhalb MTnw und sind dadurch optisch nicht wirksam. Sie können entweder mehr in der Strommitte oder mehr am Rand des Gewässers liegen. Bei **Inseln** und **Ufervorspülungen** handelt es sich um Ablagerungsflächen mit einem Oberflächenniveau ganz oder teilweise oberhalb MThw. Sie treten also sichtbar in Erscheinung. **Übertiefenverfüllungen** sind eine Sonderform von Unterwasserablagerungsflächen, die in Übertiefen angelegt werden und dadurch eine natürliche randliche Begrenzung aufweisen. In den nachfolgenden Abbildungen 3.2-1 und 3.2-2 sind die genannten flächenhaften Strombauwerke beispielhaft hinsichtlich ihrer Lage im Strom dargestellt.

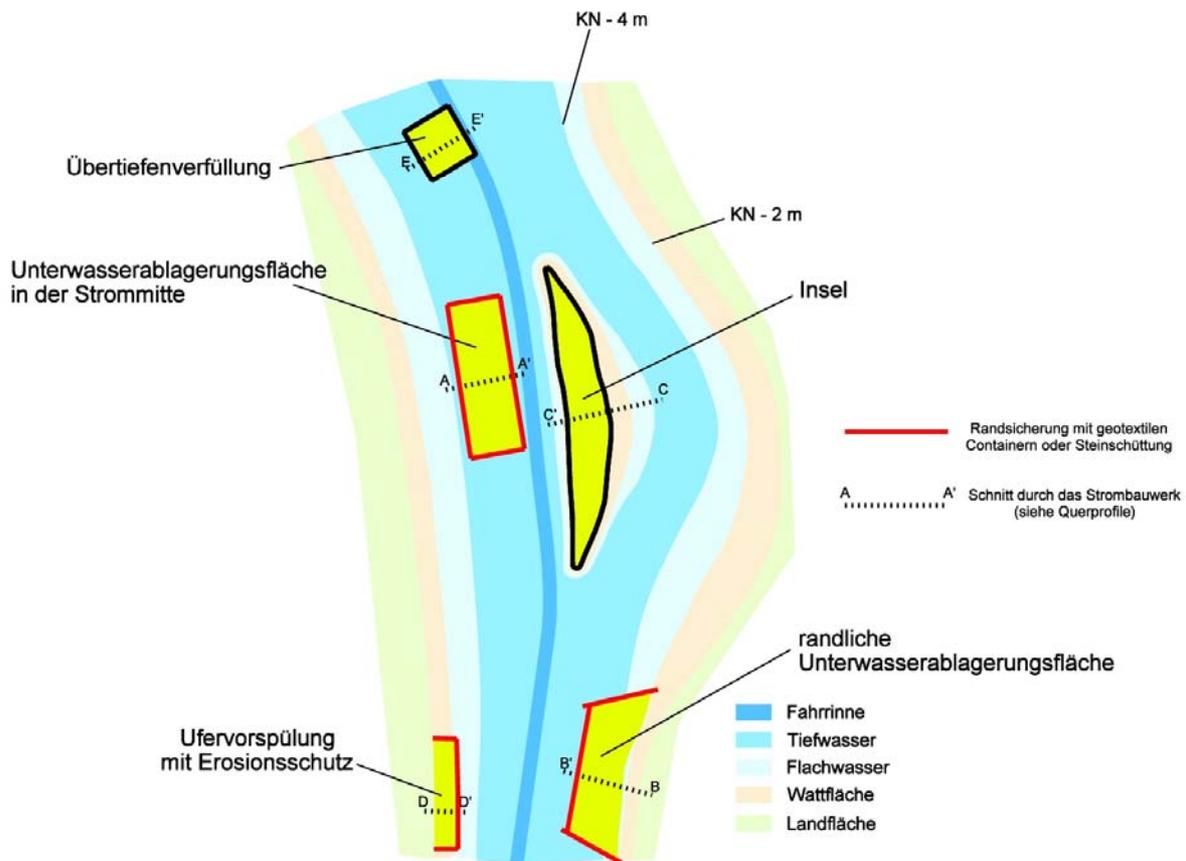
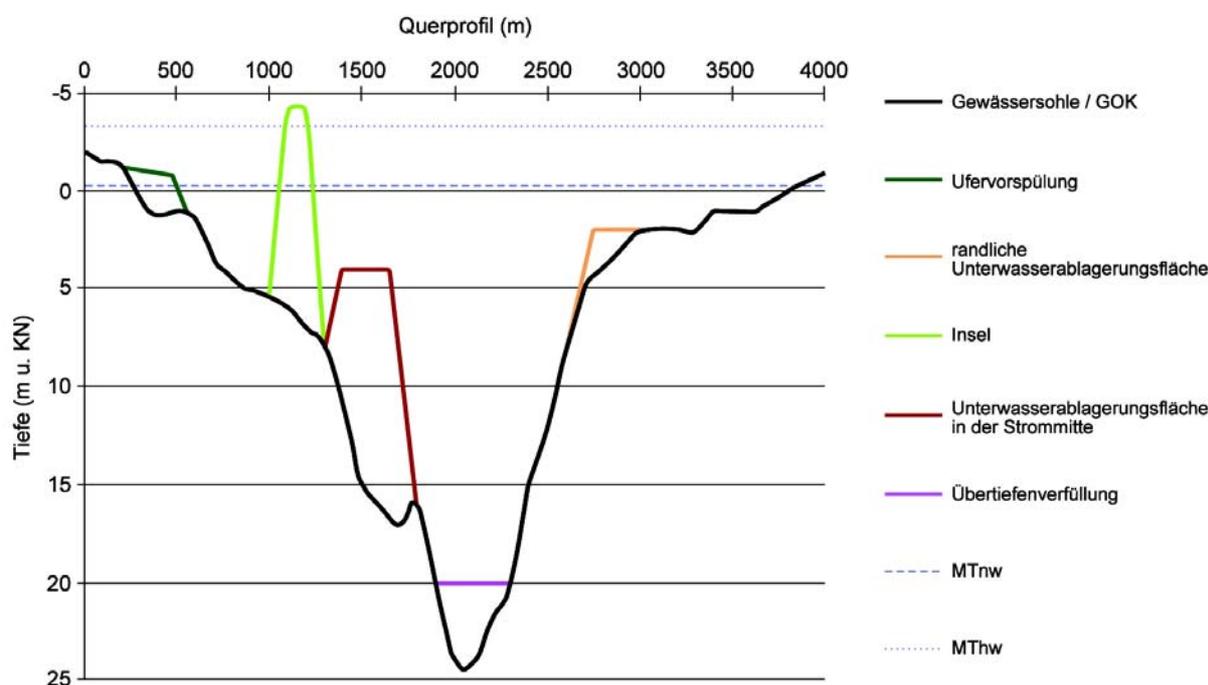


Abbildung 3.2-1: Lage flächenhafter Strombauwerke im Strom (abstrakte Beispieldarstellung; Lageplan)



**Abbildung 3.2-2: Lage flächenhafter Strombauwerke im Strom (abstrakte Beispieldarstellung; Querprofil)**

### 3.2.1.1 Strombauliche Funktionen

Mit der Anlage flächenhafter Ablagerungsflächen im Strom werden ebenfalls strombauliche Zielsetzungen verfolgt, insbesondere:

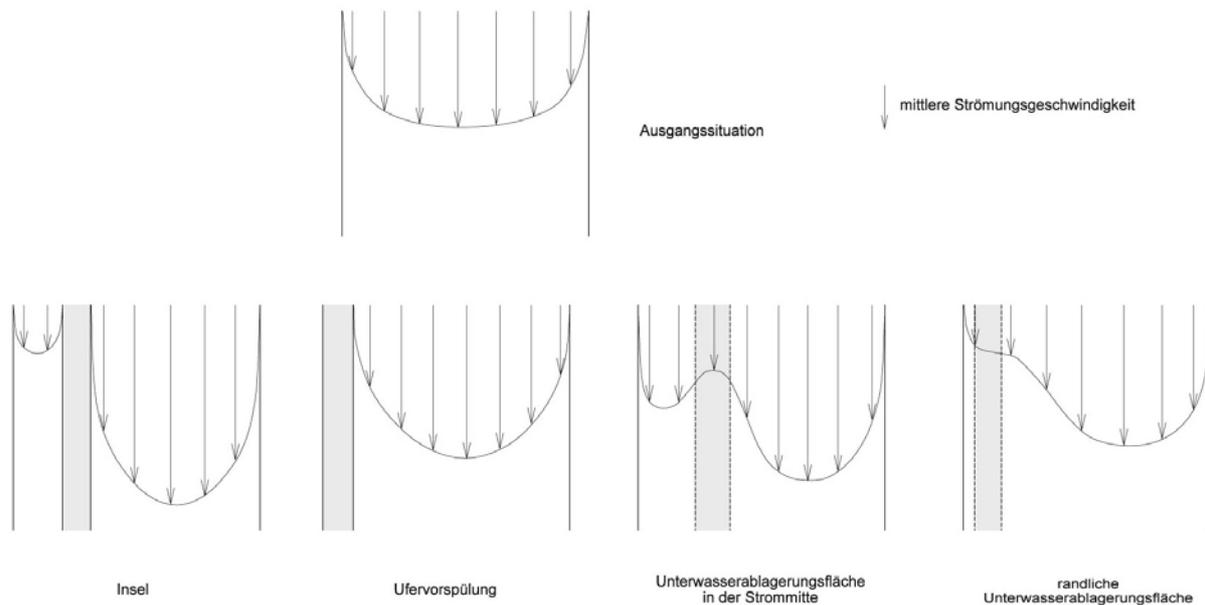
- die Dämpfung der Tideenergie,
- die Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne, in manchen Fällen auch Verringerung der Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne
- die Reduzierung der Unterhaltungsbaggerungen.

Durch die Anlage flächenhafter Strombauwerke, die größtenteils unterhalb MTnw liegen, kann erreicht werden, dass ein Teil des Baggerguts der Unterhaltungs- und Ausbaubaggerungen im System Elbe verbleibt und die Bauwerke zur Dämpfung der Tideenergie beitragen können. Damit kann einer weiteren Erhöhung des mittleren Tidehochwassers sowie der Erniedrigung des mittleren Tideniedrigwassers entgegengewirkt werden.

Flächenhafte Strombauwerke, die am Rande der Fahrrinne angelegt werden, können zu einer Erhöhung der mittleren Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne führen. Dadurch erhöht sich die Transportkapazität, mit der Folge, dass Sedimentationsprozesse in der Fahrrinne reduziert werden oder dass sich die Fahrrinne eintieft. Dies kann zu einer wesentlichen Reduzierung der Baggermengen bei Unterhaltungsbaggerungen führen.

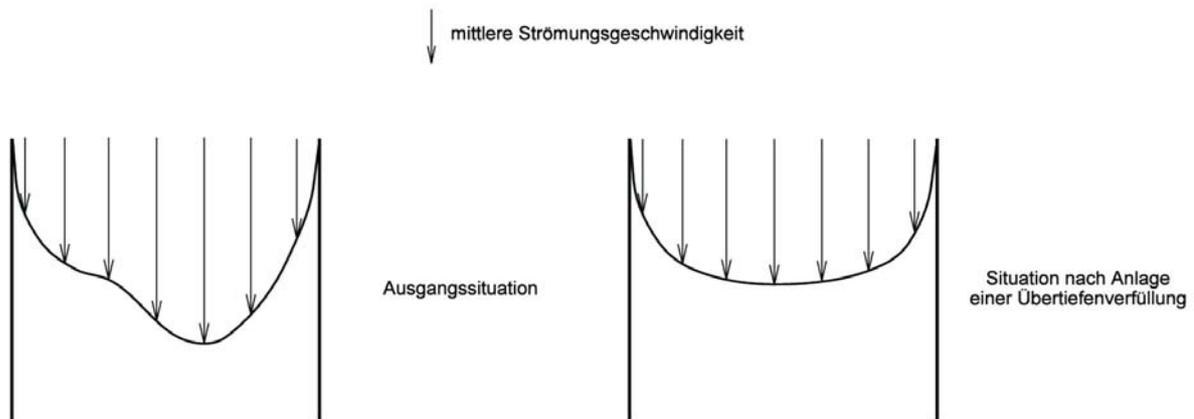
Abbildung 3.2-3 zeigt die grundlegende Wirkung flächenhafter Strombauwerke hinsichtlich der Veränderung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit im Strom. Durch die Anlage einer

Insel wird der Strom in eine Haupt- und eine Nebenrinne geteilt. In der Hauptrinne erfolgt eine Konzentration der Strömung und damit eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit. In der Nebenrinne kann sich die mittlere Strömungsgeschwindigkeit reduzieren. Bei einer Unterwasserablagerungsfläche tritt eine vergleichbare Wirkung ein, wobei die Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne aufgrund der Überströmung der Ablagerungsfläche etwas geringer ausfällt. Die Anlage einer Ufervorspülung führt zu einer geringen Änderung des Gewässerquerschnitts, so dass die Konzentration der Strömung geringer als bei den Strombauwerken in der Strommitte ausfällt. Eine randliche Unterwasserablagerungsfläche ähnelt in ihrer Wirkung einer Ufervorspülung.



**Abbildung 3.2-3: Grundlegende Wirkung flächenhafter Strombauwerke (Draufsicht eines Gewässerabschnittes). Vereinfachte Darstellung des mittleren Geschwindigkeitsprofils.**

Durch die Anlage einer Übertiefenverfüllung tritt eine gegenteilige Wirkung ein. Als Ausgangssituation liegen im Bereich der Übertiefe erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten vor, die bei Verfüllung der Übertiefe reduziert werden (Abbildung 3.2-4).



**Abbildung 3.2-4: Grundlegende Wirkung flächenhafter Strombauwerke (Übertiefenverfüllung - Draufsicht eines Gewässerabschnittes). Vereinfachte Darstellung des mittleren Geschwindigkeitsprofils.**

### 3.2.1.2 Material

In Tabelle 3.2-1 sind die wesentlichen Materialien für den Bau flächenhafter Strombauwerke dargestellt, unterschieden nach dem Verbringungsmaterial, d. h. dem eigentlichen Material zur Herstellung des Strombauwerks, dem Material zur Herstellung einer Randsicherung und gegebenenfalls für eine erforderlich werdende Abdeckung.

**Tabelle 3.2-1: Materialien für den Bau flächenhafter Strombauwerke**

Verbringungsmaterial	Randsicherung	Abdeckung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schluff</li> <li>• Ton</li> <li>• Sand</li> <li>• Kies</li> <li>• Mergel</li> <li>• Steine</li> <li>• Geotextile Container</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geotextile Container</li> <li>• Wasserbausteine</li> <li>• ohne Randsicherung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grobsand</li> <li>• Kies</li> <li>• Wasserbausteine</li> <li>• Geotextilien</li> <li>• ohne Abdeckung</li> </ul>

#### 3.2.1.2.1 Verbringungsmaterial

Als Verbringungsmaterial und damit Material zum Aufbau eines flächenhaften Strombauwerks wird das bei den Unterhaltungs- und Ausbaubaggerungen anfallende Baggergut verwendet. Im Bereich der Unter- und Außenelbe sind dies sowohl nichtbindige Sedimente (hauptsächlich holozäne Fein- und Mittelsande) als auch bindige Sedimente (hauptsächlich Klei und Mergel). Zusätzlich kann toniges, schluffiges, kiesiges und steiniges Material auftreten. Im Gründungsbereich der Unterwasserablagerungsflächen wird vorwiegend Mergel und grobkörniges Material eingesetzt. Die sandigen Sedimente dienen vorzugsweise der Befüllung der Unterwasserablagerungsflächen sowie der Aufspülung von Inseln und Ufervorspülungen.

Das Verbringungsmaterial kann auch bereits in Form geotextiler Container, z. B. bei Übertiefenverfüllungen, eingebaut werden, um Verdriftungen unter starkem Strömungsangriff zu vermeiden.

#### 3.2.1.2.2 Material für die Randsicherung

Zur Randsicherung können sowohl Wasserbausteine als auch geotextile Container verwendet werden. Detailliertere Ausführungen zu diesen Materialien erfolgten bereits unter Kapitel 3.1.1.2.

Randsicherungen aus Wasserbausteinen werden vorwiegend bei geringen Wassertiefen bzw. oberhalb MTnw eingesetzt. Sie gleichen in Bezug auf Material und Bauweise den aus Wasserbausteinen aufgebauten linienhaften Strombauwerken. Als Wasserbausteine sind sowohl Natursteine als auch Schlackensteine unterschiedlicher Größe denkbar.

Randsicherungen aus geotextilen Containern (siehe Abbildung 3.2-5) werden vorwiegend unter MTnw eingesetzt. Dabei können die geotextilen Container je nach Verwendung in vielen Formen und Größen hergestellt werden. Ihre Größe muss so bemessen sein, dass der erwartete hydraulische Angriff die Container nicht verlagert. Große geotextile Container werden in Klappschuten hergestellt und auf die Gewässersohle versenkt. Die geotextilen Container können übereinander gestapelt werden, um die erforderliche Höhe der Randsicherung zu erzielen. Abbildung 3.2-6 zeigt beispielhaft eine Querschnittsdarstellung der Randsicherung einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche aus geotextilen Containern und einer Abdeckung aus Geröllmaterial.



**Abbildung 3.2-5: Geotextile Container als Randsicherung einer Insel im Grass Lake, Illinois, (Quelle:<http://www.auf.uni-rostock.de/lbaw/lb/mitarbeiter/Cantre/geotextile%20Schl%E4uche.html>)**

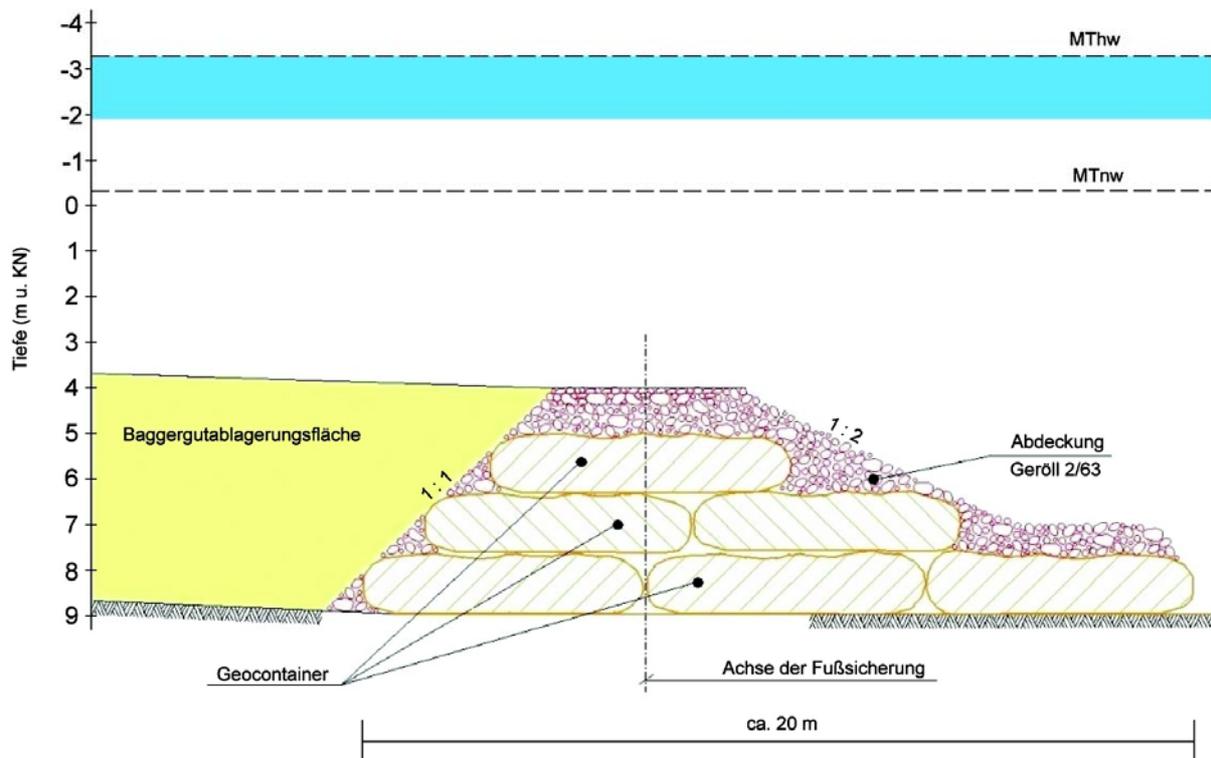


Abbildung 3.2-6: Querschnitt durch die Randsicherung einer Unterwasserablageungsfläche (Beweissicherungsdatenbank - Anpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt - <http://www.cux.wsd-nord.de/htm/start.asp>)

### 3.2.1.2.3 Material für die Abdeckung

Sofern die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten über der Ablagerungsfläche eine Verdriftung bzw. Ausräumung des verbrachten Materials erwarten lassen, ist eine Abdeckung erforderlich. Hierfür kommen - je nach Beanspruchung - Grobsand, Kies, Schüttsteinlagen oder geotextile Behälter in Betracht (PROJEKTGRUPPE VORUNTERSUCHUNG 2003).

### 3.2.1.3 Bauweisen

Die Typen flächenhafter Strombauwerke ähneln sich in ihrer grundsätzlichen Bauweise. Sie bestehen aus Baggergut, das durch Randsicherungen und gegebenenfalls durch eine Abdeckung gesichert wird. Darüber hinaus bestehen große Variationsmöglichkeiten bezüglich der Größe, der Form und der Lage des Bauwerks (siehe Tabelle 3.2-2).

**Tabelle 3.2-2: Parameter für den Bau flächenhafter Strombauwerke**

Flächengröße	Oberflächen-niveau	Neigung der Randbegren-zung	Form	Lage im Querprofil des Stroms	Lage im Längsprofil de Stroms
<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; 10 ha</li> <li>• 10 bis 100 ha</li> <li>• 100 bis 500 ha</li> <li>• &gt; 500 ha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt; KN -10 m</li> <li>• KN -10 m bis KN -6 m</li> <li>• KN -6 m bis KN -2 m</li> <li>• KN -2 m bis KN</li> <li>• KN bis KN +2 m</li> <li>• KN +2 m bis KN +4 m</li> <li>• KN +4 m bis KN +8m</li> <li>• &gt; KN +8 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1:1 - 1:3</li> <li>• 1:3 - 1:10</li> <li>• &lt; 1:10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelform</li> <li>• Form mit ver-längerten Randlinien</li> <li>• Form mit strukturierter Oberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Strommitte</li> <li>• am Rand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• limnischer Be-reich</li> <li>• oligo- bis me-sohaliner Be-reich</li> <li>• polyhaliner bis mariner Be-reich</li> </ul>

Große Unterschiede ergeben sich als Folge der Menge des abzulagernden Baggerguts und der zu erzielenden strombaulichen Wirkung vor allem hinsichtlich der Dimension der Strombauwerke. So sind Bauwerke von weniger als 10 ha bis zu mehr als 500 ha Größe realisierbar. Das Niveau der Oberfläche kann zwischen ca. 20 m unter KN im Fall von Übertiefenverfüllungen bis zu mehr als 8 m über KN im Fall von Inseln oder Ufervorspülungen betragen.

Die Neigung der Randsicherung richtet sich nach der hydraulischen Belastung sowie dem Material für die Randsicherung. Randsicherungen mit Steinschüttungen oder geotextilen Containern können mit Neigungen zwischen 1 : 1 und 1 : 3 hergestellt werden. Ohne Randsicherungen sind - je nach hydraulischen Bedingungen - Neigungen von ca. 1 : 10 und flacher möglich.

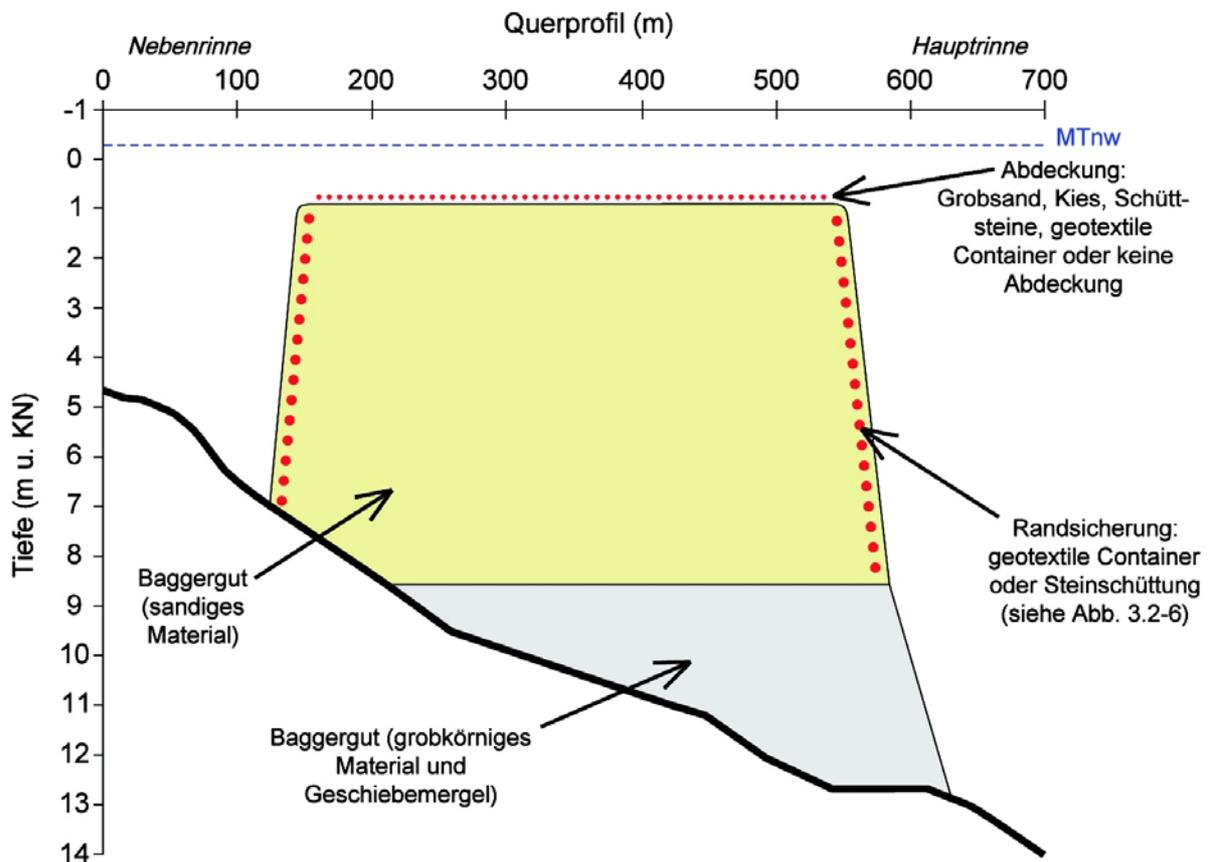
Neben dem Bau der Strombauwerke in „Regelform“ sind auch Abweichungen davon denkbar. So kann durch die Anlage von Buchten die Randlinie der Strombauwerke deutlich verlängert werden. Dadurch folgt auch eine Verlängerung weiterer Isolinien. Außerdem kann die Oberfläche durch unterschiedliche Materialien und durch verschiedene Höhenniveaus strukturiert werden. Beispiele für unterschiedliche Oberflächenstrukturen finden sich bei den Beschreibungen der einzelnen Strombauwerke (siehe Kapitel 3.2.2 bis 3.2.6).

Die Lage des Strombauwerks im Querprofil spielt eine besondere Rolle hinsichtlich der morphologischen und hydrologischen Wirkungen der Strombauwerke. Grundsätzliche Unterschiede bestehen dabei zwischen in der Strommitte gelegenen Strombauwerken und randlichen Strombauwerken.

Des Weiteren ist die Lage im Längsprofil der Unter- und Außenelbe und damit der Salinitätsgrad ein wesentlicher Parameter für die Wirkung von Strombauwerken. Es wird auch bei den flächenhaften Strombauwerken nach der Lage im limnischen, oligo- bis mesohalinen und polyhalinen bis marinen Bereich unterschieden.

### 3.2.2 Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte

Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte sind auf allen Seiten von Randsicherungen umgeben. Zusätzlich kann eine Abdeckung des Verbringungsmaterials zum Schutz vor Erosion notwendig sein. Die Basis von Unterwasserablagerungsflächen bildet vielfach erosionsstabiles Baggergut aus grobkörnigem Material oder Geschiebemergel (siehe Abbildung 3.2-7). Dies dient dazu, die Höhe der erforderlichen Randsicherungen zu reduzieren. Bei geringen Wassertiefen kann auf diesen Gründungsbereich verzichtet werden. Die Neigung des Randes der Ablagerungsfläche liegt im unbefestigten Gründungsbereich in der Regel bei ca. 1 : 10 bis 1 : 20, im Bereich der Randsicherungen bei ca. 1 : 1 bis 1 : 3. Die verschiedenen Materialien zum Bau der Randsicherungen wurden bereits in Kapitel 3.2.1.2.2 beschrieben, aktuell werden vielfach geotextile Container verwendet.



**Abbildung 3.2-7: Aufbau einer Unterwasserablagerungsfläche in der Strommitte (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt A-A', siehe Abbildung 3.2-1)**

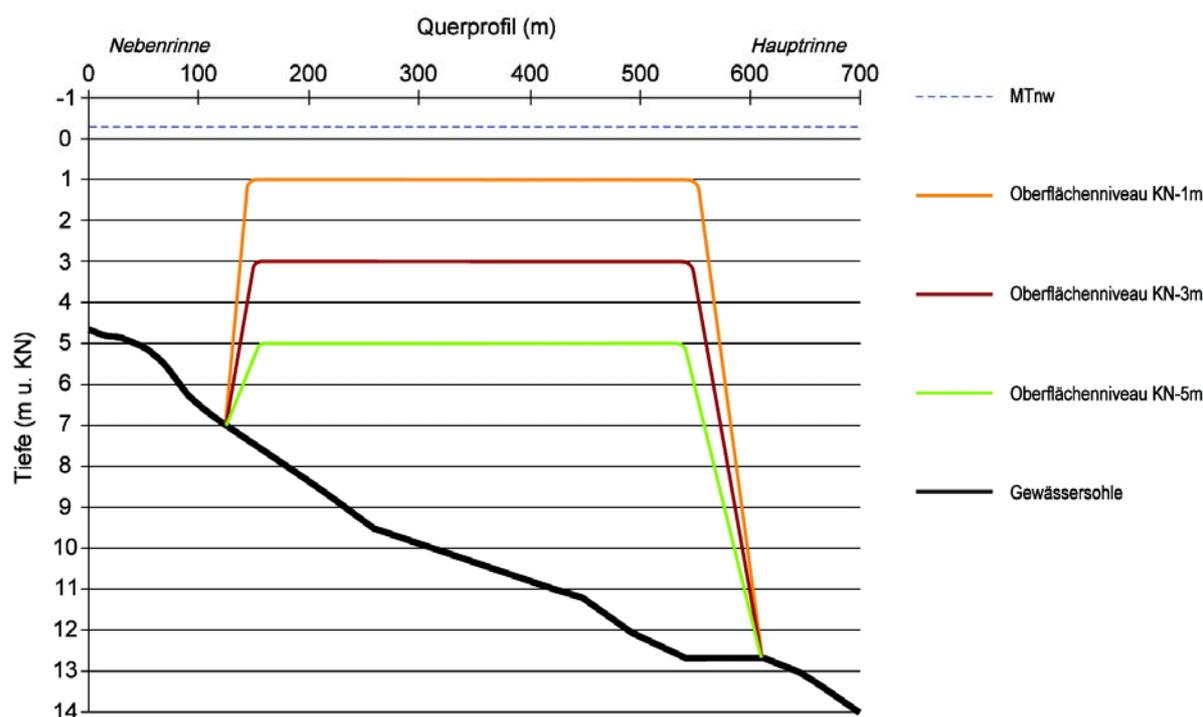
Nachfolgend werden wesentliche Parameter hinsichtlich der Variationsmöglichkeiten beim Bau von Unterwasserablagerungsflächen beschrieben (siehe Tabelle 3.2-3). Im Vergleich zu Tabelle 3.2-2 sind hierbei spezifischere Unterscheidungen erfolgt.

**Tabelle 3.2-3: Parameter für den Bau von Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte**

Oberflächenniveau	Oberflächenstruktur	Form
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN -5 m</li> <li>• KN -3 m</li> <li>• KN -1 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flache Böschungen (&lt; 1:10)</li> <li>• heterogene Höhenstruktur</li> <li>• terrassierte Form</li> <li>• Materialdiversität an der Oberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelform</li> <li>• Form mit verlängerten Randlinien</li> <li>• Kette von Unterwasserablagerungsflächen</li> </ul>

### **Oberflächenniveau**

Das Oberflächenniveau der Unterwasserablagerungsflächen kann sich aus hydrodynamischen, wirtschaftlichen oder ökologischen Kriterien ergeben. In Abbildung 3.2-8 sind exemplarisch drei verschiedene Oberflächenniveaus (KN -5 m, KN -3 m, KN -1 m) dargestellt. Es sind darüber hinaus weitere Oberflächenniveaus denkbar, die bei der Analyse der lokalen Auswirkungen einbezogen werden können.



**Abbildung 3.2-8: Unterwasserablagerungsflächen mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

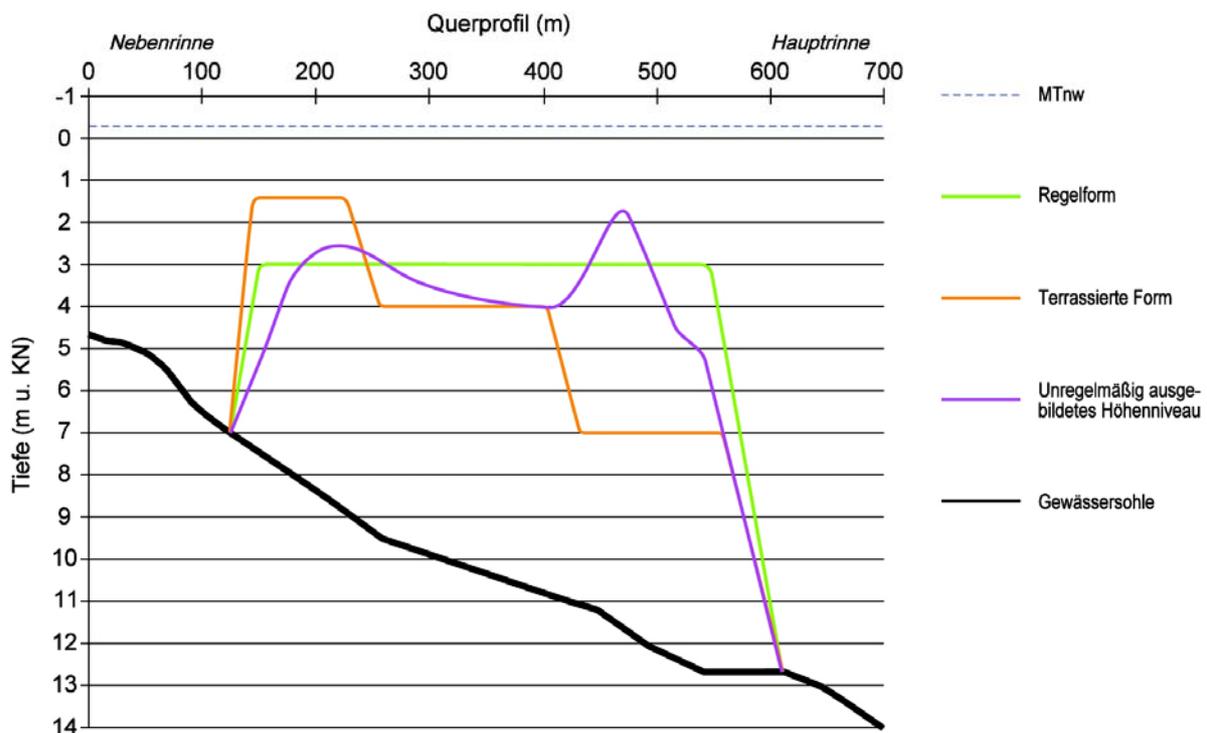
### **Oberflächenstruktur**

Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit beim Bau einer Unterwasserablagerungsfläche von einer „Regelform“ mit steilen, gesicherten Rändern und einer unstrukturierten, ebenen Oberfläche abzuweichen (siehe Abbildung 3.2-9). Dabei sind verschiedene Varianten denkbar:

- flache Böschungen mit geringen Neigungen ( $< 1 : 10$  - gegebenenfalls ist dadurch teilweise ein Verzicht auf Randsicherungen möglich),
- Oberfläche mit verschiedenen Höhenniveaus (mit Senken und Erhöhungen),
- terrassierte Form mit Wechsel von steilen, gesicherten Böschungen und ebenen, ungesicherten Oberflächen.

Daneben kann die Oberfläche des Strombauwerks durch die Verwendung unterschiedlicher Materialien heterogen gestaltet werden, insbesondere durch unterschiedliche Arten von Baggergut und verschiedene Abdeckmaterialien.

Es stellt sich dabei die grundsätzliche Frage, ob eine bestimmte Oberflächenstruktur durch Abdeckmaterialien gesichert werden soll oder ob morphodynamische Prozesse, die zu einer Veränderung der Oberfläche führen, zugelassen werden können.



**Abbildung 3.2-9: Unterwasserablagungsflächen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

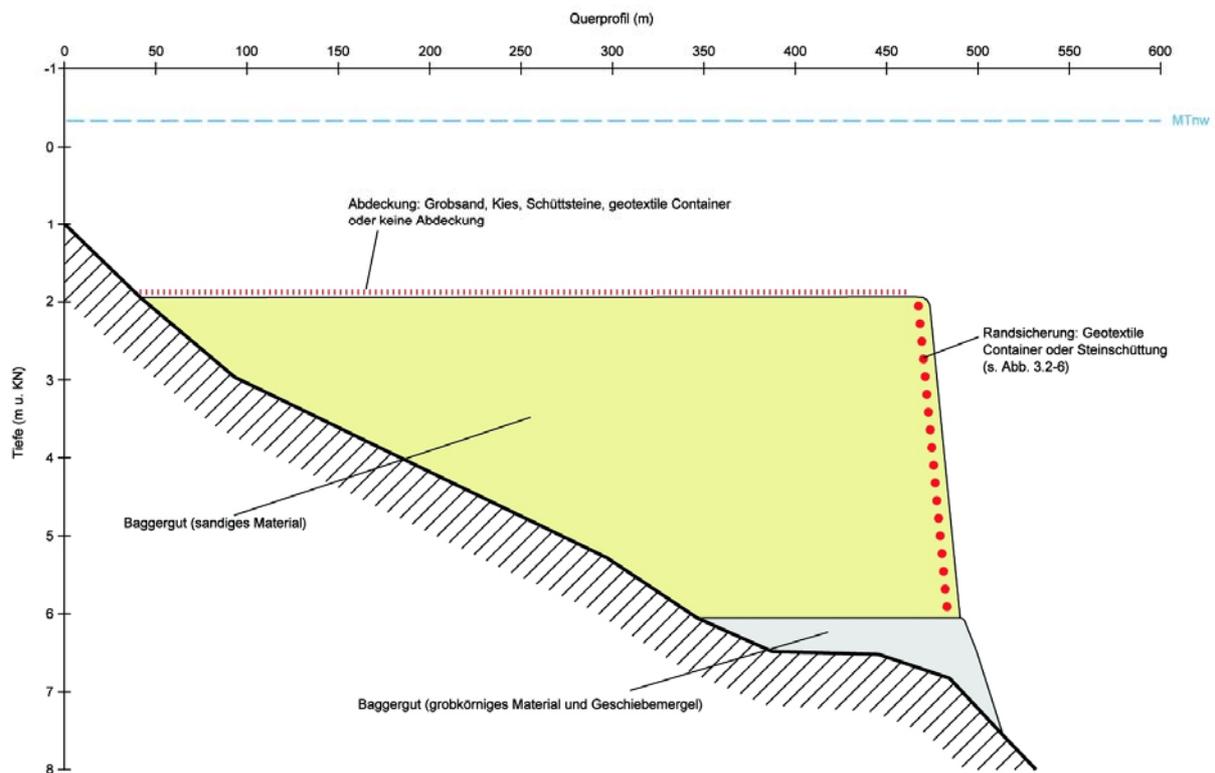
### *Länge der seitlichen Randlinie*

Weitere Variationsmöglichkeiten entstehen durch die Verlängerung der seitlichen Randbegrenzungen der Unterwasserablagungsflächen. Unregelmäßige Strukturen mit Buchten haben wesentlich längere Randlinien zur Folge als ovale oder rechteckige Formen. Außerdem kann statt einer großen, zusammenhängenden Ablagerungsfläche eine Kette mehrerer kleinerer Ablagerungsflächen angelegt werden, wodurch sich Querströmungen zwischen den Ab-

gerungsflächen einstellen können. Die Variationsmöglichkeiten werden in den Kapiteln 3.2.3 (Randliche Unterwasserablagerungsflächen) bzw. 3.2.4 (Inseln) dargestellt.

### 3.2.3 Randliche Unterwasserablagerungsflächen

Randliche Unterwasserablagerungsflächen (Abbildung 3.2-10) ähneln in ihrem grundsätzlichen Aufbau den Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte. Da sie im Uferbereich angelegt werden, ist eine uferseitige Randbegrenzung in der Regel nicht notwendig. Im Gegensatz zu den Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte bestehen die Randsicherungen häufig aus verschiedenen Materialien: einer Steinschüttung auf einer Geotextilmatte für die „Seitenteile“ und geotextilen Containern für die Längsseite. Bei größeren Wassertiefen wird häufiger eine Basis aus Mergel und Geröll angelegt, um die Höhe der Randsicherungen zu reduzieren.



**Abbildung 3.2-10: Aufbau einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt B-B', siehe Abbildung 3.2-1)**

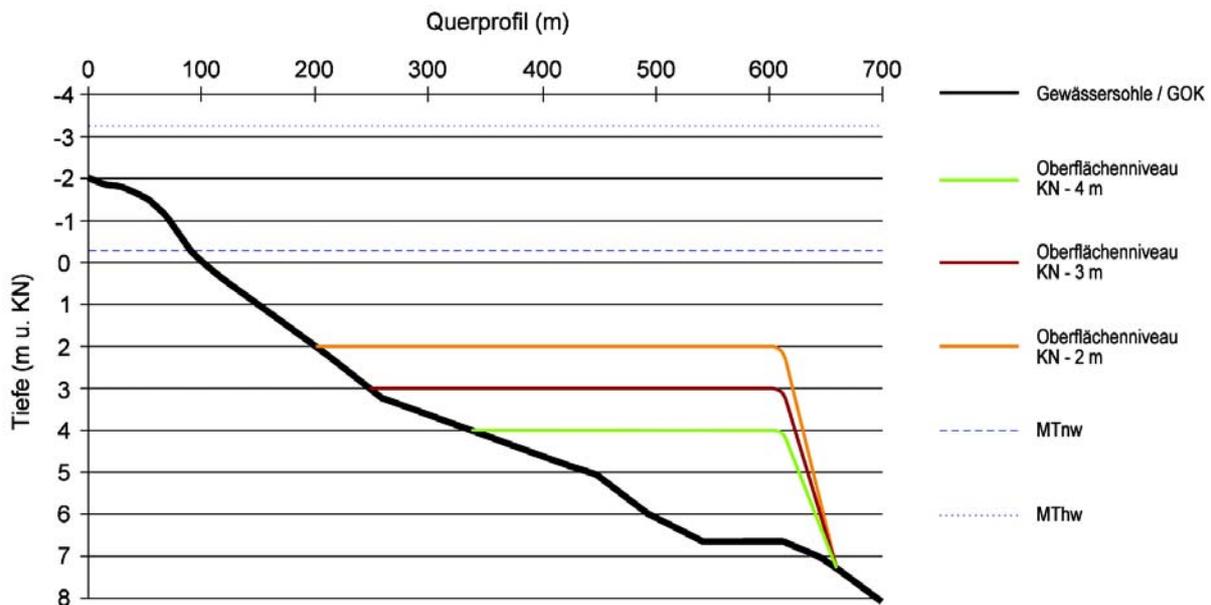
Tabelle 3.2-4 fasst einzelne Parameter und Variationsmöglichkeiten für den Bau randlicher Unterwasserablagerungsflächen zusammen.

**Tabelle 3.2-4: Parameter für den Bau von randlichen Unterwasserablagerungsflächen**

Oberflächenniveau	Oberflächenstruktur	Form
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN -4 m</li> <li>• KN -3 m</li> <li>• KN -2 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flache Böschungen (&lt; 1:10)</li> <li>• heterogene Höhenstruktur</li> <li>• terrassierte Form</li> <li>• Materialdiversität an der Oberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelform</li> <li>• Form mit verlängerten Randlinien</li> <li>• Kette von Unterwasserablagerungsflächen</li> </ul>

**Oberflächenniveau**

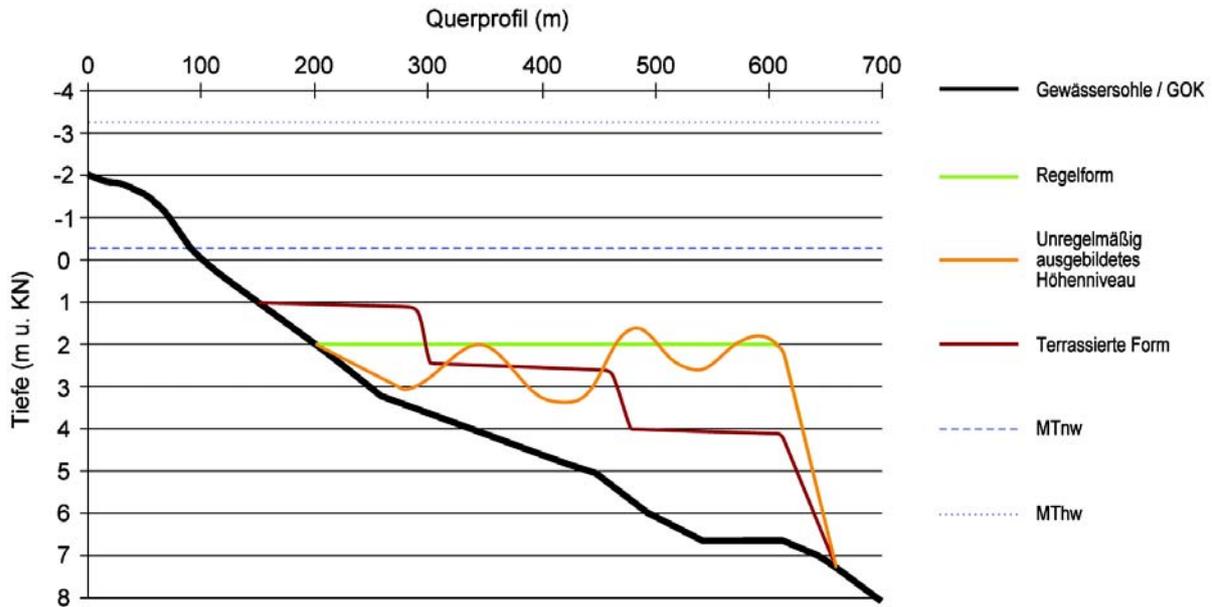
Abbildung 3.2-11 zeigt drei mögliche Oberflächenniveaus von randlichen Unterwasserablagerungsflächen. Aufgrund ihrer randlichen Lage in Bereichen mit geringerer Wassertiefe weisen sie tendenziell etwas geringere Gesamthöhen auf als die mehr zur Strommitte gelegenen Unterwasserablagerungsflächen.



**Abbildung 3.2-11: Randliche Unterwasserablagerungsflächen mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

**Oberflächenstruktur**

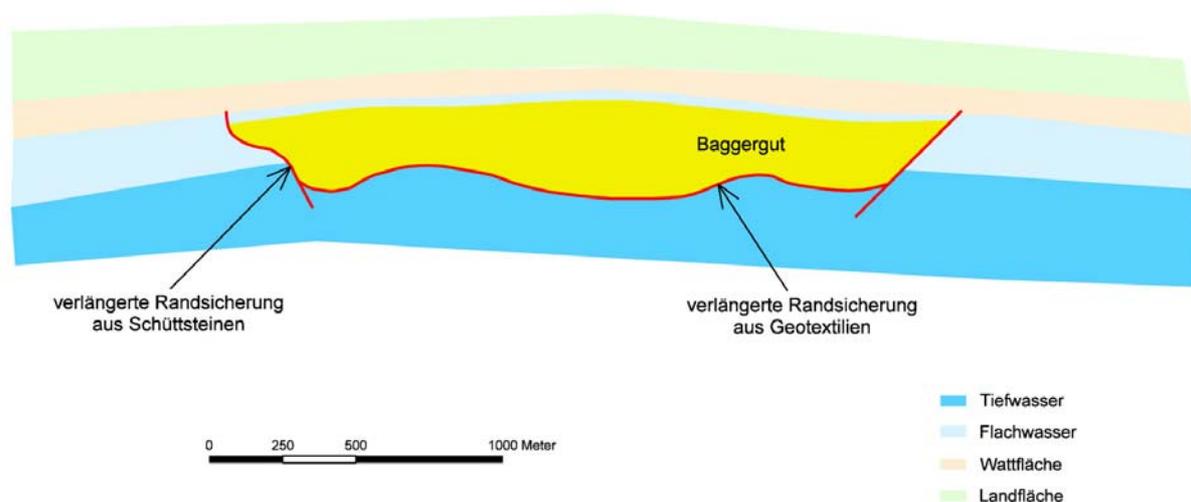
Ähnlich wie bei den in Strommitte gelegenen Unterwasserablagerungsflächen bestehen auch bei den randlichen Unterwasserablagerungsflächen verschiedene Möglichkeiten der Gestaltung der Oberfläche (siehe Abbildung 3.2-12 und Kapitel 3.2.2).



**Abbildung 3.2-12: Randliche Unterwasserablagerungsflächen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

**Länge der seitlichen Randlinie**

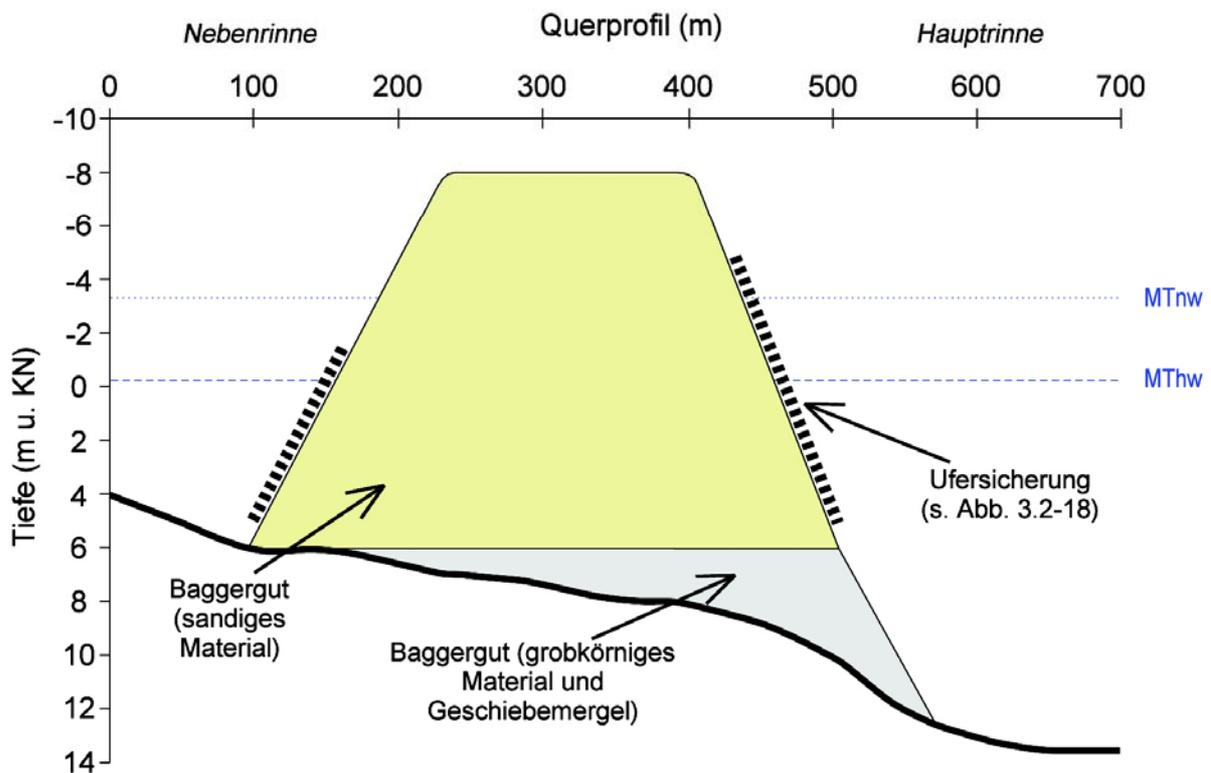
Eine Abkehr von einer regelmäßigen Unterwasserablagerungsfläche mit geraden Randbegrenzungen ist durch einen unregelmäßigen Verlauf, d. h. Verlängerung der seitlichen Randsicherungen, denkbar (siehe Abbildung 3.2-13). Dies kann bei den mit Wasserbausteinen hergestellten Randsicherungen durch variierende Böschungsneigungen, aber auch durch eine stärker geschwungene Linienführung der Randsicherung erreicht werden. Bei Randsicherungen aus geotextilen Containern kann ebenfalls ein geschwungener Verlauf durch ein gezieltes kurvenförmiges Absenken der geotextilen Container hergestellt werden.



**Abbildung 3.2-13: Randliche Unterwasserablagerungsfläche mit verlängerten Randlinien (Draufsicht)**

### 3.2.4 Inseln

Strombauwerke, die als Inseln konzipiert sind, unterscheiden sich im grundsätzlichen Aufbau nicht von Unterwasserablagerungsflächen. Sie bestehen aus Baggergut und erfordern bei entsprechenden hydraulischen Belastungen eine Randsicherung. Da die Höhe der Ablagerung über MThw endet, umfasst die Randsicherung sowohl dauerhaft aquatische Bereiche als auch den Wasserwechselbereich. Abbildung 3.2-14 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Insel als Strombauwerk.



**Abbildung 3.2-14: Aufbau einer Insel (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt C-C', siehe Abbildung 3.2-1)**

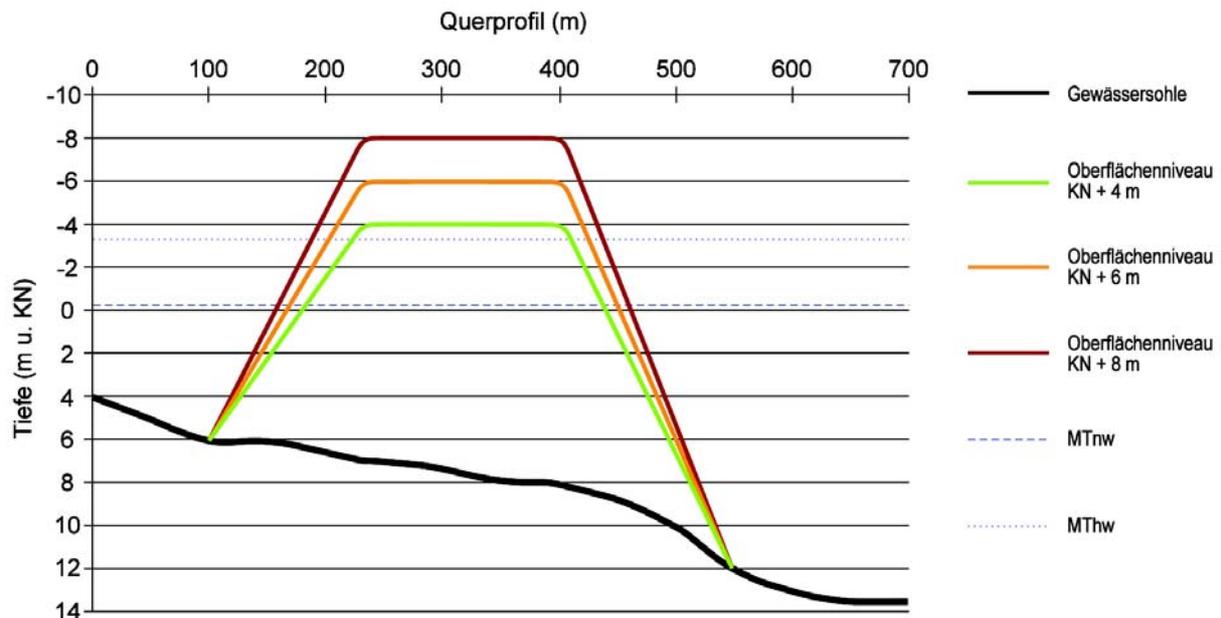
In Tabelle 3.2-5 fasst wesentliche Parameter und Variationsmöglichkeiten für den Bau von Inseln zusammen, wobei sich Unterschiede zu den Unterwasserablagerungsflächen im Wesentlichen durch das Oberflächenniveau, aber auch durch die Oberflächenstruktur ergeben.

**Tabelle 3.2-5: Parameter für den Bau von Inseln**

Oberflächenniveau	Oberflächenstruktur	Form
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN +4 m</li> <li>• KN +6 m</li> <li>• KN +8 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flache Böschungen (&lt; 1:10)</li> <li>• heterogene Höhenstruktur</li> <li>• terrassierte Form</li> <li>• Substratdiversität an der Oberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelform</li> <li>• Form mit verlängerten Randlinien</li> <li>• Kette von Inseln</li> </ul>

### **Oberflächenniveau**

Abbildung 3.2-15 zeigt drei verschiedene Höhenniveaus von Inseln auf. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Lage zum MThw und damit hinsichtlich ihrer Überflutungshäufigkeit. Bei einer Höhe von KN +4 m (ca. 0,5 bis 1 m oberhalb MThw) wird die Insel mehrmals im Monat überflutet. Bei einer Höhe von KN +6 m treten Überflutungen der Insel wesentlich seltener auf (mehrmals im Jahr). Ist die Insel höher als KN +8 m, so sind Überflutungsereignisse sehr selten. Sie treten meist weniger als einmal pro Jahr auf.

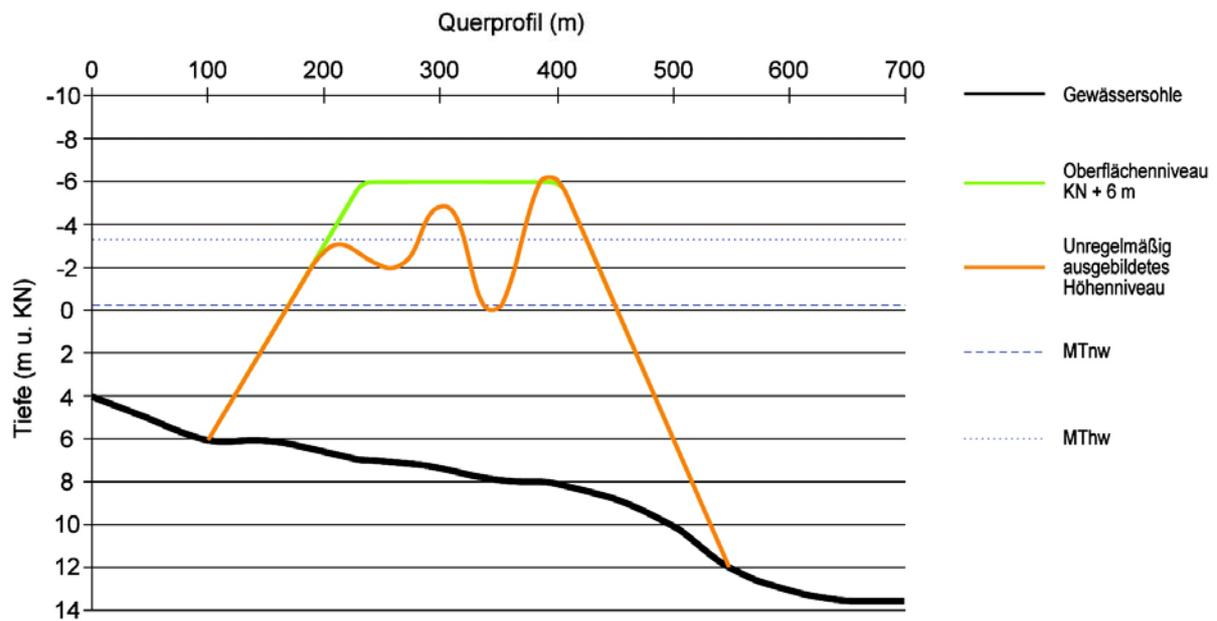


**Abbildung 3.2-15: Inseln mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

### **Oberflächenstruktur**

Die Oberfläche einer Insel kann von einer „Regelform“ mit einer ebenen Oberfläche erkennbar abweichen. So kann durch eine Modellierung der Oberfläche die Strukturvielfalt deutlich erhöht werden (Abbildung 3.2-16), insbesondere durch:

- die Anlage flacher Böschungen mit geringen Neigungen ( $< 1 : 10$  - gegebenenfalls ist dadurch teilweise ein Verzicht auf Randsicherungen möglich),
- eine heterogene Höhenstruktur (Anlage von Senken und Erhöhungen),
- die Schaffung unterschiedlicher Substratbedingungen auf der Insel.



**Abbildung 3.2-16: Inseln mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

### *Uferstruktur*

Neben der Oberfläche der Inseln können auch die Ufer unterschiedlich strukturiert werden. Dies hängt sehr stark davon ab, mit welcher Neigung die Ufer ausgebildet werden können bzw. wie wellenbelastet die Ufer sind. Gegebenenfalls sind zum Schutz der Ufer vor Erosion Ufersicherungen erforderlich. Es werden nachfolgend vier verschiedene Arten der Uferstrukturen beispielhaft betrachtet, die auch verschiedene Arten von Ufersicherungen beinhalten (siehe Abbildung 3.2-17):

- naturnahes Ufer ohne Ufersicherung,
- Deckwerk bis ca. Mittelwasser,
- Deckwerk bis ca. MThw +0,5 m,
- vorgelagertes Leitwerk zum Schutz vor Wellenschlag (bis ca. MThw +0,5 m) mit dahinter liegendem unbefestigtem Ufer.

Bezüglich der Art der Uferstrukturierung stellt sich die grundsätzliche Frage, ob und in welchem Umfang Erosionsprozesse zugelassen werden können, die zu einer Änderung der Uferlinie führen können (wie es beispielsweise am Nordende der Insel Schwarztonnensand und im östlichen Bereich der Insel Hanskalbsand zu beobachten ist).

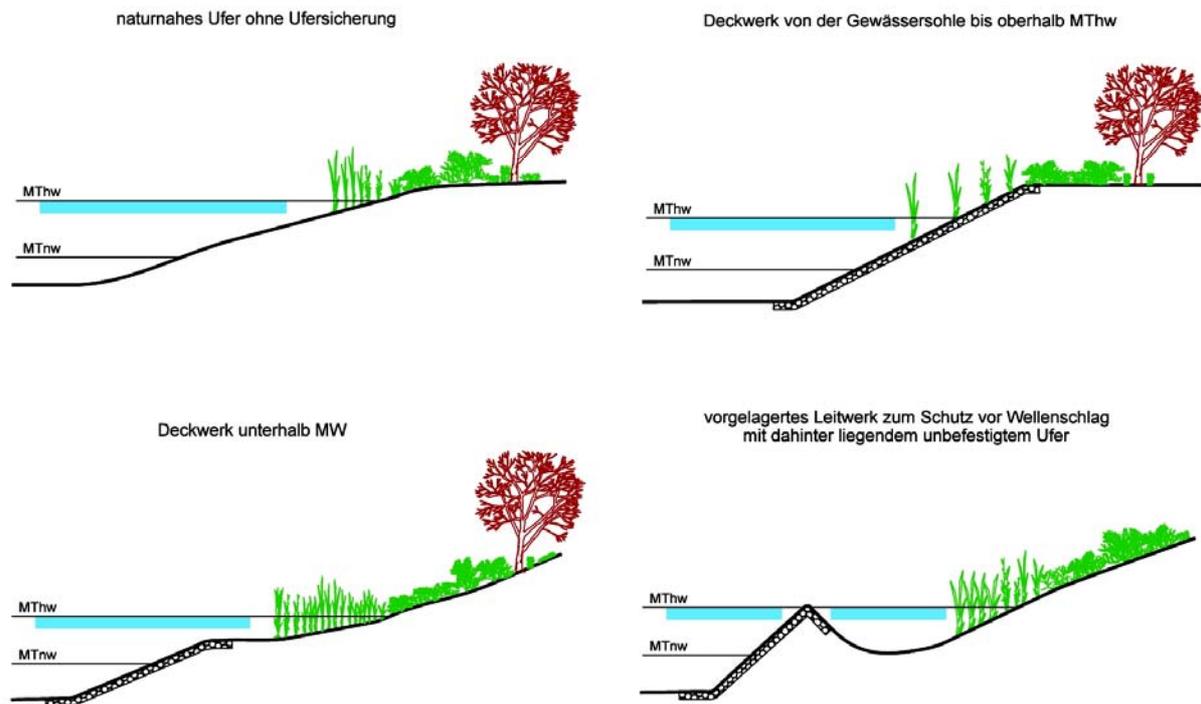


Abbildung 3.2-17: Übersicht verschiedener Uferstrukturen von Inseln

### ***Inselform***

Abweichend von einer mehr geometrischen „Regelform“ (z. B. Insel mit geradlinigen Ufern) sind bei der Anlage eines inselförmigen Strombauwerks ebenfalls zahlreiche Variationsmöglichkeiten denkbar. So kann einerseits durch Schaffung von Buchten die Uferlinie deutlich verlängert werden. Daraus folgt auch eine Verlängerung der sonstigen Isolinien (sowohl der Inselfläche als auch der umgebenden Unterwasserbereiche - siehe Abbildung 3.2-18). Außerdem ist es möglich, statt nur einer Insel eine Kette von zwei oder mehreren Inseln anzulegen, so dass zwischen den Inseln durchströmte Flachwasserbereiche entstehen können (siehe Abbildung 3.2-19).

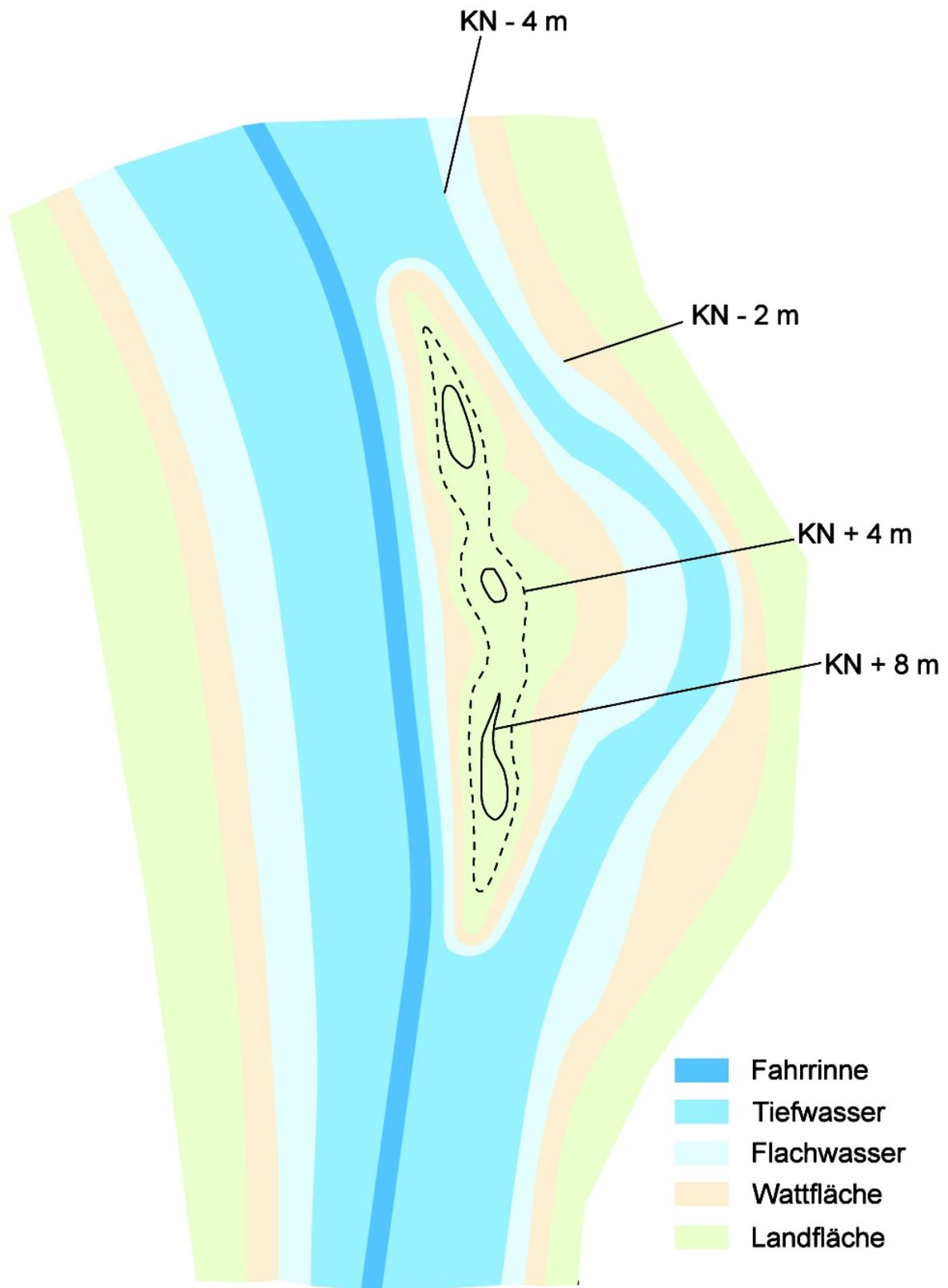


Abbildung 3.2-18: Insel mit verlängerten Randlinien (Draufsicht)

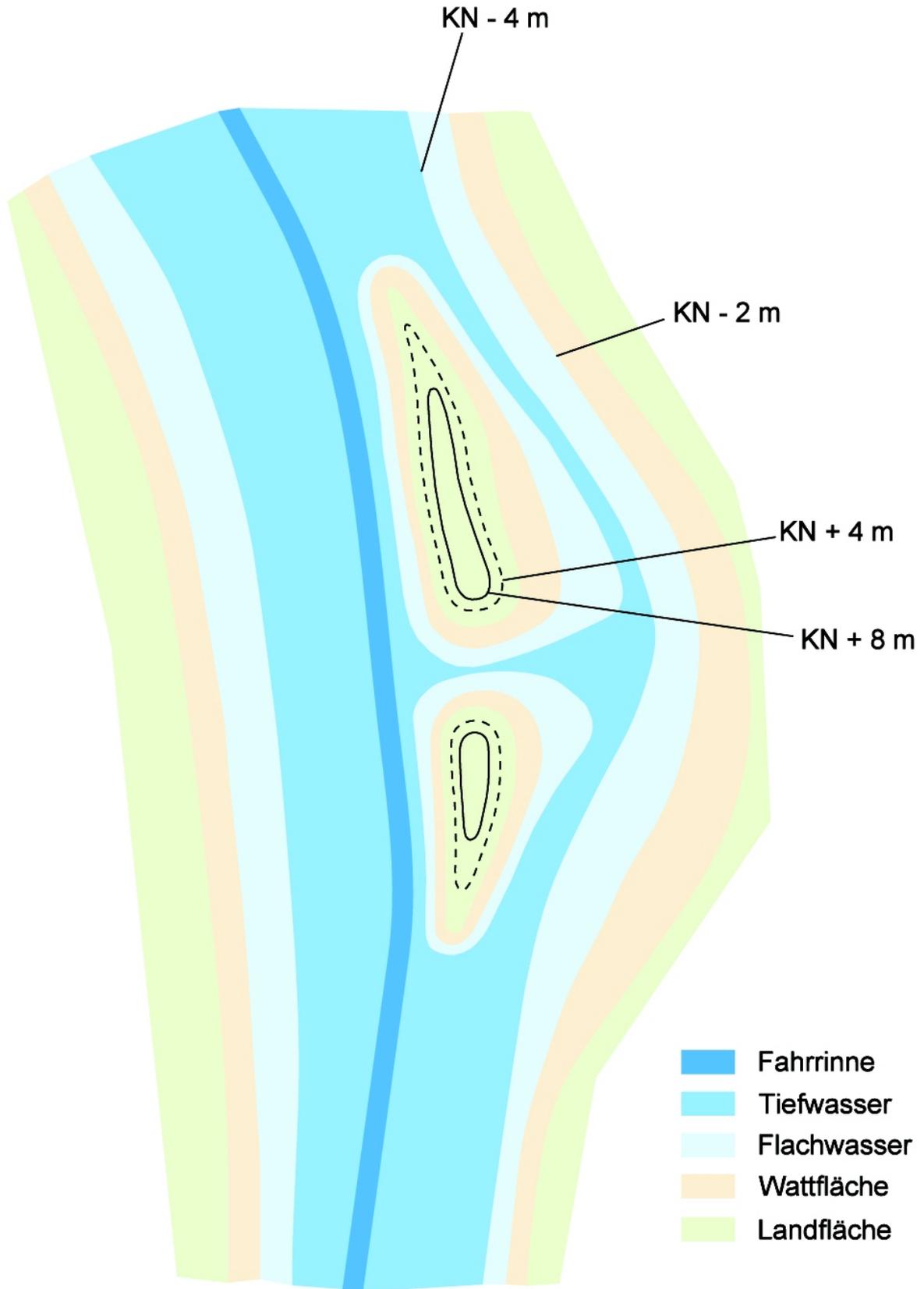


Abbildung 3.2-19: Inselkette mit zwei Inseln (Draufsicht)

### 3.2.5 Ufervorspülungen

Unter Ufervorspülungen können sowohl Aufspülungen ohne Erosionsschutz (Abbildung 3.2-20) als auch dauerhafte Strombauwerke mit Erosionsschutz verstanden werden. Abbildung 3.2-21 zeigt den grundlegenden Aufbau einer Ufervorspülung mit Erosionsschutz. Als Verbringungsmaterial wird vorwiegend sandiges Material verwendet. Als wasserseitige Randsicherungen sind unterschiedliche Materialien möglich, insbesondere geotextile Container und Steinschüttungen.

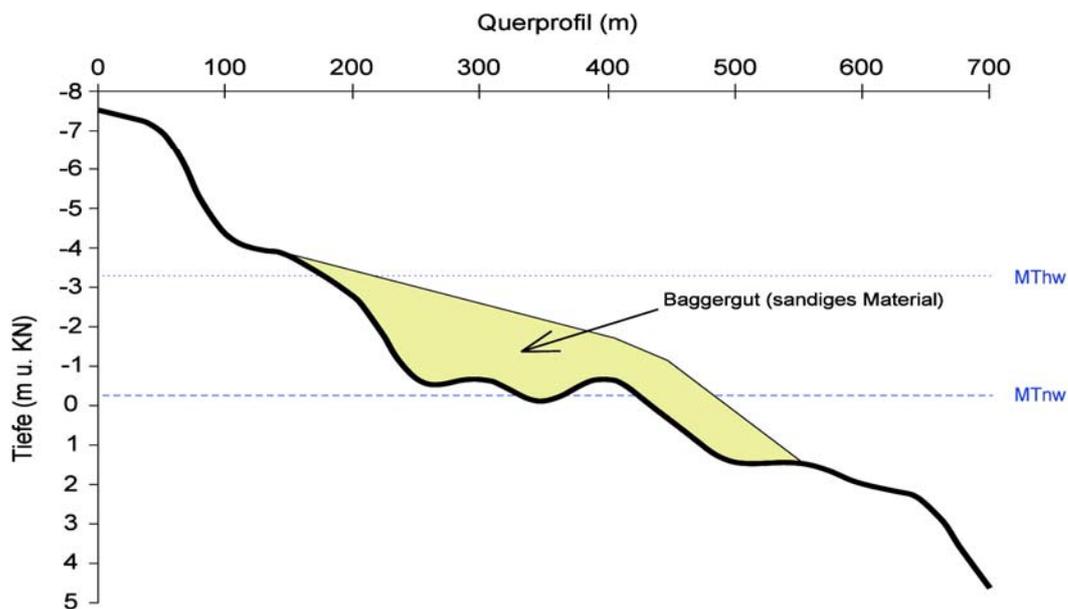
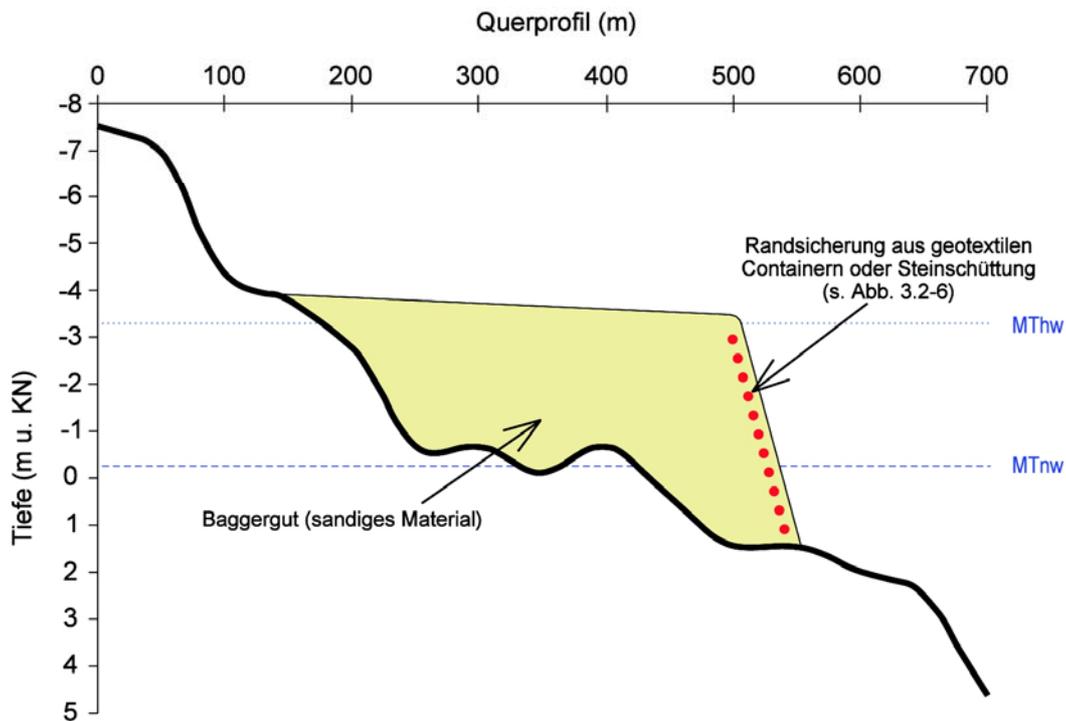


Abbildung 3.2-20: Ufervorspülung ohne Erosionsschutz (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)



**Abbildung 3.2-21: Uferspülung mit Erosionsschutz (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt D-D', siehe Abbildung 3.2-1)**

Eine seitliche Randsicherung zum Schutz vor Erosion kann zusätzlich notwendig sein. Ihr Aufbau ist vergleichbar mit der seitlichen Randsicherung einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche. Erfolgt die Ufervorspülung ohne Erosionsschutz, so ist sie wesentlich flacher geneigt (Neigung ca. 1 : 10 – 1 : 20) um die hydraulische Belastung zu minimieren.

Tabelle 3.2-6 fasst beispielhaft verschiedene Parameter für den Bau von Ufervorspülungen zusammen.

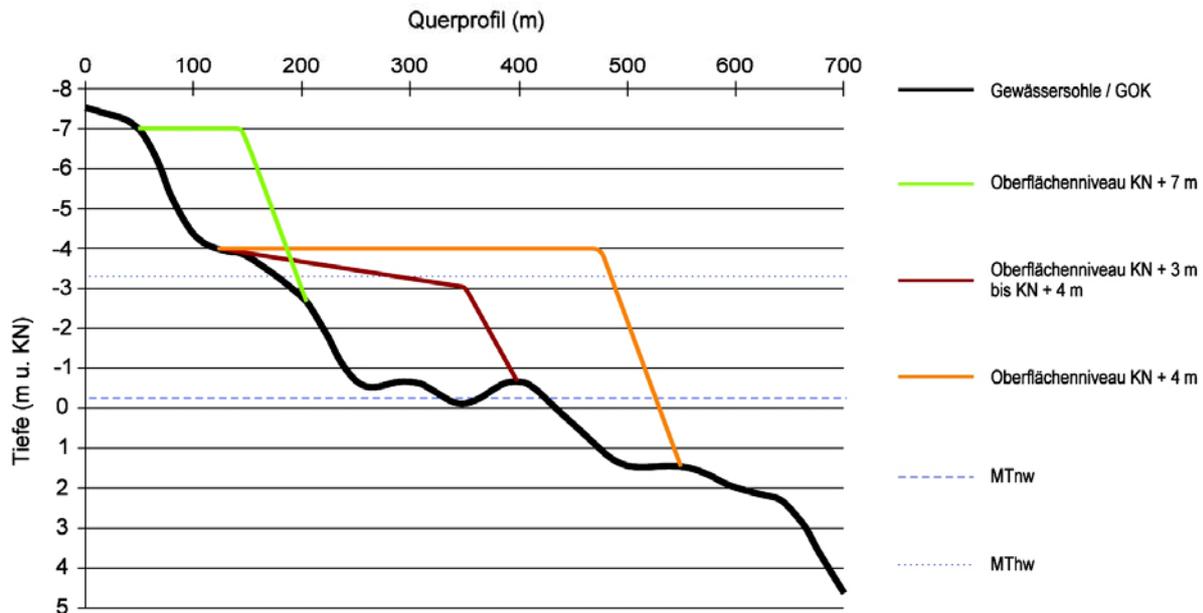
**Tabelle 3.2-6: Parameter für den Bau von Ufervorspülungen**

Oberflächenniveau	Oberflächenstruktur	Form
<ul style="list-style-type: none"> <li>• KN +3 m</li> <li>• KN +4 m</li> <li>• KN +8 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flache Böschungen (&lt; 1:10)</li> <li>• heterogene Höhenstruktur</li> <li>• terrassierte Form</li> <li>• Substratdiversität an der Oberfläche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelform</li> <li>• Form mit verlängerten Randlinien</li> <li>• Kette von Ufervorspülungen</li> </ul>

***Oberflächenniveau***

Ufervorspülungen können je nach Ausgangsmorphologie, Dimension und strombaulicher Funktion unterschiedliche Oberflächenniveaus einnehmen. In Abbildung 3.2-22 sind beispielhaft drei Varianten aufgezeigt:

- eine relativ klein dimensionierte (ca. 100 m breite) Ufervorspülung zwischen ca. MThw und MThw +4 m (Variante 1),
- eine mittelgroße (ca. 200 m breite) Ufervorspülung zwischen MTnw und MThw +1 m (Variante 2),
- eine große (ca. 300 m breite) Ufervorspülung zwischen MTnw -1m und MThw +1 m (Variante 3).

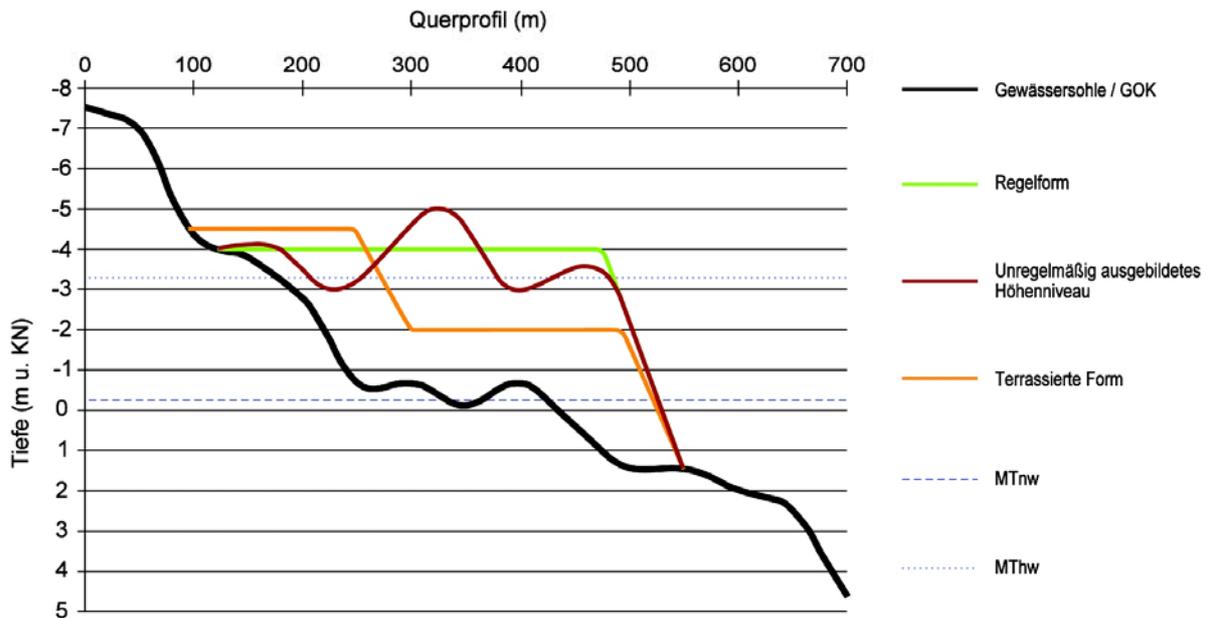


**Abbildung 3.2-22: Ufervorspülungen mit verschiedenen Oberflächenniveaus (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

### ***Oberflächenstruktur***

Vergleichbar mit den anderen flächenhaften Strombauwerken können auch die Ufervorspülungen von einer ebenen Oberfläche abweichen. Insbesondere sind dabei folgende Varianten denkbar (siehe Abbildung 3.2-23):

- die Anlage flacher Böschungen mit geringen Neigungen ( $< 1 : 10$  - gegebenenfalls ist dadurch teilweise ein Verzicht auf eine Fußsicherung möglich),
- eine heterogene Höhenstruktur (Anlage von Senken und Erhöhungen),
- die Schaffung unterschiedlicher Substratbedingungen an der Oberfläche.



**Abbildung 3.2-23: Ufervorspülungen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung)**

### *Länge der seitlichen Randlinie*

Ufervorspülungen erfolgen im Regelfall parallel zur Uferlinie mit gerade verlaufenden Randbegrenzungen. Es ist denkbar, die uferseitigen Randsicherungen durch einen geschwungenen Verlauf ähnlich wie bei einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche zu verlängern (siehe Abbildung 3.2-13). Außerdem könnten statt einer großen Ufervorspülung mehrere nebeneinander liegende, kleinere Ufervorspülungen realisiert werden.

### **3.2.6 Übertiefenverfüllungen**

Übertiefenverfüllungen stellen einen Sonderfall einer Unterwasserablagerungsfläche dar. Sie werden in Tiefen von mehr als 20 m unter KN angelegt und benötigen keine Randsicherungen, da das Baggergut in eine vorhandene Mulde im Gewässer eingebracht wird. Aufgrund der im Bereich der Übertiefe erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten ist eine Bauweise erforderlich, die ein Verdriften des eingebrachten Materials verhindert. Dies geschieht am besten durch den lageweisen Einbau von geotextilen Containern, die mit dem Baggergut gefüllt sind. Abbildung 3.2-24 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Übertiefenverfüllung in schematisierter Form. Zwischen den Lagen wird weiteres Baggergut verbracht, durch die nächste Lage geotextiler Container abgedeckt und vor Verdriftung geschützt.

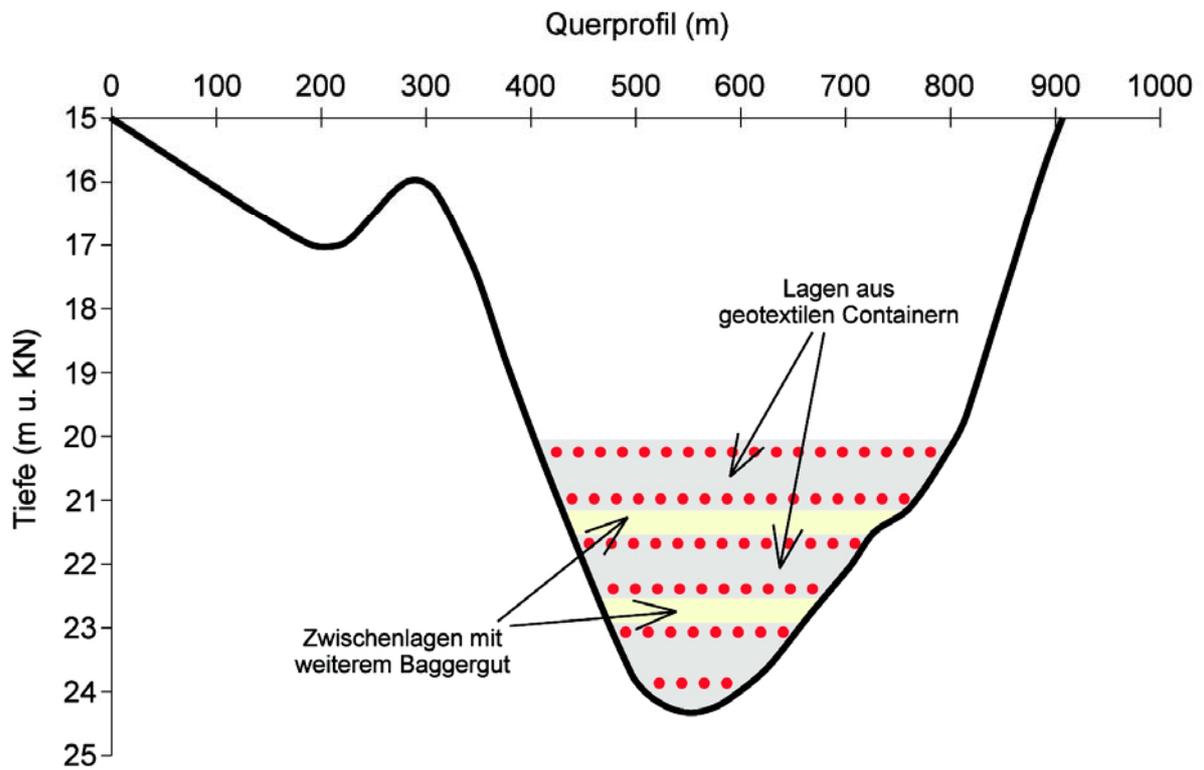


Abbildung 3.2-24: Übertiefenverfüllung (Querprofil, abstrakte Beispieldarstellung, Schnitt E-E', siehe Abbildung 3.2-1)

## 4 Beschreibung und Bewertung der lokalen Wirkungen von Strombauwerken

### Allgemeines

Die vorangegangene Beschreibung der unterschiedlichen Strombauwerke bildet die Grundlage für die nachfolgende schutzgutbezogene Beschreibung und Bewertung der mit diesen Strombauwerken verbundenen bzw. von ihnen ausgehenden möglichen ökologischen Wirkungen. Diese Wirkungen der beispielhaft aufgeführten Parameter und deren Variationsmöglichkeiten können sich auf das Bauwerk bzw. seine unmittelbare Umgebung beschränken (lokale Wirkungen, z. B. Besiedlungsverhalten), sie können aber auch großräumig wirksam sein (z. B. Veränderung des Sedimenttransports). Als Grenze zwischen dem lokalen und großräumigen Wirkungsbereich wird eine Entfernung von etwa 1 km um die Randlinie des Strombauwerks angenommen.

Die Bewertung der Wirkungen erfolgt anhand des in Teil 1 der ökologischen Potenzialanalyse (BFG 2002) erläuterten Leitbildes und der Umweltziele. Die gewonnenen Ergebnisse liefern Hinweise dafür, wie Strombauwerke aus ökologischer Sicht modifiziert bzw. optimiert werden können. Die Betrachtung der „Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten“ erfolgt im Gegensatz zur Bearbeitung der anderen Themen nachfolgend in einer sehr allgemeinen, knappen Form sowie in Kapitel 4.2.1.1.1.1 „Verbringungsmaterial“.

In der Tideelbe sind in den letzten Jahrzehnten zwischen Fahrwasser und Uferbereich viele Quadratkilometer große, feinkörnige Wattflächen aufsedimentiert. In diesen bis zu einigen Metern dicken Ablagerungen sind, im Vergleich zu frischen Sedimentablagerungen, teilweise sehr hohe Schadstoffkonzentrationen bzw. -mengen aus den 1960er bis 1980er Jahren gespeichert. Besonders betrifft dies den Tidebereich stromaufwärts von Glückstadt. Werden in solchen Bereichen bzw. in deren Nähe wasserbauliche Veränderungen vorgenommen (z. B. Bau von Buhnen, Sohlschwellen oder auch Inseln), können

- während der Bauphase relevante Mengen der abgelagerten schadstoffhaltigen Feststoffe mobilisiert werden bzw.
- als Folge veränderter Strömungsverhältnisse langfristig erhebliche Mengen der schadstoffhaltigen Sedimente erodiert werden.

### Kriterien für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen

Nachfolgend werden die wesentlichen Kriterien für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen aus der Sicht der einzelnen Schutzgüter kurz zusammengefasst.

#### ➤ Hydrologie

Die Sicherung und Entwicklung einer ästuartypischen Tidedynamik im gesamten Bearbeitungsgebiet ist anzustreben. Dabei hat der Sturmflutschutz höchste Priorität. Hiervon ausgehend lassen sich in Bezug auf die Hydrologie Umweltziele für die Strömungsverhältnisse, die Wasserstände sowie die Verhältnisse von Flut- zu Ebbedauer festlegen.

*Umweltziel in Bezug auf die Strömungsverhältnisse:*

Ästuartypisch in Bezug auf Strömungen ist eine große Strömungsvielfalt. Dabei haben in der Vergangenheit die Anteile langsam durchströmter Bereiche zu Gunsten von Bereichen mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten immer mehr abgenommen. Das Umweltziel in Bezug auf die Strömungen lässt sich wie folgt definieren: Ein weiteres Ansteigen der Strömungsgeschwindigkeiten ist zu verhindern bzw. durch geeignete Maßnahmen sind zusätzliche Bereiche zu schaffen, die eine Strömungsvielfalt aufweisen. Dieses Umweltziel gilt für den gesamten Bereich der Unter- und Außenelbe. Es gilt jedoch ebenfalls, dass eine Zunahme sehr kleinräumig ausgeprägter Wirbelbewegungen im Bauwerksbereich nicht als eine Zunahme ästuartypischer Strömungsvielfalt zu werten ist.

*Umweltziel in Bezug auf die Wasserstände:*

MThw und MThb sollen nicht weiter erhöht, das MTnw soll nicht weiter abgesenkt werden.

*Umweltziel in Bezug auf die Verhältnisse von Flut- zu Ebbedauer:*

Aufgrund anthropogener Maßnahmen in der Tideelbe hat sich die Flutdauer verkürzt und die Ebbedauer verlängert. Ein weiteres Auseinanderdriften von Flut- und Ebbedauer soll vermieden werden.

Ergänzend ist bei künftigen anthropogenen Maßnahmen darauf zu achten, dass die vorhandene ästuartypische Tidedynamik der Nebenelben und Nebenflüsse nicht weiter verschlechtert wird. Dies betrifft in erster Linie die Einmündungen der Nebenflüsse, welche möglichst von Verbau freigehalten werden sollten, damit ein ungehindertes Einschwingen der Tide sowie eine den natürlichen Verhältnissen entsprechende Durchströmung dieser Bereiche gewährleistet bleibt. Die Durchströmung der noch verbliebenen Nebenelben soll dauerhaft erhalten werden.

Bewertende Aussagen zur Hydrologie erfolgen nur in zusammengefasster Form in Kapitel 4.3.

➤ Morphologie

Strombaumaßnahmen sollen so ausgeführt werden, dass die morphodynamischen Reaktionen des Ästuarsystems möglichst wenig anthropogene Eingriffe nach sich ziehen. Damit das der Fall ist, müssen nach Abschluss der Strombaumaßnahmen Sedimentation und Erosion im betrachteten Flussabschnitt ein neues dynamisches Gleichgewicht finden. Damit soll eine möglichst große morphologische Strukturvielfalt mit unterschiedlichen Strömungs- und Tiefenbereichen sowie heterogenem Sohlsubstrat verbunden sein. In von der Schifffahrt wenig beanspruchten Bereichen sollen sich annähernd natürliche morphologische Verhältnisse einstellen können.

Zu den typischen dynamischen Prozessen in einem natürlichen Tidegewässer gehört die kontinuierliche Veränderung der Uferstrukturen. Durch Erosions- und Sedimentationsvorgänge entstehen unregelmäßige Ufer mit Uferabbrüchen und Anlandungsbereichen. Diese Umlagerungsprozesse begünstigen die Bildung von Inseln und Sänden, verbunden mit der Entstehung von neuen Rinnen und Verzweigungen. Daraus ergibt sich dann auch eine natürliche Struktur- und Strömungsvielfalt innerhalb des Gewässerquerschnitts. Die Querschnittsausprägung und

die Uferbeschaffenheit sind somit ein Indikator für die Natürlichkeit der Gewässermorphologie.

Die Zunahme von Tiefwasserbereichen und Wattflächen und die damit einhergehende Abnahme von Flachwasserbereichen kennzeichnet eine negative morphologische Entwicklung, der entgegengewirkt werden sollte.

Bewertende Aussagen zur Morphologie erfolgen nur in zusammengefasster Form in Kapitel 4.3.

### **Hinweise zu den Aussagen zur Hydrologie und Morphologie der nachfolgenden Kapitel:**

Die dargestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen basieren auf der Grundlage vorliegender Erfahrungswerte und Literaturdaten. Für die folgenden Aussagen zur Hydrologie gilt jeweils, dass von einem konstanten Durchflussvolumen und von strömenden Fließverhältnissen ausgegangen wird. Genaue Aussagen zu den hydraulischen Wirkungen von Strombauwerken und den Auswirkungen auf hydrologische Parameter wie Wasserstände, Strömungen, Salzgehalte usw. sind nur mit Hilfe von wasserbaulichen Modellversuchen oder Berechnungen zu erhalten, da erst die genaue Lage, Größe und Ausgestaltung eines Strombauwerks eine genaue Beschreibung der Veränderungen ermöglicht.

Detaillierte Kenntnisse über Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten im Verlauf einer Tide werden wiederum benötigt, um z. B. Aussagen über Veränderungen des Sedimentations- und Erosionsverhaltens im Bereich von Strombauwerken im Tidegebiet zu machen. Die Sedimentation von Feinstmaterial in einem Ästuar ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Damit ein Teilchen einer bestimmten Größe aus der Wassersäule sedimentieren kann, muss eine bestimmte Fließgeschwindigkeit unterschritten werden. Die Menge an Material, das in einem Bereich sedimentieren kann, ist abhängig von der Dauer, in der eine bestimmte Geschwindigkeit unterschritten wird, sowie von dem Dargebot der entsprechenden Korngröße in der Wassersäule. Ob sich das Sedimentteilchen dauerhaft an einer bestimmten Stelle ablagert oder im nächsten Tidezyklus wieder in Suspension gebracht wird, ist von den an dieser Stelle auftretenden maximalen Flut- und Ebbestromgeschwindigkeiten abhängig.

Diese morphologischen Aussagen sind wiederum Grundlage, um aus Sicht der anderen Schutzgüter die ökologischen Wirkungen zu beschreiben.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Übergeordnetes Ziel ist ein natürlicher Stoffhaushalt und damit verbunden natürliche Gehalte an Sauerstoff, Nährstoffen und anderen Wasserbeschaffenheitsparametern. Wichtiger Bestandteil des Stoffhaushaltes in Ästuaren sind die aquatischen Sedimente (Sohle bis MThw), in denen Stoffe umgesetzt, gespeichert und/oder freigesetzt werden. Über den Austausch von gelösten und partikulären Stoffen beeinflusst das Sediment den darüber stehenden Wasserkörper. Für die Bewertung der Strombauwerke hinsichtlich der Wasserbeschaffenheit und des Stoffhaushaltes ist daher die ökologische Funktion natürlicher Sedimente, wie sie im Längsschnitt der Elbe vorkommen, ein wesentlicher Maßstab.

Für die biologischen Kompartimente Phytoplankton, Phytobenthos und Makrophyten gilt, dass Quantität und Artenzusammensetzung den natürlichen Bedingungen entsprechen sollen, also den nach der EG-WRRL geforderten Referenzbiozöosen.

Für die Beurteilung von Strombauwerken sind folgende Auswirkungen auf den Stoffhaushalt zu unterscheiden:

- Die Wechselwirkungen zwischen den Festkörperbestandteilen und ihren Oberflächen mit dem umgebenden Wasserkörper.
- Bezogen auf die dreidimensionale, räumliche Struktur des gesamten Bauwerkes ist der Wasseraustausch bzw. der Stoffaustausch bestimmend für die Stoffumsetzungen.
- Indirekte Auswirkungen auf den Transport von Wasser und Feststoffen im mittelbaren Bereich der Bauwerke. Insbesondere durch die Veränderung der Sedimentations- und Erosionsprozesse wird der Stoffhaushalt beeinflusst.

#### ➤ Boden

Bei der Bewertung der durch die linienhaften und flächenhaften Strombauwerke und deren mögliche Bauweisen verursachten lokalen Auswirkungen auf das Schutzgut Boden wird auf die in Teil 1 und Teil 2 der ökologischen Potenzialanalyse erarbeiteten Grundlagen zurückgegriffen (BFG 2002, BFG 2003). Dabei wird abgeprüft, ob die Bauwerke bzw. ihre Bauweisen und die damit verbundenen Auswirkungen

- zum Erreichen des übergeordneten schutzgutbezogenen Umweltziels (Kapitel 4.2 Teil 1 Ökologische Potenzialanalyse, BFG 2002) beitragen oder nicht
  - Erhalt und Entwicklung natürlicher Bodenfunktionen
  - Schutz und Entwicklung naturnaher, seltener und besonderer Böden
- und dem Zielzustand für das Schutzgut Boden (ökologisches Optimum, siehe Kapitel 4.2 Teil 1 Ökologische Potenzialanalyse, BFG 2002) entgegenkommen oder nicht
  - Vordeichsländer sind mehrere hundert Meter breit
  - Gehalte anorganischer Spurenelemente im Boden liegen im Hintergrundbereich
  - organische Spurenstoffe werden nicht eingetragen
  - Böden werden nicht gedüngt
  - kein Pflügen oder Dränen der Vordeichsländer
  - „grüne“ Deichanlagen sind akzeptiert
  - Hafenanlagen und Uferverbauung sind akzeptiert, soweit sie natürliche Bodenentwicklungen nicht wesentlich einschränken

Zusätzlich wird bei Bedarf angegeben, ob einzelne den Bodenwert bestimmende Kriterien (Kapitel 6.5 und Anlagen A 6.5 Teil 1 Ökologische Potenzialanalyse, BFG 2002) verbessert oder verschlechtert werden. Anhand dieser Einstufungen wird verbal argumentativ zusammengefasst, ob die mit den Strombauwerken verbundenen Wirkungen zu ökologischen Verbesserungen oder Verschlechterungen führen. Möglichkeiten zur Optimierung der Bauwerke bzw. Begrenzung ökologischer Beeinträchtigungen werden aufgezeigt.

Bei der allgemeinen Beschreibung der auf den Boden bezogenen Auswirkungen der Bauwerke werden neben den lokalen Effekten bereits Hinweise auf großräumig wirksame Folgen gegeben, da diese nicht immer unabhängig von den lokalen Effekten gesehen und davon getrennt werden können. Bei der Diskussion der Ausgestaltungsparameter für die Bauwerke finden diese großräumigen Auswirkungen keine Berücksichtigung mehr.

Alle Aussagen gelten für terrestrische, semiterrestrische und semisubhydrische Böden der Vordeichsländer im Unter- und Außenelberaum. Dabei zählen die mit höheren Pflanzen besiedelbaren Watten noch zum Geltungsbereich, der see- bzw. flusswärts durch eine Linie bei ca. 1,5 m unter MThw zum aquatischen Bereich mit seinen subhydrischen Böden abgegrenzt wird.

Böden aus anthropogen um- und abgelagertem Material reihen sich entsprechend ihres Horizontaufbaus in die Systematik der natürlichen Böden ein und werden durch die Beschreibung der Ausgangsmaterialien zur Bodenbildung (Substratebene) differenziert (DBG 1998, BAUMGARTEN ET AL. 2001). **Demnach zählen auch Bauwerkskonstrukte als *Böden*, die aus den zum Bau verwendeten Materialien (Substraten) bestehen.** Auf diese wirken nachfolgend bodenbildende Prozesse ein. Entsprechend der Ausprägung dieser Prozesse und dem Alter sowie Entwicklungszustand der zunächst als Kultsole oder alternativ als Anthrosole zu bezeichnenden Bauwerksböden lassen sich diese dann innerhalb der Systematik der natürlichen Böden klassifizieren. Damit sind auch Bodeneigenschaften und -funktionen beschreibbar.

#### ➤ Vegetation

Aus vegetationskundlicher Sicht lassen sich die wichtigsten Umweltziele für das Elbe-Ästuar nachfolgend zusammenfassen:

- Förderung des charakteristischen Arteninventars der Ästuarare (ästuartypische Vegetationstypen wie Röhrichte, Hochstaudenfluren, Weidengebüsche, Weichholzaunen, Hartholzaunen und Salzwiesen).
- Entwicklung einer naturnahen Vegetationszonierung entlang des hydrologischen Gradienten auf ausreichend breiten Vorländern.
- Förderung der Vegetationsdynamik durch Nutzungsaufgabe sowie durch Förderung ästuartypischer morpho- und hydrodynamischer Prozesse.

Unter „ästuartypischen Vegetationstypen“ sind Vegetationsbestände zu verstehen, die sich an möglichst naturnahen und gering vom Menschen beeinflussten Standorten im Elbe-Ästuar entwickeln können. Derartige Standorte weisen naturnahe Bodeneigenschaften und möglichst naturnahe morphologische und hydrologische Bedingungen auf.

Die Einschätzung, ob durch Strombauwerke ökologische Verbesserungen oder ökologische Beeinträchtigungen erzielt werden können, erfolgt auf der Grundlage der oben genannten Umweltziele.

➤ Fauna

Die Bewertung der ökologischen Auswirkungen der Strombauwerke für die Fauna orientiert sich an dem in der Potenzialanalyse Teil 1 definierten Leitbild sowie den faunistischen Umweltzielen. Für eine charakteristische Vielfalt an Tierarten und Lebensgemeinschaften im Elbe-Ästuar ist es erforderlich, die lebensräumlichen Voraussetzungen zu erhalten und zu entwickeln. Dazu gehören die hierfür erforderlichen Lebensraumgrößen, ihre Lagebeziehungen sowie die erforderliche stoffliche, hydrologische und strukturelle Lebensraumqualität sowie die Erhaltung und Entwicklung störungsarmer Räume. Maßgeblich für die Bewertung ist demnach ein dynamisches Mosaik verschiedener Lebensräume, bestehend aus Flachwasser- und Tiefwasserbereichen, Wattflächen, terrestrischen Flächen, Inseln (Sände) und Stromarme in möglichst naturnaher Verteilung von Tide und Strömung im Elbe-Ästuar. Für die Einschätzung der ökologischen Auswirkungen der Strombauwerke aus faunistischer Sicht ist daher entscheidend, ob die Lebensraumqualität verbessert oder beeinträchtigt wird.

➤ Landschaftsbild

Natur und Landschaft sind als Lebensgrundlagen des Menschen so zu entwickeln, dass die Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft auf Dauer gesichert sind. Dabei steht die nachhaltige Entwicklung der landschaftlichen Eigenart im Vordergrund der Betrachtung. Diesem Ziel entsprechen Maßnahmen, wenn sie sich harmonisch in die Landschaft einfügen bzw. wenn durch sie die Erhaltung und Entwicklung der die spezifische Identität der Landschaftsräume kennzeichnenden strukturellen Voraussetzungen gefördert werden.

## 4.1 Linienhafte Strombauwerke

### 4.1.1 Allgemeine Beschreibung

Linienhafte Strombauwerke lassen sich - wie in Kapitel 3.1 ausgeführt - mit unterschiedlichen Materialien, Bauweisen und unterschiedlichen Formen herstellen. Diese einzelnen Parameter werden nun nachfolgend hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen, z. B. hinsichtlich ihrer Eignung als Besiedlungssubstrat für verschiedene Lebensgemeinschaften oder auf die Wasserbeschaffenheit und den Stoffhaushalt beschrieben und entsprechend der genannten Umweltziele am Ende eines jeweiligen Kapitels dahingehend bewertet, ob sie zu einer ökologischen Verbesserung oder Verschlechterung führen. Weil verschiedene Parameter für Querbauwerke und für Längsbauwerke, z. B. das zum Bau verwendete Material, gleich sind, werden sie vorab gemeinsam behandelt. Wo jedoch weitergehende Differenzierungen erforderlich sind, werden diese bei den jeweiligen Strombauwerken gesondert dargestellt.

#### 4.1.1.1 Material

Das zum Bau linienhafter Strombauwerke verwendete Material wird entsprechend Kapitel 3.1 nach dem Material zur Herstellung des eigentlichen Bauwerkskörpers, zur Verklammerung, für Kernfüllungen und Zwischenlagen sowie zur Gründung und Fußsicherung unterschieden.

#### 4.1.1.1.1 Material - Beschreibung der ökologischen Wirkungen

##### ➤ Boden, allgemeines zu Material

Mit der Anlage linienhafter Strombauwerke werden aus den zum Bau verwendeten Materialien zunächst anthropogene Böden geschaffen, die im nicht ausgebauten Zustand im entsprechenden Flussabschnitt nicht vorhanden waren. Je nach Lage zu den hydrologischen Tidekennwerten (z. B. MTnw, MThw) werden sich unter dem Einfluss des bodenbildenden Faktors Wasser semisubhydrische und semiterrestrische Böden einstellen. Ufernahe Bodenbildungen im unmittelbaren Umfeld des Bauwerkes (z. B. Watten, Rohmarschen) können durch hydrologische bzw. morphologische Prozesse beeinflusst werden, die auch großräumig Effekte auf Bodenbildungen in bauwerksfernen Flussabschnitten nach sich ziehen können (z. B. Sedimentations- und Erosionsverhältnisse). Einfluss darauf nimmt auch die Lage des Bauwerkes im Längsverlauf der Elbe (polyhaliner, oligo- bis mesohaliner oder limnischer Bereich).

Die Art, die physikochemischen Eigenschaften und die Korngröße der Baumaterialien prägen die Eigenschaften und Funktionen der bauwerksbildenden anthropogenen Böden. Der durch das Bauwerk verursachte Einfluss auf hydromorphologische Prozesse steuert die Bodenfunktionalität der nicht bauwerksbildenden Böden am Bauwerk und in seinem Umfeld. Von den natürlichen Bodenfunktionen sind hier insbesondere die Filter- und Pufferfunktion sowie die Lebensraumfunktion von Bedeutung.

##### 4.1.1.1.1.1 Bauwerkskörper

###### Wasserbausteine (Natursteine oder Schlackensteine)

##### ➤ Hydrologie

Die Verwendung von Natur- oder Schlackensteinen sowie die unterschiedlichen Größen und Rauheiten der verschiedenen Wasserbausteine haben keine Auswirkungen auf hydrologische Parameter. Die hydraulischen Wirkungen beschränken sich auf bauwerksnahe Wasserbewegungen im mikroskaligen Bereich.

##### ➤ Morphologie

Bei einem linienhaften Strombauwerk, das mit Wasserbausteinen hergestellt wird, werden sich in den strömungsberuhigten Bereichen die Zwischenräume mit Sand und Feinstmaterial zusetzen. Es hat keine Auswirkung auf die morphologischen Vorgänge, ob Schlackensteine oder Natursteine verwendet werden, wenn diese die gleiche Rauheitswirkung besitzen.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

In Ästuaren werden Wasserbausteine meist im Bereich MThw +2 m bis MTnw -2 m verwendet. Somit werden natürlicherweise vorkommende Flachwassersedimente, Wattsedimente sowie Böden der Ufer überdeckt bzw. ersetzt. Die Verwendung von Wasserbausteinen hat direkte Auswirkungen auf zwei Aspekte:

- Stoffumsetzungen, -austausch bzw. -freisetzung.
- Oberflächenstruktur.

Feste Körper, wie Wasserbausteine, weisen nur an ihrer Oberfläche eine biologische Aktivität in Form von Biofilmen bzw. Aufwuchsbiozönosen auf. Natürliche Sedimente dagegen sind

dreidimensionale Körper aus Wasser (Porenwasser) und festen Bestandteilen (Sand bis Feinstpartikel). Ihre biologisch aktiven Oberflächen sind um ein Vielfaches größer und weisen mit der Tiefe eine stark strukturierte Zonierung mit unterschiedlichen Stoffumsetzungsprozessen auf. Es treten aerobe und anaerobe Schichten auf. Diese Schichten sind in sich zudem durch stark unterschiedliche Redoxbedingungen gekennzeichnet (MÜLLER 1996).

Die Oberflächenbeschaffenheit der Wasserbausteine beeinflusst die biologische Besiedlung mit Biofilmen bzw. Aufwuchs. Hartsubstrate weisen eine andere Aufwuchs-Biozönose auf als natürliche Sedimente (siehe auch „Fauna“). Insbesondere die für Wattflächen typischen mobilen Diatomeen der Phytobenthosbiozönosen sind auf Sedimente mit einer räumlichen Struktur angewiesen.

**Natursteine:** Eine Stofffreisetzung bzw. ein Abrieb von Natursteinen wird in Bezug auf die Besiedlung durch Biofilme und Aufwuchsorganismen ebenso wenig problematisch sein wie eine mögliche Stofffreisetzung für die Wasserbeschaffenheit.

**Schlackensteine:** Eine Schadstofffreisetzung aus Schlackensteinen bzw. ein Abrieb von Schlackensteinen kann in Bezug auf die Besiedlung durch Biofilme und Aufwuchsorganismen problematisch werden in Abhängigkeit vorhandener Konzentrationen prioritärer Schadstoffe und den Strömungsbedingungen im Gewässer, besonders dann, wenn Schadstoffe auf diesem Wege in die Nahrungskette gelangen (siehe auch Abschnitt „Fauna, Schlackensteine“).

#### ➤ Boden

Im Bauwerkskörper bildet die Abdeckung die Schnittstelle des Kompartimentes Boden zur Atmosphäre und Hydrosphäre. In dieser Schicht laufen initiale bodenbildende Prozesse ab. Die entsprechende Ausprägung der Bodenfunktionen hängt somit maßgeblich von der Art der Abdeckung ab.

**Natursteine:** Werden Natursteine für den Bauwerkskörper verwendet, bestimmen deren chemische und bodenphysikalische Merkmale die Bodeneigenschaften und Bodengenese. Die Art und Menge austauschbarer Kationen und Anionen regeln die stofflichen Eigenschaften der anthropogenen Bauwerksböden. Ein größeres Potenzial zum Stoffaustausch besteht in den meso- und polyhalinen Abschnitten der Elbe, da hier der Salzgehalt den Kationen- bzw. Anionenaustausch fördert. Bei Steinen mit geogen bedingtem hohem Schwermetallgehalt ist eine mögliche Freisetzung von Schwermetallkationen je nach Bindungsart im Gestein zu beachten. Natürliche Wasserbausteine mit stabilen kristallinen Gitterstrukturen (z. B. Granite, Basalte) besitzen nur ein kleines Potenzial zur Stofffreisetzung durch chemische Lösungsprozesse infolge Verwitterung.

Sind die verwendeten natürlichen Wasserbausteine nicht stabil gegenüber mechanischer Erosion durch z. B. Wellenangriff, Lageverschiebung usw., ist ein Zerfall z. B. durch Zerschlagen der ursprünglichen Aggregate möglich. Dadurch verändert sich das Hohlräumssystem der Oberböden im Bauwerk sowie die bodenphysikalischen und auch die chemischen Eigenschaften durch Entstehung neuer Oberflächen und Interstitialwässer. Die Filter- und Pufferfunktion ändert sich dementsprechend.

**Schlackensteine:** Für Wasserbausteine industrieller Herkunft, wie z. B. Schlackensteine, gelten die gleichen Aussagen. Bei ihrer Verwitterung ist hier die Gefahr der Freisetzung von Schwermetallen zu beachten, welche die natürlichen Bodenfunktionen beeinträchtigen und welche in die Hydrosphäre gelangen können. Dieser Prozess wird durch die Bindungsform in den kristallinen Strukturen der Schlacken gesteuert, wobei in der Regel eine nennenswerte Freisetzung von Schwermetallen nicht zu erwarten ist. Bei einer gegenüber Natursteinen allgemein höheren Dichte sind Schlacken lagestabiler und weniger anfällig gegenüber mechanischer Erosion und Zerfall. Damit sind die Eigenschaften der Bauwerksoberböden über längere Zeit stabil und durch das Substrat selbst bestimmt.

#### ➤ Vegetation

Linienhafte Strombauwerke werden in der Regel aus Wasserbausteinen errichtet. Damit sind insbesondere in den Ästuaren kaum geeignete Voraussetzungen für die Besiedlung mit höheren Pflanzen gegeben. Die Strombauwerke bleiben größtenteils vegetationslos (SEELIG 1992, OELLERLING 1992), und dafür sind mehrere Gründe maßgebend:

- Zwischen den Wasserbausteinen sedimentiert teilweise nur wenig Feinmaterial, das für höhere Pflanzen als durchwurzelbares Substrat dienen könnte.
- In der Regel herrschen auf den Strombauwerken eine große Wellenbelastung und starke Strömungen, was eine Besiedlung mit höheren Pflanzen zusätzlich erschwert.
- Häufig sind ausschließlich Moose (vor allem im limnischen Bereich) oder Algen (vor allem im polyhalinen und marinen Bereich) an die besonderen Standortbedingungen der Strombauwerke angepasst und damit die einzigen Pflanzen, die sie besiedeln können.

Eine Besiedlung von linienhaften Strombauwerken mit höheren Pflanzen ist im Elbe-Ästuar also nur dann zu erwarten, wenn ein geeignetes Besiedlungssubstrat vorhanden ist, d. h., wenn sich in den Hohlräumen zwischen den Wasserbausteinen ausreichend Feinmaterial sammeln kann. Eine Vegetationsbesiedlung ist am ehesten im limnischen Bereich des Elbe-Ästuars (siehe Abschnitt „Lage im Längsprofil“ dieses Kapitels) und im Bereich oberhalb MThw (siehe Kapitel 4.1.1.2.1.1 „Kronenhöhe und Höhenvarianz“) möglich, so dass sich nachfolgende Ausführungen hauptsächlich auf diese Bereiche beziehen.

Beschreibungen zur Vegetationsentwicklung an Strombauwerken an der Unterelbe beziehen sich zumeist auf Uferdeckwerke aus Wasserbausteinen (SEELIG 1992, OERTLING 1992, PREISINGER 1991), ohne auf linienhafte Strombauwerke wie Buhnen oder Leitwerke einzugehen. Aufgrund ähnlicher Standortbedingungen können diese Beschreibungen dennoch als Grundlage für Aussagen zur Besiedlung von Strombauwerken herangezogen werden.

Abbildung 4.1-1 zeigt ein vegetationsfreies Uferdeckwerk aus Wasserbausteinen im Bereich der Unterelbe.



**Abbildung 4.1-1: Vegetationsloses Deckwerk mit Steinschüttung im Bereich Nordkehdingen (ca. Elbe-km 685)**

**Natursteine:** Nach PREISINGER (1991) werden mit Wasserbausteinen errichtete Uferdeckwerke im limnischen Bereich der Unterelbe in erster Linie von Arten der Ruderalgesellschaften besiedelt. Zusätzlich können vereinzelt auch Arten der Röhrichte und der Weichholzaunen auftreten. Die Deckungsgrade sind dabei in der Regel sehr gering, während die Artenzahlen im Vergleich zu unverbauten Standorten zum Teil auch höher sein können. Beispiele für eine Besiedlung von Schüttstein-Deckwerken sind in Tabelle 4.1-1 und Abbildung 4.1-3 dargestellt (siehe Kapitel 4.1.1.2.1.1 „Kronenhöhe und Höhenvarianz“).

Wasserbausteine können durch verschiedene Elbtalmoose besiedelt werden. Vor allem ältere Deckwerke mit weichkantiger Natursteinschüttung sind als Lebensraum für Moose von Bedeutung. Auf den Befestigungen bei Grünendeich/Lühe konnten zum Beispiel insgesamt 9 verschiedene Moosarten, darunter auch das in Hamburg und Niedersachsen vom Aussterben bedrohte *Schistidium rivulare* und das gefährdete *Hygrohypnum luridum* nachgewiesen werden.

Beim Vergleich der Vegetation von Steinschüttungen und naturnahen Ufern von SEELIG (1992) wurde aufgezeigt, dass die Pflanzenarten von Steinschüttungen im Mittel sowohl geringere Stickstoff- als auch geringere Feuchte-Zeigerwerte aufweisen. Dies zeigt die durch die Verbauung herabgesetzte Stickstoff- und Wasserversorgung. In den Steinschüttungen werden

kaum Nährstoffe gebunden und es bilden sich dort kaum Spülsäume (mit hohem Anteil an organischem Material) aus.

**Schlackensteine:** Für die Besiedlung mit höheren Pflanzen macht es nach gegenwärtigem Kenntnisstand keinen Unterschied, ob Schlackensteine oder Natursteine verwendet werden. Scharfkantige Schlackensteine sind dagegen als Lebensraum für Moosarten ungeeignet.

➤ Fauna

**Natursteine:** Wasserbausteine bieten als sekundäres Hartsubstrat einen (Teil-)Lebensraum für Wirbellose und Fische. Die Steine werden primär von sessilen Arten besiedelt, die wiederum durch ihre Schalen (Seepocken, Miesmuscheln) und Bauten (Röhren von vielborstigen Meeresringelwürmern) die Strukturvielfalt auf den Steinen erhöhen und ein Habitat für hemisessile und vagile Arten wie Vielborster und Krebse schaffen. Für räuberische Arten wie Seesterne sowie einige Fischarten als Nahrungsgäste bietet die vorhandene Besiedlung wiederum Nahrung. Maßgebliche Faktoren für die Besiedlung der Wasserbausteine im Ästuar sind die Überflutungsdauer und der Salzgehalt sowie die Konkurrenz und der Fraßdruck. Mit abnehmendem Salzgehalt wird die Wirbellosen-Besiedlung geringer (siehe Abbildung 4.1-5 in Kapitel 4.1.1.2.1.5 „Lage im Längsprofil des Stroms“). Durch mikroklimatische Unterschiede in Steinschüttungen im Tidebereich wird die „patchiness“, d. h. die ungleichmäßige Verteilung der tierischen Besiedlung, verstärkt (INUF 1993).

Je nach Lage entlang des Salzgehaltsgradienten sind sessile Arten wie Seepocken (*Balanus* spp.), die Miesmuschel (*Mytilus edulis*), der Keulenpolyp (*Cordylophora caspia*) typische Hartsubstratsiedler. Als Primärbesiedler schaffen sie auf dem Hartsubstrat günstige Lebensbedingungen für andere Arten. Die Miesmuschel bietet z. B. Ansiedlungssubstrat für Epibionten wie Seeanemonen (*Actiniaria* spp.) und Moostierchen (z. B. *Electra pilosa*). In dem Lückensystem finden z. B. Flohkrebse (z. B. *Corophium lacustre*) und Vielborster (z. B. *Marzelleria* c.f. *viridis*, *Neanthes succinea*) Schutz vor Fressfeinden, ebenso die juvenilen Formen von Taschenkrebs (*Cancer pagurus*) und Strandkrabbe (*Carcinus maenas*). Die Lücken fungieren somit als Schutz vor Fressfeinden und als „Kinderstube“.

Die Detritusanreicherung in den Lücken bietet Baumaterial und Nahrung für sessile Vielborster wie beispielsweise *Boccardiella ligerica*, der sekretausgekleidete Grabgänge baut und sich als Strudler ernährt. Räuberische Arten wie Vielborster (z. B. Schuppenwurm *Lepidonotus squamatus*) und Seesterne (*Asterias rubens*), sowie Nahrungsgäste wie z. B. Aal, Kaulbarsch und Groppe finden auf den besiedelten Steinen Nahrung und in den Lückensystemen Schutz vor Fressfeinden.

**Schlackensteine:** Prinzipiell bieten die Schlackensteine, wie auch für die Natursteine beschrieben, einen (Teil-)Lebensraum für Wirbellose und Fische. Im Unterschied zu Natursteinen haben Schlackensteine jedoch aufgrund des Schwermetallgehaltes Auswirkungen auf die Biozönose.

Durch die Verwendung von Schlackensteinen werden Schwermetalle ins Gewässer eingetragen, wodurch die Schadstoffbelastung für Tiere steigt. Im norddeutschen Raum sind eine Reihe von Untersuchungen - im Freiland und experimentell - zur Umweltverträglichkeit von

Schlackensteinen durchgeführt worden (z. B. INUF 1990, 1993, 1998, 2000, KARBE & RINGELBAND 1995). Auch im limnischen Bereich liegen zahlreiche Studien zu den Auswirkungen von Schlackensteinen auf die Makrofauna vor (u. a. AHRENS 1994, 2000; TITTIZER 1997, TITTIZER & SCHLEUTER 1989). Folgende Wirkungen auf die Biozönose sind bei der Verwendung von Schlackensteinen nachgewiesen:

**Veränderung des pH-Wertes:** Die Verwendung von Schlackensteinen führt - zumindest lokal - zur Erhöhung des pH-Wertes. Dies gilt nicht für Kupferhüttenschlacken. Erhöhte Werte bleiben meist auf das Lückenwasser zwischen den Steinen beschränkt. Eine Beeinträchtigung von Aufwuchsorganismen kann daher nicht ausgeschlossen werden.

**Wirkung auf Algenaufwuchs:** In Versuchen zur Besiedlungsdynamik wurden Natursteine schneller als Schlackensteine von Algen besiedelt. Dadurch wird vermutlich auch die Besiedlung durch tierische Organismen beeinflusst.

**Toxizität von Eluaten:** Infolge des ständigen Wasserkontaktes kommt es bei Schlackensteinen zu Laugungsprozessen (BERTSCH & SEEHAUS 2002). In Laboruntersuchungen zeigte sich im Hydroiden-Reproduktionstest, dass der hohe pH-Wert auf diese Organismen toxisch wirkt (KARBE & RINGELBAND 1995). In Reproduktionsversuchen mit Ciliaten wurde dieser Befund bestätigt. Allerdings zeigt sich auch, dass schon eine geringe Strömung der Entwicklung von unphysiologisch hohen pH-Werten entgegenwirkt. Ein weiteres Ergebnis des Hydroiden-Reproduktionstests ist, dass neben den erhöhten pH-Werten die toxische Wirkung auch auf die eluierten Schwermetalle zurückzuführen ist. Die Auswirkungen sind für verschiedene Schlackentypen unterschiedlich. Bei der Verwendung von Kupferhüttenschlacken ist keine Erhöhung des pH-Wertes zu erwarten.

**Schwermetallanreicherung:** Wirbellose Tiere, die auf der Oberfläche von Schlackensteinen siedeln, nehmen durch Nahrungsaufnahme und/oder ihre Körperoberfläche Schwermetalle auf. Möglicherweise werden auch durch den feinkörnigen Abrieb Schwermetalle über die Nahrung aufgenommen. Im Körpergewebe der Wirbellosen kann eine Akkumulation von Schwermetallen stattfinden und sich über die Nahrungskette im Gewebe von Fischen, Meeressäugern und Vögeln akkumulieren. In ihrer Untersuchung zu Schwermetallgehalten in Miesmuscheln an der niedersächsischen Küste wiesen KARBE ET AL. (1997) im Vergleich von 1986 bis 1993 zu 1994 insgesamt einen abnehmenden Trend nach. Nur die Muschel-Proben vom Leitdamm Kugelbake bei Cuxhaven wiesen stark erhöhte Cu-Werte auf. Als Ursache führen sie die Verwendung von Schlackensteinen als Baumaterial für den Leitdamm auf. Eine histopathologische Untersuchung an der weidenden Gemeinen Strandschnecke *Littorina littorea* zeigt keine Anzeichen einer Bioakkumulation des besonders toxischen und in hoher Konzentration in den Schlackensteinen enthaltenen Kupfers. Auch eine krankhafte Veränderung der Mitteldarmdrüse, die auf eine chronische Schwermetallbelastung hindeuten würde, konnte nicht festgestellt werden (INUF 1998). Die Bioakkumulationsrate ist jedoch abhängig von zahlreichen abiotischen Faktoren wie Salinität, Temperatur, pH-Wert etc. Daher ist derzeit eine abschließende Bewertung dieser Problematik noch nicht möglich und weiterführende Untersuchungen von anderen Makrozoobenthosarten sind wünschenswert. Insgesamt kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Bedeutung des Akkumulationsprozesses von Schwermetallen in

der Nahrungskette und somit für die umweltverträgliche Verwendung von Schlackensteinen als Wasserbausteine noch nicht abschließend beurteilt werden.

**Makrozoobenthosbesiedlung:** Signifikante Unterschiede in der Besiedlung von Schlacken- und Natursteinen konnten bisher nicht nachgewiesen werden. Zwar zeigen einzelne Arten Präferenzen für bestimmte Gesteinsarten, diese sind jedoch statistisch nicht signifikant.

**Sekundäres Hartsubstrat als Lebensraum:** Natürlicherweise kommen im Wattenmeer und den Nordsee-Ästuaren nur wenige Hartsubstrate wie Muschelbänke und *Sabellaria*-Riffe vor bzw. sind in den letzten Jahren drastisch zurückgegangen (siehe MICHAELIS & REISE 1994).

Eulitorale Miesmuschelbänke sind von einer artenreichen Begleitfauna besiedelt (u. a. DITTMANN 1990) und der Vielborster *Sabellaria spinulosa* (Sandkoralle) schafft durch seine Riffbauten aus verfestigtem Sand einen Lebensraum für andere Arten. *Sabellaria*-Riffe sind im Bereich des Wattenmeeres seit den 1920er Jahren stark zurückgegangen, was auf die Krabbenfischerei und Verklappungen zurückgeführt wird (DÖRJES 1992, RIESEN & REISE 1982, REISE & SCHUBERT 1987). Mit der Zerstörung der Sandkorallen-Bestände ist auch die mannigfaltige Begleitfauna beeinträchtigt worden.

Muschelbänke und *Sabellaria*-Riffe zählen zu den bedrohten Biotoptypen im Wattenmeerbereich und werden in der Roten-Liste der Biotoptypen als vernichtet (Austernbank), gefährdet (Miesmuschelbank) bzw. von vollständiger Vernichtung bedroht (*Sabellaria*-Riff) geführt (RIECKEN ET AL. 1995). VON DRACHENFELS (1996) beschreibt Küstenschutzbauwerke als Biotoptyp und ordnet diesen eine ähnliche Besiedlung wie natürlichen Hartsubstraten zu, stuft den Biotoptyp jedoch nicht als schützenswert ein.

Wasserbausteine bilden als sekundäre Hartsubstrate einen - wenn auch künstlichen - Lebensraum. Prinzipiell ermöglichen Steinschüttungen eine Ansiedlung von Arten, die im Einzugsgebiet Wattenmeer/Ästuar aufgrund ihrer Substratpräferenz (Hartsubstrat) selten sind, jedoch zum natürlichen Fauneninventar eines Ästuars zählen. Einige der genuinen (d. h. auf das Brackwasser begrenzte) Brackwasserarten siedeln auf Hartsubstraten (KOLBE 1997).

Künstlichen Hartsubstraten kann ein hoher Stellenwert als Ersatzlebensraum für seltene Primärbiotop eingeräumt werden (SSYMANK & DANKERS 1996). In der Untersuchung von Bühnen im Weser-Ästuar (BIOCONSULT 1998) zeigte sich, dass die Steinschüttungen der Bühnen einen Lebensraum darstellen, der sich hinsichtlich der Makrozoobenthos-Besiedlung vom umgebenden Weichboden durch meist höhere Artenzahlen und Individuendichten abgrenzt. Dominiert wird die Makrofauna-Gemeinschaft von Seepocken (*Balanus improvisus* und *B. crenatus*) und der Miesmuschel. Diese Arten erhöhen durch ihre Wuchsform die Strukturvielfalt der Bühnen und begünstigen somit die Ansiedlung weiterer Arten. Die ökologische Funktion der Habitatbildner wird durch die Nachweise der Vielborster *Lepidonotus squamatus* und *Eulalia viridis*, die u. a. als Bewohner von *Sabellaria*-Riffen gelten, unterstrichen. Im Lebensraum „Bühne“ wurden mehrere Rote-Listen-Arten wie die Vielborster *Boccardiella ligERICA*, *Nereis pelagica*, *Lepidonotus squamatus* sowie die Krebse *Corophium lacustre*, *Rhitropanopeus harrisii*, *Palaemon longirostris*, *Cancer pagurus* (juv.) und der nicht in der Roten-Liste geführte, jedoch seltene Brackwasser-Flohkrebs *Leptocheirus pilosus* angetroffen.

fen. Für einige typische Brackwasserarten (*B. ligerica*, *L. pilosus*, *C. lacustre*) stellt das künstliche Hartsubstrat z. B. den Hauptlebensraum im Weser-Ästuar dar. Vom Taschenkrebs *Cancer pagurus* und der Strandkrabbe *C. maenas* wurden ausschließlich juvenile Tiere im biogenen Lückensystem der Buhnen in der Außenweser gefunden. Möglicherweise bieten die Steine neben Nahrung insbesondere juvenilen Tieren Schutz vor Fressfeinden. Denkbar ist, dass die Buhnen als „Kinderstube“ unter Umständen höhere Abundanzen von *C. pagurus* und *C. maenas* im gesamten äußeren Ästuar ermöglichen.

Die Strukturvielfalt des Fisch-Lebensraumes wird durch sekundäre Hartsubstrate im Ästuar erhöht (PIHL ET AL. 2002). Die Lücken in den Steinschüttungen bieten Schutz vor Fressfeinden und ein Nahrungshabitat. Möglicherweise können Wasserbausteine unter günstigen Bedingungen ein geeignetes Laichhabitat/-substrat für Heringe darstellen. Beispielsweise stellen im Nord-Ostsee-Kanal die (Schlacken-)Steinschüttungen ein günstiges Laichsubstrat für den Hering (*Clupea harengus*) dar (KILS 1992).

#### ➤ Landschaftsbild

Die Materialienwahl ist in Bezug auf das Landschaftsbild lediglich für die sichtbaren, oberhalb MTnw gelegenen Teile eines Strombauwerkes relevant. Dabei sind Wasserbausteine im Elbe-Ästuar - wie bereits an anderer Stelle beschrieben - kein natürlich anstehendes Substrat, gleich ob Natur- oder Schlackensteine verwendet werden. Allerdings wird das Landschaftsbild im Küstenbereich bereits seit langer Zeit auch durch Ufersicherungen und Strombauwerke aus Wasserbausteinen mit geprägt.

### **Größenklassen**

#### ➤ Hydrologie

Für die Hydrologie haben die Größenklassen keine Bedeutung - siehe Abschnitt „Wasserbausteine“ dieses Kapitels.

#### ➤ Morphologie

Linienhafte Strombauwerke, zu deren Bau Wasserbausteine mit größerem mittlerem Korn-durchmesser verwendet werden, erzeugen mehr Turbulenz in der Wassersäule als feinkörnigere Baumaterialien. Das führt dazu, dass ein Sedimentteilchen eher in Schwebelage gehalten und nicht abgelagert wird. Andererseits werden schon abgelagerte, feine Sedimente durch Steine abgeschirmt und sind somit schwerer mobilisierbar.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die verwendeten Größenklassen und Formen bestimmen die Größe der biologisch aktiven Oberflächen. Zugleich entstehen in Abhängigkeit der Größenklassen unterschiedlich stark ausgebildete Lückensysteme. Die Verwendung kleiner Größenklassen führt zu einem System mit vielen kleineren Hohlräumen, welche vergleichsweise schwach durchströmt werden. In diesen kleineren Hohlräumen ist die Wasserbeschaffenheit zudem stärker von den Biofilmen auf den Wasserbausteinen geprägt. Somit führt die Verwendung kleinerer Größenklassen dazu, dass sich die Wasserbeschaffenheit in den Hohlräumen stärker von der des umgebenden Wassers unterscheidet.

➤ Boden

Die Größenklassen der verwendeten Wasserbausteine bestimmen vor allem die physikalischen Eigenschaften der Bauwerksböden. Grobklassiges Substrat ist extrem wasserdurchlässig und besitzt so gut wie kein Wasserspeichervermögen. Bei kleineren Größenklassen ist eine gewisse Wasserretention möglich. Diese steht auch bei Tideniedrigwasser den Bauwerksböden und gegebenenfalls einer pflanzlichen Besiedlung zur Verfügung.

Das Auffüllen von Hohlraumsystemen bei großklassigen Wasserbausteinen mit sedimentierten feinkörnigeren Schwebstoffen fördert die Bodenkonsolidierung und durch die langfristig mögliche Ausbildung eines Aggregatgefüges und Porenraumes mit höherer Wasserspeicherkapazität auch die Bodengenese. Der stoffliche Bestand der Bauwerksböden wird durch das Füllen der Hohlraumsysteme mit Feinmaterial gleichfalls erhöht. Die Ausbildung natürlicher Bodenfunktionen wird damit insgesamt gefördert.

Die durch großklassige Wasserbausteine erzeugte größere Turbulenz in der Wassersäule, die bewirkt, dass mitgeführte Schwebstoffe in Suspension gehalten werden, hat lokale Auswirkungen auf die Böden im Umfeld des Bauwerkes. Erst in strömungsberuhigten, z. B. ufernahen unbefestigten Bereichen, ist die Möglichkeit zur Sedimentation derjenigen Feinmaterialien gegeben, die durch die erzeugten Turbulenzen am Bauwerk in Schwebelage gehalten werden. Die Bildung und Weiterentwicklung von Watten und bestehenden Rohmarschen wird lokal auf der Ebene der Mikroskala gefördert.

➤ Vegetation

Die Größenklasse der Wasserbausteine spielt im Vergleich zu den hydraulischen Parametern eine geringere Rolle für die Besiedlungsfähigkeit durch Pflanzen. Wenn sich in strömungsberuhigten Bereichen Feinmaterial in den Zwischenräumen der Wasserbausteine absetzen kann, wird dadurch die Ansiedlung von Pflanzen ermöglicht. Kleinere oder mittelgroße Steine sind dabei geeigneter als große, da sich das Lückensystem schneller zusetzt.

➤ Fauna

Je nach Größenklasse der Wasserbausteine (siehe Tabelle 3.1-1) entsteht ein mehr oder weniger dichtes Lückensystem mit unterschiedlich großen Lücken. Prinzipiell bietet das Lückensystem Unterschlupf für einige Tierarten (s. o.). Kleine Steine bieten insgesamt eine größere Oberfläche als große und offerieren somit einen größeren potenziellen Lebensraum für Hartsubstratbesiedler. Eine mit unterschiedlichen Größenklassen von Steinen strukturierte Oberfläche bietet dagegen vielfältigere Habitatstrukturen als eine einheitliche Größenklasse. Diese potenziell erhöhte Strukturvielfalt wird sich auch auf die sich ansiedelnde Fauna auswirken.

Ein heterogenes Lückensystem bedeutet kleinräumig eine größere Strukturvielfalt. Das anzutreffende Artenspektrum ist u. a. abhängig von der Größe der Lücken. Möglicherweise bietet ein heterogenes Lückensystem einer größeren Vielfalt an Arten einen Lebensraum. Zudem werden die „mikroklimatischen“ Verhältnisse (z. B. Strömung, Sedimentation) durch die Lückengröße beeinflusst, und somit auch die Bedingungen für mögliche Besiedler.

In strömungsberuhigten Sedimentationsbereichen werden die Steine bzw. die Lücken zusegmentieren und dementsprechend wird sich das Artenspektrum verschieben: von sessilen Arten wie Miesmuscheln und Seepocken hin zu vagilen Sedimentbewohnern (Vielborster, einige Krebsarten, Wenigborster). Insgesamt werden je nach Größenklasse unterschiedliche Arten begünstigt.

➤ Landschaftsbild

In Bezug auf das Landschaftsbild ist der Verwendung kleinerer Wasserbausteine der Vorzug zu geben.

**Oberflächenbeschaffenheit**

➤ Hydrologie

Für die Hydrologie hat die Oberflächenbeschaffenheit keine Bedeutung - siehe Abschnitt „Wasserbausteine“ dieses Kapitels.

➤ Morphologie

Die Rauheitswirkung einer linienhaften Strombauwerks setzt sich aus Form- und Oberflächenrauheit zusammen, wobei die Rauheit der Oberfläche, die durch die Wahl der Baumaterialien variiert werden kann, die geringeren Auswirkungen auf morphologische Umlagerungsvorgänge hat. Grundsätzlich werden durch eine rauere Oberfläche die Verwirbelung und somit auch die Umlagerungsvorgänge im direkten Umfeld des Bauwerks verstärkt.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Oberflächenbeschaffenheit der Wasserbausteine bestimmt die Ausdehnung der von Biofilmen zu besiedelnden Oberfläche. Zudem haben die hydraulischen Eigenschaften der Wasserbausteine (siehe „Morphologie“) Auswirkungen auf das direkte Strömungsumfeld und beeinflussen dadurch den Stoffaustausch zwischen den auf den Oberflächen in Biofilmen siedelnden Bakterien und dem umgebenden Wasserkörper. Die Stärke der über den Biofilmen bzw. Oberflächen vorhandenen Diffusionsbarriere (Diffusive Boundary Layer) ist dabei entscheidend für den Stoffaustausch.

Ferner beeinflussen die Oberflächeneigenschaften die Artenzusammensetzung des aufsiedelnden Biofilms bzw. Aufwuchses. Bezogen auf die Oberflächeneigenschaften treten die größten Unterschiede bei der „Erstbesiedelung“ auf. Die Erstbesiedelung durch die Bakterien und deren exopolymere Produkte verändern die Oberflächeneigenschaften und ermöglichen eine weitere Besiedlung durch andere Organismen. Sie beeinflussen damit die Besiedlung mit Tieren (siehe auch Abschnitt „Fauna“) und gegebenenfalls mit höheren Pflanzen.

➤ Boden

Die Oberflächenbeschaffenheit der Wasserbausteine hat gegenüber den oben genannten Faktoren nur einen marginalen Einfluss auf die Bodenentwicklung am Bauwerkskörper. An rauen Oberflächen bleiben prinzipiell Feinpartikel eher haften, so dass eine potenzielle Füllung des Hohlraumsystems mit Feinmaterial mit den beschriebenen Einflüssen auf Aggregation und Bodengenese begünstigt wird. Der gegenläufige Effekt einer Erhöhung der Turbulenzen an rauen Oberflächen und einer damit einhergehenden verminderten Sedimentationsrate von Feinmaterial kann hier nicht quantifiziert werden.

➤ Vegetation

Die Oberflächenbeschaffenheit der Wasserbausteine hat keine Relevanz für die Besiedlung mit höheren Pflanzen. Für die Besiedlung mit niederen Pflanzen, z. B. Moosen, sind scharfkantige Oberflächen dagegen weniger geeignet.

➤ Fauna

Die Oberflächenbeschaffenheit der Wasserbausteine (glatt: Basalt und Kalkstein bzw. rau: Granit) wirkt sich in einem gewissen Maße auch auf die Besiedlung aus. Die Präferenz ist artspezifisch und je nach Primärbesiedler sind Auswirkungen für die nachfolgenden Besiedler und Nahrungsgäste zu erwarten.

MOHR & SCHULZ (2001) fanden in der Ostsee heraus, dass Beton aufgrund der raueren Oberfläche von der Miesmuschel besser besiedelt wird als Ton und Naturstein mit glatter Oberfläche. Die Makrozoenbesiedlung auf Schlackensteinen im Rhein zeigt in der Initialphase eine niedrigere Individuenzahl und eine höhere Artenzahl gegenüber Natursteinen. TITTIZER & SCHLEUTER (1989) führen dies u. a. auf die rauere Oberfläche der Schlacken zurück. Eine intensivere Besiedlung der Schlackensteine mit Makrofauna aufgrund der größeren Rauigkeit der Schlacken gegenüber Diabas beschreiben HARTWIG & LAMMEN (1993, zit. in KARBE & RINGELBAND) für die Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha*. Für eine Besiedlung erweisen sich rauere Oberflächen demzufolge als besser geeignet als glatte Oberflächen.

➤ Landschaftsbild

Die Oberflächenbeschaffenheit von Wasserbausteinen hat keine Wirkung auf das Landschaftsbild.

### **Geotextilien**

➤ Hydrologie

Die Verwendung unterschiedlicher geotextiler Container hat keine Auswirkungen auf hydrologische Parameter. Die hydraulischen Wirkungen beschränken sich - wie bei den Wasserbausteinen - ebenfalls auf bauwerksnahe Wasserbewegungen.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Geotextilien sind Materialien, die einen Wasseraustausch und damit auch den Austausch von gelösten Stoffen mit dem umgebenden Wasserkörper zulassen. Generell ist durch die Geotextilien mit einem verminderten Wasser- bzw. Stoffaustausch zu rechnen. Dadurch wirken Geotextilien bei einer Verwendung als „Matte“ wie eine Barriere auf den Stoffaustausch zwischen Sediment und Wasser oder bei einem Einbau im Sediment als Barriere für den Stofftransport innerhalb des Sedimentes.

Bei der Verwendung in Form von geotextilen Containern sind die Art und Herkunft sowie die Größenklassen des Füllmaterials für die Beeinflussung des Stoffhaushaltes und dessen Stoffumsetzungsprozessen von wesentlicher Bedeutung. Eine Befüllung mit organikreichem Material, wodurch anaerobe und stark reduktive Bedingungen innerhalb der geotextilen Container entstehen könnten, sollte vermieden werden.

➤ Boden

Bei der Verwendung geotextiler Behälter als oder im Baukörper oberhalb MTnw spielen die zur Füllung der Behälter verwendeten Bodenmaterialien eine ausschlaggebende Rolle für die Entwicklung und Eigenschaften der Bauwerksoberböden. Art und Herkunft sowie die Korngrößen des Füllmaterials beeinflussen die Eigenschaften der entstehenden Böden. Bei Füllungen mit feineren Korngrößenklassierungen (z. B. Sand) sind bodenphysikalische Eigenschaften wie z. B. das Wasserspeichervermögen günstig einzustufen, womit die Filter- und Pufferfunktion der Böden gegenüber großklassigen Wasserbausteinen ausgeprägter ist. Die durch die Geotextilien gebildeten Grenzschichten der Behälter bilden ebenso wie einzelne geotextile Lagen im Bauwerkskörper spezifische Bodenhorizonte, deren jeweilige physikochemische Eigenschaften (z. B. Luft- und Wasserdurchlässigkeit) durch die Charakteristika der verwendeten Fasern (z. B. Material, Maschendichte) bestimmt sind und somit die Eigenschaften des Bauwerksbodens (z. B. Stoffflüsse) beeinflussen.

➤ Vegetation

Sofern geotextile Container nicht durch ein anderes feinkörniges Substrat überdeckt sind, ist davon auszugehen, dass dieses Material von höheren Pflanzen nicht besiedelt wird.

➤ Fauna

Nach bisherigen Kenntnissen liegen derzeit noch keine Studien zur Makrofauna-Besiedlung von geotextilen Oberflächen vor. Geotextile Behälter stellen eine dem Hartsubstrat ähnliche Struktur dar und sind somit potenzieller Siedlungsraum für Hartsubstratsiedler. Aufgrund der Oberflächenstruktur sowie dem fehlenden Lückensystem wird vermutlich eine andere und reduziertere Besiedlung anzutreffen sein als auf den Wasserbausteinen. Je nach Strömungsverhältnissen wird das Bauwerk bzw. werden zumindest Teile der Oberfläche wieder zusedimentieren, wodurch sich die Besiedlung abermals verändert.

➤ Landschaftsbild

Geotextile Container sind - anders als z. B. Steine - Materialien, die in einem Landschaftsraum von Natur aus nicht vorkommen. Hinsichtlich der Wirkungen auf das Landschaftsbild sollten Geotextilien deshalb in den sichtbaren Bereichen über MTnw und ohne eine Überdeckung mit naturnäheren Materialien nicht verwendet werden.

#### 4.1.1.1.2 Verklammerung

➤ Hydrologie

Die Verklammerung hat auf die hydrologischen Prozesse keinen Einfluss.

➤ Morphologie

Durch die Verklammerung werden die Zwischenräume zwischen den einzelnen Wasserbausteinen geschlossen, die in strömungsberuhigten Bereichen dem Feinstmaterial als Sedimentationsraum zur Verfügung stehen. Auch wird das Bauwerk durch eine Vollverklammerung fixiert, eine Verlagerung der Wasserbausteine wird unterbunden.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Verklammerung führt zu einem Verlust an biologisch aktiven Oberflächen und vermindert so den Einfluss des benthischen Biofilms auf den Stoffhaushalt. Zugleich bedeutet der

Verlust des Lückensystems einen Rückgang an Strömungsvielfalt im Nahbereich bzw. innerhalb des Bauwerkes. Dadurch wird auch die Vielfalt der Biofilme und Aufwuchsbiozönosen reduziert. Generell geht - bezogen auf den Stoffhaushalt - mit zunehmender Verklammerung eines Bauwerkes ein Verlust an ökologischer Funktion einher.

➤ Boden

Bei Vollverklammerung des Bauwerkkörpers mit wasser- und luftundurchlässigen Bindemitteln wie Beton oder Bitumen sind durch die Füllung aller Hohlräume keine Bodenfunktionen vorhanden oder entwickelbar. Ein solcher Boden ist als versiegelter Boden einzustufen. Teilverklammerungen schränken das Hohlraumsystem ebenfalls stark, aber nicht komplett ein. Die stark eingeschränkte Bodenfunktionalität entspricht dann derjenigen von teilversiegelten Böden. Bei punktförmigen Steinverblockungsverfahren oder bei Verwendung teildurchlässiger Bindemittel sind die beschriebenen Effekte weniger ausgeprägt.

➤ Vegetation

Die Verklammerung von Wasserbausteinen reduziert die potenziell für eine Pflanzenbesiedlung zur Verfügung stehenden Hohlräume. Im Fall einer vollverklammerten Bauweise führt dies in der Regel dazu, dass das Bauwerk vegetationslos bleibt. Bei einer Teilverklammerung kann ein Strombauwerk - sofern ein ausreichendes Lückensystem verbleibt und in den Hohlräumen Feinsubstrat sedimentiert ist - von Pflanzen besiedelt werden.



**Abbildung 4.1-2: Verklammerte Ufersicherung am Anleger Kollmar, bei Elbe-km 668, rechts. An einer weniger verklammerten Stelle hat sich die Wibelschmiele angesiedelt.**

➤ Fauna

Infolge der Verklammerung bei Steinschüttungen werden prinzipiell die Lückensysteme dezimiert, wodurch die als Lebensraum zur Verfügung stehende Substratfläche reduziert wird

bzw. verloren geht. Bei einer Vollverklammerung sind keine Hohlräume mehr verfügbar, womit sich die Lebensbedingungen für Hartsubstratbesiedler verschlechtern und nur eine reduzierte Besiedlung möglich ist. Zudem werden Lückenräume reduziert, die als Schutz vor Fressfeinden dienen.

Durch die Verklammerung gehen zwar Hohlräume und damit ein Teil des aquatischen Lebensraumes verloren, die Verklammerungsmasse stellt aber gleichzeitig eine neue Besiedlungsfläche für Mikro- und Makroorganismen dar (TITTIZER & SCHLEUTER 1989). In einer Laboruntersuchung (Fließgerinne) zur Besiedlung durch Mikroorganismen von im Wasserbau verwendeten Verklammerungssubstanzen (Bitumen und Zementmörtel) fanden TITTIZER & KOTHÉ (1983), dass Zementmörtel schneller und von einer größeren Biomasse besiedelt wird als Bitumen. Unter dem Aspekt der Ansiedlung und Entwicklung eines biologischen Rasens empfehlen sie, der Deckwerkverklammerung mit Zementmörtel den Vorzug zu geben.

Durch eine Vollverklammerung bleibt ein Strombauwerk in der Regel vegetationslos, während durch eine teilverklammerte bzw. unverklammerte Bauweise sich potenziell höhere Pflanzen ansiedeln können. Damit wird bei einer Vollverklammerung dem potenziellen Entstehen von Lebensraumstrukturen im terrestrischen Bereich entgegengewirkt.

#### ➤ Landschaftsbild

Einer unverklammerten oder nur teilverklammerten Bauweise ist auch aus landschaftlichen Gründen der Vorzug gegenüber einer Vollverklammerung zu geben. Durch die Möglichkeit des Pflanzenbewuchses auf einem nur teilverklammerten Strombauwerk ist eine teilweise Einbindung des Strombauwerks in die Landschaft möglich.

#### **4.1.1.1.3 Kernfüllung und Zwischenlagen**

##### ➤ Hydrologie, Morphologie, Vegetation, Fauna, Landschaftsbild

Kernfüllungen und Zwischenlagen haben keinen Einfluss auf die hydrologischen und morphologischen Prozesse und auf das Landschaftsbild. Sie haben ebenfalls nur sehr geringe Auswirkungen auf die Vegetation und die Fauna, da vor allem die Oberfläche des Strombauwerks für die Besiedlung durch Pflanzen und Tiere (Makrozoobenthos, Fische) ausschlaggebend ist.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Für Kernfüllungen und Zwischenlagen ist die chemische und physikalische Zusammensetzung des Füllmaterials entscheidend. Durch die Korngröße des Materials (grob bis fein) wird der Porenraum bestimmt und damit der Wasser- und Stoffaustausch innerhalb dieser „Körper“ beeinflusst. Die qualitative Zusammensetzung, insbesondere der organische Gehalt des Materials, bestimmt mittel- und langfristig den chemisch-biologischen Zustand der Kernfüllungen und Zwischenlagen.

##### ➤ Boden

Sofern die Kernfüllungen noch im Wasserwechselbereich des Tidezyklusses liegen (z. B. zwischen MTnw und MThw), bestimmen deren Materialeigenschaften die Funktionen und die Genese der Bauwerksböden. Prinzipiell gelten auch hier die zum Bauwerkskörper getroffenen Aussagen, dass stoffliche wie auch physikalische Bodeneigenschaften vorwiegend durch Art

und Weise sowie die Korngröße des verwendeten Baumaterials gesteuert werden. Ästuartypische hydromorphe Bodenprozesse durch wechselnde Wasserstände kommen dabei in feinkörnigen Bodenmaterialien eher zum Tragen als in grobkörnigen Materialklassen. Stoffliche Einträge aus dem Oberboden werden in feinkörnigem Material (kleiner als Sand) besser gespeichert als in grobkörnigen Substraten. Bei Körnungssprüngen innerhalb des Bodenkörpers besteht die Gefahr eines Strukturzerfalls durch Wassererosion, womit der Boden selbst mit seinen Funktionen erheblich gestört wird.

Während hydromorphologische Prozesse mit ihren Effekten auf Böden im Bauwerksumfeld nicht durch die Kernfüllungen selbst beeinflussbar sind, können jedoch je nach Art der verwendeten Füllmaterialien Lösungsverwitterungen zu stofflichen Einträgen in die umgebenden Böden und die Hydrosphäre führen (siehe Kapitel 4.1.1.1.1 „Bauwerkskörper“).

#### 4.1.1.1.4 Gründung und Fußsicherung

➤ Hydrologie, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, Vegetation, Fauna, Landschaftsbild  
Gründung und Fußsicherung haben auf die hydrologischen Prozesse, auf die Wasserbeschaffenheit und den Stoffhaushalt sowie auf Vegetation und Landschaftsbild keinen Einfluss. Sie haben vermutlich auch keine Relevanz für die Makrofauna. Allenfalls sind geringfügige, indirekte Wirkungen für die tierische Besiedlung zu erwarten.

#### ➤ Morphologie

Eine Fußsicherung verhindert Erosion am Bauwerksfuß und somit auch die natürliche Reaktion des Systems auf die Errichtung eines Strombauwerks. Durch eine Fußsicherung kann zwar der Bauwerksfuß gesichert werden, es ist jedoch nicht auszuschließen, dass es in den Bereichen, in denen die Fußsicherung endet, zu Erosion kommen kann.

#### ➤ Boden

Für den Geltungsbereich der hier dargestellten Wirkungen auf den Boden haben die Gründung sowie die Fußsicherung keine Auswirkungen, da sie sich im aquatischen Bereich befinden. Im Falle einer möglichen Erosion von Bodenmaterial (hier: Sediment) am Bauwerksfuß oder in Endbereichen der Fußsicherung kann es zu Effekten auf ufernahe Böden (Watten, Rohmarschen) kommen, wenn das erodierte Bodenmaterial in strömungsberuhigten Bereichen im Bauwerksumfeld sedimentiert.

#### 4.1.1.1.2 Material - Bewertung der ökologischen Wirkungen

#### ➤ Boden, allgemeines zu Material, Bewertung

##### *Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Durch die Anlage anthropogener Bauwerksböden werden zunächst keine ästuartypischen natürlichen Bodenfunktionen erhalten oder gesichert. Bei der Verwendung von Natursteinen können hier jedoch langfristig auch gewisse natürliche Bodenfunktionen entwickelt werden. Obwohl seltene und besondere anthropogene Böden geschaffen werden, kann im Sinne der Umweltziele für das Schutzgut Boden der Bauwerkskörper nicht dem Schutz und der Entwicklung naturnaher Böden zugeordnet werden. Gleichwohl entstehen besondere Standortigenschaften.

### *Zielzustand Schutzgut Boden*

Die Neuschaffung von Bauwerksböden trägt nicht dazu bei, den Zielzustand zu erreichen. Das den Bodenwert bestimmende Kriterium „Überformung“ bekommt durch das Auftragen natürlicher oder technogener Substrate mehr Gewicht, wodurch die ökologischen Bodenwertstufen lokal gesehen abnehmen. Wenngleich besondere Standorteigenschaften mit den Bauwerksböden geschaffen werden, sind diese Böden vom Boden als ästuartypischem Naturkörper dennoch weit entfernt.

#### **4.1.1.1.2.1 Ökologische Verbesserungen**

##### ➤ Boden

Für den Unter- und Außenelberaum ist durch die Neuschaffung anthropogener Böden keine ökologische Verbesserung zu erzielen. Allein im System dieser künstlichen Böden kann die Materialwahl die natürliche Bodenfunktionalität beeinflussen, wobei durch Nutzung natürlicher, eher kleinklassiger Wasserbausteine in Verbindung mit Kernfüllungen noch kleinerer Korngrößenklassen die Ausprägung natürlicher Bodenfunktionalität gefördert wird.

##### ➤ Vegetation

Durch die Verwendung von Wasserbausteinen oder Geotextilien zur Anlage linienhafter Strombauwerke sind keine ökologischen Verbesserungen in Bezug auf die Vegetation zu erwarten. Es können zwar durch die Verwendung von Natursteinen neue potenzielle Standorte für Elbtalmoose geschaffen werden. Da es sich dabei jedoch um naturferne und ästuaruntypische Standorte handelt, ist dies - im Vergleich zu naturnahen, unverbauten Standorten und der standorttypischen Vegetation, die sich darauf einstellen kann - aus vegetationskundlicher Sicht nicht als Aufwertung zu beurteilen.

##### ➤ Fauna

Insgesamt bieten Wasserbausteine ein Hartsubstrat, welches durch sein Lückensystem sowie mit seiner Besiedlungsstruktur günstige Bedingungen für einige Makrozoobenthostaxa schafft, wie beispielsweise Besiedlungssubstrat, Nahrung und Schutz mit unterschiedlicher Gewichtung für einzelne Tierarten, die sich als Strudler, Detritusfresser oder Räuber ernähren.

Sekundäre Hartsubstrate können somit zur Erhöhung der Artenvielfalt beitragen und im Wattenmeerbereich z. T. als Ersatz für natürliche Hartsubstratstrukturen fungieren. Als künstliches Habitat im Sinne von SSYMANK & DANKERS (1996) können Steinschüttungen im Ästuar in begrenztem Maß als Ersatz- oder Refugialzone dienen und für einige Arten von nennenswerter Bedeutung sein.

##### ➤ Landschaftsbild

Die Materialien zur Herstellung linienhafter Strombauwerke tragen nicht zu einer Aufwertung des Landschaftsbildes im Sinne der genannten Umweltziele bei.

#### **4.1.1.1.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen**

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Strombauwerke sind feste Strukturen in einem natürlicherweise durch sandige bis feinkörnige Sedimente geprägten Ästuar. Zudem sind Bauwerke „starre“ Strukturen in einem durch dy

namische Umlagerungen geprägten System. Bauwerke aus festen Materialien haben im Gegensatz zu Sedimenten aufgrund ihrer geringeren biologisch aktiven Oberflächen eine nachteilige Wirkung auf den Stoffhaushalt. Nachteilig ist auch der verminderte Wasser- und Stoffaustausch sowie die ortsfeste Lage der Strukturen.

➤ Boden

Bei der Wahl technogener und großklassiger Wasserbausteine sind natürliche Bodenfunktionen kaum ausgeprägt, bei Verklammerungen überhaupt nicht, was für den Unter- und Außenelberaum zu einer ökologischen Beeinträchtigung führt. Die Erhöhung des Anteils anthropogener Böden gegenüber den natürlicherweise vorkommenden Böden des ökologischen Optimums hat den gleichen beeinträchtigenden Effekt.

➤ Vegetation

Ökologische Beeinträchtigungen aufgrund der Materialwahl sind zu erwarten, wenn dadurch naturnahe Vegetationsstandorte durch naturferne Hartsubstrate oder Geotextilien ersetzt werden. Nach SEELIG (1992) können sich auf Steinschüttungen hauptsächlich standortuntypische Vegetationsbestände einstellen, die dementsprechend als naturfern zu bezeichnen sind und damit aus vegetationskundlicher Sicht eine geringe ökologische Wertigkeit aufweisen.

Beeinträchtigungen sind vor allem dann zu erwarten, wenn bestehende wertvolle Vegetationsbereiche überdeckt werden und durch eine Vollverklammerung eine Besiedlung der Strombauwerke durch Pflanzen verhindert wird.

➤ Fauna

**Wasserbausteine**

Durch das Einbringen von Wasserbausteinen ist auf den betroffenen Flächen zunächst mit direkten Auswirkungen auf die Fauna zu rechnen: Bodenlebende Tiere werden entfernt, dezimiert bzw. vertrieben und infolge des temporären Bestandrückgangs von Nährtieren sind eingeschränkte Wachstumsraten von Fischen und Garnelen möglich. Nach Beendigung der Baumaßnahme erfolgt eine Neubesiedlung des Hartsubstrates (s. o.). Durch die veränderten Substrateigenschaften kommt es jedoch zu einer Verschiebung im Artenspektrum durch Habitatverlust (Sediment) mit nachteiligen Auswirkungen für typische Sedimentbewohner.

Während im äußeren Ästuar künstliche Hartsubstrate als Ersatzlebensraum und Refugialzone für verloren gegangene Hartsubstratlebensräume (z. B. *Sabellaria*-Riff) für einige ästuartypische Organismen fungieren können, stellen Steine im limnisch-oligohalinen Abschnitt ein standortfremdes Substrat dar. Durch die Substratveränderung wird die Lebensraumqualität für sedimentbewohnende Wirbellose sowie für nahrungssuchende Vögel und Fische, die in den biomassereichen Flachwasser- und Wattbereichen nach Nahrung suchen, im limnisch-oligohalinen Bereich beeinträchtigt. Mit dem Einbringen von neuen Substraten in ein Gebiet siedeln sich auch andere, z.T. "standortfremde" Arten an. Zwar kann sich dadurch lokal die Biodiversität erhöhen, jedoch ist dies nicht automatisch als höherwertig zu bewerten. Beispielsweise könnten mehr Versteckplätze für Predatoren die Balance im natürlichen Nahrungsgefüge stören. Daher kann es infolge von Predation und Konkurrenz nach Einbringen von Hartsubstraten in Weichböden zur Beeinflussung der ursprünglichen Lebensgemeinschaft kommen.

Neben den Beeinträchtigungen - wie sie generell für den Einbau von Wasserbausteinen beschrieben wurden - wird durch das Einbringen von Schlackensteinen ins Ästuar der Schwermetalleintrag erhöht. Beeinträchtigungen auf die Fauna infolge der erhöhten Schwermetallbelastung sind daher nicht auszuschließen. Für die abschließende Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit von Schlackensteinen für die ästuarine Tierwelt sind weitere Untersuchungen notwendig.

### **Geotextilien**

Prinzipiell ist lokal mit den gleichen Beeinträchtigungen für die Fauna zu rechnen wie dies bereits für die Verwendung von Wasserbausteinen beschrieben wurde (Dezimierung, Artverschiebung). Darüber hinaus liegen zum Besiedlungsverhalten und zu möglichen Auswirkungen für potenzielle Besiedler des Materials „Kunststoff“ derzeit keine Erkenntnisse vor. Zur Bewertung der ökologischen Wirkung sind deshalb weitere Untersuchungen erforderlich.

#### ➤ Landschaftsbild

Mit dem Bau linienhafter Strombauwerke sind aufgrund des Einbringens standortfremden Materials Veränderungen des Landschaftsbildes verbunden, die überwiegend als Beeinträchtigungen zu beurteilen sind. Diese Beeinträchtigungen sind bei der Verwendung geotextiler Container größer als bei Wasserbausteinen, da Geotextilien völlig künstliche Materialien in der Landschaft sind. Die Beeinträchtigung wirkt umso stärker, je naturnäher der Bereich ist, in dem ein Strombauwerk neu errichtet wird.

### **4.1.1.2 Bauweisen**

Unter Bauweisen werden die Wirkungen der Parameter Kronenhöhe und Höhenvarianz, Form, Länge und Größe sowie aufgrund der Lage im Quer- bzw. Längsprofil des Stroms betrachtet.

#### **4.1.1.2.1 Bauweisen - Beschreibung der ökologischen Wirkungen**

##### ➤ Boden, allgemeines zu Bauweisen

Form, Höhe und Länge bzw. Größe des Bauwerkes haben Einfluss auf die Ausprägung der Böden und Bodenfunktionen des Bauwerkes selbst. Die durch diese variablen Bauparameter induzierten hydromorphologischen Wirkungen wie z. B. Wasserstandsänderungen, Bildung von Walzen oder Wirbeln, Strömungsbeeinflussung oder lokale Änderung von Fließgeschwindigkeiten beeinflussen zusätzlich die bauwerksumgebenden Böden. Diese indirekten Wirkungen ergeben sich auch durch die Lage der Bauwerke im Längs- oder Querprofil. Vorwiegend wirken sich die Bauweisen auf den Bodenwasserhaushalt sowie auf Sedimentations- und Erosionsprozesse in und auf ufernahen Böden aus.

##### ➤ Landschaftsbild, allgemeines zu Bauweisen

Die Wirkungen der verschiedenen Parameter zur Beschreibung der Bauweisen werden für das Landschaftsbild im Einzelnen bei den Quer- und Längsbauwerken behandelt.

#### 4.1.1.2.1.1 Kronenhöhe und Höhenvarianz

##### ➤ Hydrologie

Generell stellen Strombauwerke ein Hindernis im Durchflussquerschnitt dar und wirken sich direkt auf die Fließgeschwindigkeiten aus. Je nach Kronenhöhe werden die Bauwerke in Abhängigkeit vom Wasserstand angeströmt oder überströmt.

Sind die linienhaften Strombauwerke quer zur Hauptströmungsrichtung angeordnet, so kommt es zu einem geringen und lokal beschränkten Ansteigen des Wasserstandes vor dem Bauwerk und die Strömung wird abgelenkt. Dabei können am Bauwerk Walzen und Wirbel entstehen. Wird das Bauwerk überströmt, kann sich auf der strömungsabgewandten Seite eine liegende Walze ausbilden. Die daraus resultierenden Strömungsverhältnisse sind sehr von den Örtlichkeiten abhängig und können bei einer generellen Betrachtung der Wirkungen nicht vorhergesagt werden.

Bei Bauwerken in Längsrichtung kommt es zur Aufteilung des Durchflusses in eine Haupt- und Nebenrinne mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten. Wird das Bauwerk überströmt, entstehen zusätzlich Querströmungen.

##### ➤ Morphologie

Die Wirkungen der Kronenhöhe und Höhenvarianz werden im Einzelnen bei den Quer- und Längsbauwerken behandelt.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Kronenhöhe der Bauwerke bestimmt die hydraulischen Auswirkungen und insbesondere die Menge und Korngrößenzusammensetzung des sedimentierten Materials. Die Aufsedimentation selbst führt wiederum zu einer Veränderung der Sedimentationsvorgänge, z. B. in den Bühnenfeldern. Generell werden in Sedimentationsgebieten aus Flachwassersedimenten zunehmend Watten und durch weitergehende Auflandungen „ufernahe“ und nur bei Hochwasserereignissen überflutete Böden. Abfolge und Intensität der Sedimentationsvorgänge können durch die Kronenhöhe der Bauwerke beeinflusst werden. Für den Stoffhaushalt der Sedimente sind sowohl die Korngrößenzusammensetzung als auch die Sedimentationsrate von Bedeutung. Beides beeinflusst die Struktur (Porenraum, Wassergehalt) der entstehenden Sedimente. Auch werden durch beide Faktoren die Nachlieferung von organischem Material und damit die Redox-Verhältnisse des Sedimentes bestimmt (siehe Kapitel 4.1.2.1 Bühnen).

Als Folge hydraulischer Veränderungen können auch die Wasserüberdeckungszeiten und damit die Ausdehnung des Lebensraumes und die Lebensbedingungen für Biofilme und Aufwuchsorganismen sowie das Phytobenthos und die Makrophyten verändert werden.

##### ➤ Boden

Je niedriger die Kronenhöhe gewählt wird, desto länger und häufiger werden die Bauwerksböden dem bodenbildenden Faktor Wasser ausgesetzt (Durchströmung, Überströmung). Hierbei wird die Ausbildung semiterrestrischer Böden und semisubhydrischer Watten gefördert. Bei hohen Bauweisen wird je nach verwendetem Baumaterial die Entwicklung solcher Böden gehemmt bzw. nicht ermöglicht. Hier ist allein die Ausprägung besonderer Standortfunktionen bei den zeitweise durch- und überfluteten Böden möglich, die bis hin zu terrestrischen

Bodenbildungen führen können. Die Sedimentation von Schwebstoffen im Bauwerk und die damit verbundene Förderung der Bodenentwicklung der Bauwerksböden ist bei hohen Bauweisen eingeschränkt.

Je nach Lage und Höhe können Strombauwerke die Wasserstände anheben oder senken. Da die Wasserstände im Gewässer mit den Grundwasserständen korrespondieren, wird unter anderem auch der Bodenwasserhaushalt beeinflusst.

Hydromorphologische Effekte bei niedrigen Kronenhöhen mit häufigen Überströmungen können durch Walzenbildung am Bauwerk oder Ausbildung von Längs- und Querströmungen zu Erosion am Bauwerk oder bauwerksumgebenden Böden führen. Rohmarschen oder Watten können hierdurch verloren gehen.

Eine Spezifizierung des Ausmaßes der beschriebenen Prozesse für die in Tabelle 3.1-2 angegebenen Kronenhöhen ist hier nicht möglich.

#### ➤ Vegetation

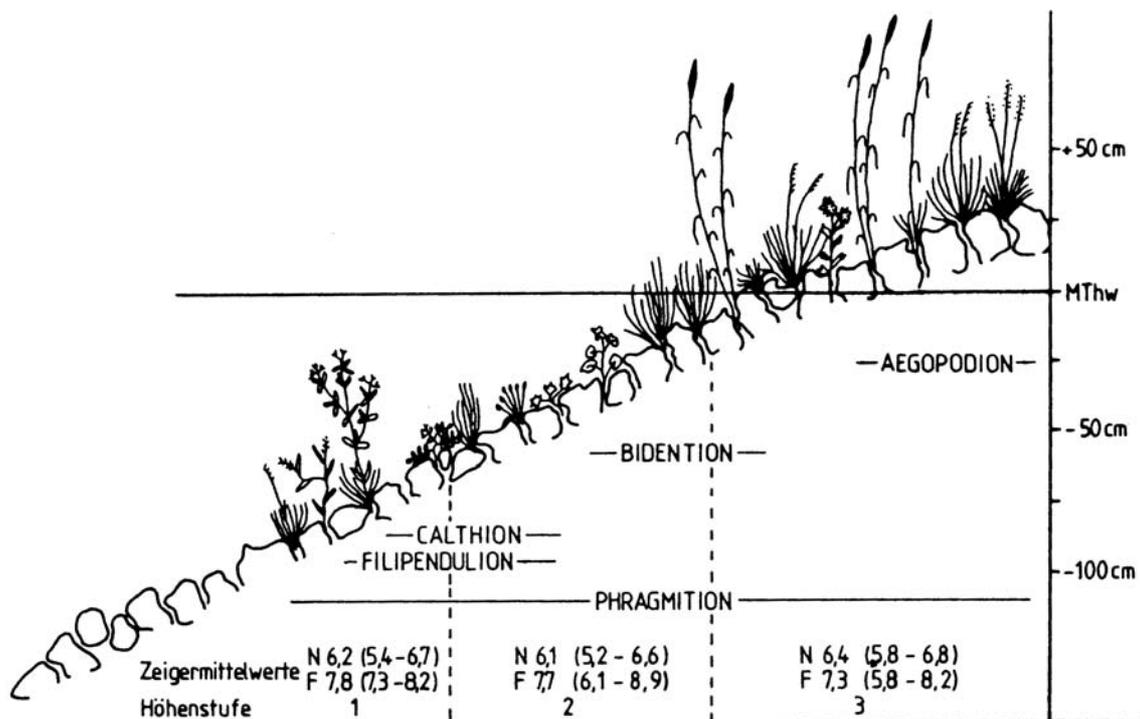
Die mögliche Besiedlung von Strombauwerken hängt - sofern ein geeignetes Besiedlungssubstrat vorhanden ist - in hohem Maße von der Kronenhöhe ab. Unterhalb einer Höhe von ca. MThw -1 m ist keine Besiedlung mit höheren Pflanzen zu erwarten. Nach OERTLING (1992) liegen die tiefsten Pflanzenvorkommen auf Steinschüttungen an der Unterelbe stromab von Hamburg bei 86 cm unter MThw. PREISINGER (1991) wies im Hamburger Hafen an gepflasterten Ufern höhere Pflanzen bis etwa 1,2 m unter MThw nach, die Untergrenze bildete dabei die Wibels-Schmiele (*Deschampsia wibeliana*).

In Tabelle 4.1-1 ist die Vegetationszonierung eines durch Pflasterung verbauten Ufers am Hamburger Hafen für den limnischen Bereich dargestellt. Im Höhenbereich zwischen MThw -1,2 m und MThw kommen vorwiegend Bestände der Wibels-Schmiele sowie Arten der Zweizahn-Ufersäume und Ruderalgesellschaften vor. Die Wibels-Schmiele ist aufgrund der Fähigkeit zur Besiedlung von Steinschüttungen und Pflasterungen möglicherweise in Ausbreitung begriffen (ARGE ELBE 2001). Zwischen MThw und MThw +0,3 m dominieren Arten der Grünland-Gesellschaften und zwischen MThw +0,3 m und MThw +1,5 m Arten halbruderaler Pionier- und Trockenrasen. Hier zeigt sich, dass die oberen, selten überfluteten Bereiche durch vergleichsweise geringe Nährstoffgehalte und zeitweilige Trockenheit bestimmt sind (PREISINGER 1991).

**Tabelle 4.1-1: Vegetationszonierung an gepflasterten Uferböschungen (Beispiel: Hamburger Hafen, Finkenwerder (PREISINGER 1991))**

Höhenzone	Vegetationsbestände	Charakteristische Arten
MThw -1,2 m bis MThw	<i>Deschampsia wibeliana</i> -Bestände (Wibels-Schmiele)  Bestände mit Dominanz von <i>Bidentetea</i> - und <i>Chenopodietea</i> -Arten (Zweizahn-Ufersäume und Ruderalgesellschaften)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Deschampsia wibeliana</i></li> <li>• <i>Poa trivialis</i></li> <li>• <i>Poa annua</i></li> <li>• <i>Plantago major</i></li> <li>• <i>Poa annua</i></li> <li>• <i>Bidens frondosa</i></li> <li>• <i>Helianthus annuus</i></li> <li>• <i>Cirsium arvense</i></li> </ul>
MThw bis MThw +0,3 m	Bestände mit Dominanz von <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> -Arten (Grünland-Gesellschaften)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Arrhenatherum elatius</i></li> <li>• <i>Festuca arundinacea</i></li> <li>• <i>Festuca rubra</i></li> <li>• <i>Equisetum arvense</i></li> </ul>
MThw +0,3 m bis MThw +1,5 m	Bestände mit Dominanz von <i>Agropyretea</i> -Arten (Halbruderale Pionier- und Halbtrockenrasen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Artemisia vulgaris</i></li> <li>• <i>Tussilago farfara</i></li> <li>• <i>Convolvulus arvensis</i></li> </ul>

Abbildung 4.1-3 zeigt die idealisierte Vegetationszonierung von Steinschüttungen im limnischen Bereich des Elbe-Ästuars. Typischerweise kommen zwischen MThw -1 m und MThw -0,5 m Arten der Feuchtwiesen und Uferfluren (*Filipendulion* und *Calthion*) und zwischen MThw -0,5 m und MThw Arten der Zweizahnfluren (*Bidention*) vor.



**Abbildung 4.1-3: Vegetationszonierung einer Steinschüttung im limnischen Bereich des Elbe-Ästuars (OERTLING 1992)**

Oberhalb davon, bis ca. MThw +0,3 m, dominieren Arten der nitrophytischen Ruderalgesellschaften (*Aegopodion*). Arten der Stillwasser-Röhrichte (*Phragmition*) können entlang des gesamten Transekts vorkommen.

Bei der Vegetation der verbauten Ufer ist im Vergleich zu naturnahen Ufern eine Vegetationszonierung mit klar abgrenzbaren Vegetationstypen kaum ausgeprägt. Besondere Schwerpunkte in der Höhenverbreitung zeigen nur einzelne Arten wie Einspelzige Sumpfbirse (*Eleocharis uniglumis*) im unteren Bereich und Rohr-Schwingel (*Festuca arundinacea*) im oberen Bereich (OERTLING 1992). Da das Artenspektrum der Steinschüttungen maßgeblich durch die oberhalb anschließenden Pflanzengesellschaften geprägt ist, ist es sehr variabel.

Linienhafte Strombauwerke bieten aufgrund des fehlenden Kontakts mit anstehendem Boden deutlich geringere Besiedlungsmöglichkeiten als Uferdeckwerke. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass bei ausreichender Ansammlung von Feinmaterial die Besiedlung mit einer vergleichbaren Artenzusammensetzung erfolgen kann.

Für den mesohalinen, polyhalinen und marinen Bereich gilt, dass linienhafte Strombauwerke größtenteils nicht mit höheren Pflanzen besiedelt werden (siehe Abschnitt „Lage im Längsprofil“ in diesem Kapitel) (OERTLING 1992). Sie können jedoch durch Grün- und Braunalgen besiedelt werden.

#### ➤ Fauna

Für die Vertikalzonierung der faunistischen Besiedlung von Hartsubstraten im Ästuar ist u. a. die Überflutungsdauer ein maßgeblicher Faktor. Im Wesentlichen lassen sich zwei Bereiche für die aquatische Fauna differenzieren: das Eulitoral (zwischen MTnw und MThw) und das Sublitoral (unter MTnw).

Nur wenige Makrozoobenthosarten sind dem periodischen Trockenfallen angepasst. Der Untersuchung von BIOCONSULT (1998) zufolge ist davon auszugehen, dass die Artenvielfalt und Besiedlungsdichte im oligohalinen Bereich deutlich von der Tiefe abhängt und mit zunehmender Tiefe ansteigt. Für das begrenzte Artenspektrum im Bereich des Oligohalinikums vor allem im Eulitoral scheinen u. a. zwei Faktoren maßgeblich:

- der anthropogen erhöhte Tidehub, an den limnisch-ästuarine Arten nicht angepasst sind und deshalb fehlen,
- und für Brackwasser- bzw. euryhaline Arten ist es nur eingeschränkt möglich, auch im Oligohalinikum aufgrund des niedrigen Salzgehaltes eulitorale Standorte mit langen Trockenfallzeiten zu besiedeln.

Im meso-/polyhalinen Bereich hingegen findet ein Anstieg der Besiedlungsdichte vom Eulitoral zur Niedrigwasserlinie statt und ein Rückgang im Sublitoral.

Prinzipiell ist für die Vertikalzonierung nicht von einem bestimmten Besiedlungsmuster auszugehen, da die Besiedlungsstruktur von den lokalen, vielfältigen Standortbedingungen abhängt und somit ortsspezifisch eine „individuelle“ Ausprägung aufweist. Salzgehalt, Substratbeschaffenheit, Tidehub, Wellenexposition, Neigungswinkel, Beschattung, Algenbewuchs

sowie inter- und intraspezifische Wechselbeziehungen (u. a. Raumkonkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen) führen zu einem jeweils spezifischen Zonierungsmuster der Fauna.

#### 4.1.1.2.1.2 Form

##### ➤ Hydrologie

Linienhafte Strombauwerke, die keinen durchgängigen Bauwerkskörper, sondern einen Bauwerkskörper mit abgesenkten Bereichen aufweisen, bilden an diesen „Durchbrüchen“ Verwirbelungen und Querströmungen aus. Bei einer variablen Kronenhöhe werden die unterhalb MTnw endenden Abschnitte dauerhaft überströmt. Zwischen MTnw und MThw gelegene Kronenhöhen werden zeitweise überströmt. Oberhalb MThw gelegene Bauwerksabschnitte werden angeströmt. An den Übergängen zwischen verschiedenen Höhenniveaus, z. B. bei abgestuften Bühnen, kommt es zusätzlich zu Verwirbelungen. Bei „unterbrochenen“ Leitwerken kann durch die auftretenden Querströmungen ein zusätzlicher Wasseraustausch zwischen einer Haupt- und einer Nebenrinne hergestellt und die Strömungsvielfalt vergrößert werden.

Die Böschungsneigung hat ebenfalls Auswirkungen auf das bauwerksnahe Strömungsverhalten. Flachere Böschungen reduzieren je nach Richtung der Anströmung das Auftreten bauwerksnaher Verwirbelungen. Generell kann gesagt werden, je vielgestaltiger die Form und die Kronenhöhe ausgebildet wird, desto komplexer sind die daraus resultierenden Strömungsverhältnisse. Die größte Komplexität ist bei voll entwickeltem Flut- und Ebbestrom zu erwarten.

Auf Wasserstände haben die Formvariationen nur sehr geringe und auf das unmittelbare räumliche Umfeld beschränkte Auswirkungen. Die von Sonderformen ausgehenden Wirkungen können nur aufgrund von Einzeluntersuchungen beschrieben werden.

##### ➤ Morphologie

Siehe Abschnitt „Form“ in Kapitel 4.1.2.1.1.5 und 4.1.3.1.4 bzw. Kapitel 4.2.1.2.1.3 „Neigung der Randbegrenzung“.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Form der Bauwerke bestimmt die Aufenthaltszeit des Wassers bzw. die Wasserüberdeckungszeiten sowie die Sedimentationsbedingungen im mittelbaren Bereich der Bauwerke. Bewirkt die Form zu hohe Sedimentationsraten von organikreichem Schwebstoff, entstehen Sedimente mit stark reduktiven Eigenschaften und hohem Sauerstoffbedarf.

##### ➤ Boden

Eine regelmäßige und nicht abgesenkte Bauweise hat eine ebenso künstlich gestaltete regelmäßige Abfolge der anthropogenen Böden von der Bauwerkskrone (terrestrische bis semiterrestrische Kultusole) bis zum Bauwerksfuß (semiterrestrische Rohmarschen bis semisubhydriische Watten) mit der Ausbildung entsprechender Bodenfunktionen zur Folge. Mögliche Variationen der Bodeneigenschaften sind allein durch hydromorphologische Effekte und ihren Einfluss auf bodenbildende Prozesse bedingt.

„Unterbrochene“ Bauweisen schaffen bei angenommenem gleichem strombaulichem Ziel bei einer insgesamt längeren Umfanglinie mehr Schnittstellen zum aquatischen Bereich, an denen ästuartypische bodenbildende Prozesse ablaufen können. Dies betrifft vor allem die Aus

bildung semiterrestrischer Rohmarschen und semisubhydrischer Watten im Wechselbereich zwischen MThw und MTnw. Verwirbelungen und Querströmungen an den „Durchbrüchen“ führen zum Wechselspiel zwischen Erosion von Bodenmaterial und Sedimentation in strömungsberuhigteren Bereichen am Bauwerk bzw. an bauwerksumgebenden Böden und in den durch das Bauwerk abgetrennten Flussbereichen. Hierdurch wird die Heterogenität von Bodeneigenschaften und -funktionen gefördert.

Für die Formgebung des Bauwerkes gilt Ähnliches. Einhergehend mit einer hohen Formvielfalt (Höhe, Breite) sind Bodenentwicklung, -eigenschaften und -funktionen entsprechend abwechslungsreich ausgeprägt. Die Entwicklung semisubhydrischer Watten bis hin zu terrestrischen Böden an der Bauwerkskrone ist möglich. Hydromorphologische Effekte bei An- bzw. Überströmung mit der Ausbildung von Verwirbelungen und Strömungen am Bauwerk und in seinem Umfeld sorgen hier für ästuartypische Stoffumlagerungen ebenso wie in dem durch das Bauwerk abgetrennten Bereich. Die Heterogenität der Böden mit ihren Eigenschaften ist damit höher als in Bauwerken mit einem Regelprofil.

Mit der Anlage flacher Bauwerksböschungen bilden sich der Neigung entsprechend „breite“ Rohmarschen- und Wattengürtel im Übergangsbereich zwischen Bauwerk und ursprünglichem Standort aus. Mit nur geringen Verwirbelungen und geringem Strömungsangriff manifestieren sich hier die entsprechenden Bodeneigenschaften und -funktionen der semisubhydrischen und semiterrestrischen Böden. Demzufolge ist die Fläche solcher Böden im Wasserwechselbereich steiler Ufer geringer. Entsprechende Bodenfunktionen können nicht ausgeübt werden.

#### ➤ Vegetation

Die Form eines Strombauwerks hat insbesondere über die mögliche Besiedlungsfläche und das Entstehen strömungsberuhigter Bereiche Auswirkungen auf die Vegetation.

Teilweise abgesenkte Strombauwerke zeichnen sich durch längere Randlinien und damit eine größere Fläche im Wasserwechselbereich, d. h. im Bereich zwischen MTnw und MThw aus. Für die Vegetation ist damit eine geringfügig größere Besiedlungsfläche vorhanden. Eine ähnliche Wirkung auf die besiedelbare Fläche innerhalb einer bestimmten Höhenzonierung hat eine flache Ausbildung der Böschungsneigungen im Vergleich zu steiler angelegten Bauwerken zur Folge.

Weitere Auswirkungen sind als Folge unterschiedlicher morphologischer Entwicklungstendenzen am Ufer denkbar, wie z. B. eine Entwicklung oder Ausbreitung der Ufervegetation bei einer Auflandung im Uferbereich.

#### ➤ Fauna

Ein „unterbrochenes“ Strombauwerk ermöglicht prinzipiell den Austausch aquatischer Organismen zwischen einzelnen Bereichen. So würden beispielsweise Durchlässe in Bühnen den Austausch aquatischer Organismen zwischen Bühnenfeldern oder ein „unterbrochenes“ Leitwerk den Austausch zwischen Hauptstrom und Nebenrinne ermöglichen. Grundsätzlich verlängert sich auch die Randlinie, und somit vergrößert sich der für eine potenzielle Besiedlung

verfügbare Raum. Größere Auswirkungen auf die Fauna sind aufgrund morphologisch-hydrologischer Entwicklungen, z. B. Auflandungs- und Erosionsprozessen, zu erwarten.

Wasserstandsänderungen, Wellenschlag und unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten bei unterschiedlichen Böschungsneigungen wirken maßgeblich im Wasserwechselbereich (Eulitoral) sowie dem angrenzenden sublitoralen Bereich auf die Fauna. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten und starker Wellenschlag erschweren einerseits die Anheftung von Benthosorganismen, andererseits werden Arten begünstigt, die sich fest am Substrat verankern können (Seepocken, Miesmuscheln, Keulenpolyp). Der durch die fahrenden Schiffe erzeugte Sog und Schwall wirkt selektierend auf die Biozönose der Uferbereiche (TITTIZER & SCHLEUTER 1989). Durch den Neigungswinkel verändern sich die einwirkenden hydrologischen Faktoren sowie die Größe des besiedelbaren Raumes. Die in diesen Bereichen lebenden Wirbellosen sind an diese „turbulenten“ Bedingungen angepasst, und für die in Tabelle 3.2-2 aufgeführten unterschiedlichen Neigungen sind allenfalls geringfügig unterschiedliche Auswirkungen auf die Fauna zu erwarten.

#### 4.1.1.2.1.3 Länge und Größe

##### ➤ Hydrologie

Die Länge und Größe von linienhaften Strombauwerken beeinflusst die hydrologischen Wirkungen. Diese sind jedoch auch von den örtlichen Verhältnissen abhängig. Die Wirkungen werden unter den jeweiligen Strombauwerken beschrieben.

##### ➤ Morphologie

Für die von der Länge und Größe linienhafter Strombauwerke beeinflussten morphologischen Prozesse gilt, je größer das Bauwerk ist, umso größer werden voraussichtlich die Auswirkungen sowohl im direkten Umfeld des Bauwerks als auch in der weiteren Umgebung sein.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe unter Abschnitt „Form“ dieses Kapitels.

##### ➤ Boden

Die Fläche und das Volumen der mit dem Bauwerk geschaffenen anthropogenen Böden sind direkt an seine Länge und Größe gekoppelt. Damit hängt das Potenzial zur Ausübung entsprechender Bodenfunktionen im Ästuar der Unter- und Außenelbe ebenso von der Größe des Bauwerkes ab. Da auch die hydromorphologischen Auswirkungen durch Größe und Länge des Bauwerkes bestimmt sind, steuert das daran gebundene Ausmaß von Erosion und Sedimentation die Ausprägung von semisubhydrischen Watten und semiterrestrischen Böden (vor allem Rohmarschen) am Bauwerk und in seinem Umfeld. Je größer das Bauwerk ist, desto mehr solcher Effekte sind zu erwarten. Eine Quantifizierung ist an dieser Stelle nicht möglich.

##### ➤ Vegetation und Fauna

Prinzipiell werden mit zunehmender Größe eines Strombauwerkes sowohl bei der Neuschaffung von Habitaten als auch bei der Beeinträchtigung/Zerstörung bestehender Habitate die Auswirkungen auf die Vegetation und Fauna zunehmen. Es ist anzunehmen, dass mit zunehmender Größe des Bauwerkes die lokale Strukturvielfalt zunimmt. Aufgrund hydrologisch-

morphologischer Prozesse entsteht ein (kleinräumiges) Mosaik unterschiedlicher Habitats mit entsprechender Wirkung auf die Artenvielfalt.

#### 4.1.1.2.1.4 Lage im Querprofil des Stroms

##### ➤ Hydrologie

Buhnen erzeugen - je weiter sie in den Strom hineinreichen - eine immer größere Bündelung und Konzentration der Strömung. Längsbauwerke teilen den vorhandenen Durchfluss und die Strömung auf. Dabei können eine besser durchströmte Hauptrinne und eine geringer durchströmte Nebenrinne entstehen. Die Strömungsvielfalt des Gewässers kann dadurch vergrößert werden. Die Wirkung von Buhnen und Längsbauwerken ist sehr von den Örtlichkeiten abhängig und bedarf jeweils einer detaillierten hydraulischen Untersuchung.

##### ➤ Morphologie

Im Tidebereich stimmen die Strömungsverteilungen im Querschnitt während des Flutstromes oft nicht mit denen des Ebbstromes überein. Das kann zur Entstehung von Ebb- bzw. Flutstromrinnen führen, die in der jeweiligen Tidephase dann stärker durchströmt werden. Genaue Kenntnisse über diese Zusammenhänge sind entscheidend, um die Entwicklung eines Flussabschnitts nach Anlage eines Strombauwerks abschätzen zu können. In diesem Zusammenhang sind auch die Kennwerte des Ebb- und Flutstromes ( $v_{f,max}$ ;  $v_{e,max}$ ;  $t_e$ ;  $t_f$  ...) maßgebend. Linienhafte randliche Strombauwerke verhindern Erosion an dieser Stelle, sie können jedoch dazu führen, dass sich der Erosionsbereich verlagert.

##### ➤ Boden

Bei einer randlichen Lage linienhafter Strombauwerke wirken erosive hydromorphologische Effekte des Bauwerkes nicht direkt in seinem Umfeld. Watten und ufernahe Rohmarschen können sich im Bauwerksumfeld „ungestört“ entwickeln. Ein starker Strömungsangriff im Prallhangbereich hat größere Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Bodenbildung im und am Bauwerk als eine Lage des Bauwerkes im Gleithangbereich, wo vorwiegend Wasserstandsänderungen die Böden des Bauwerkes und seines Umfeldes beeinflussen.

Ragen die Bauwerke weiter in die Strommitte, so sind Bauwerksböden vermehrt dem Strömungsangriff ausgesetzt. Hier besteht die Gefahr potenzieller Erosion vor allem semisubhydrischer Bauwerksböden. Wasserstandsänderungen mit Effekten auf den Wasserhaushalt der Bauwerksböden und ufernaher natürlicher Bodenbildungen sind bei weiter in die Strommitte reichenden Querbauwerken größer als bei kürzeren Bauwerken. Die Effekte durch bauwerksbedingte Erosionsprozesse in entsprechenden Ebbe- bzw. Flutstromrinnen und die nachfolgenden Wirkungen auf ufernahe Watten und Rohmarschen durch die Sedimentation erodierten Bodenmaterials (hier: Schwebstoffe) können hier tendenziell beschrieben, in ihrem Ausmaß und ihrer Lokalität aber nicht abgeschätzt werden.

##### ➤ Vegetation

Linienhafte randliche Strombauwerke können die Wirkung von Schiffswellen am Ufer reduzieren und dadurch die hydraulische Belastung in diesem Bereich vermindern, was zu einer Ausdehnung von Vegetationsbeständen, wie z. B. Röhrichten, am Ufer führen kann.

Mit zunehmender Distanz zum Ufer wird die Besiedlung durch Pflanzen schwieriger. Auf den meisten linienhaften Strombauwerken in Strommitte sind deshalb keine höheren Pflanzen anzutreffen.

➤ Fauna

Je nach Lage des linienhaften Bauwerkes im Querprofil kommt es zu hydrologisch-morphologischen Veränderungen. Durch veränderte Strömungsgeschwindigkeiten verlagern sich möglicherweise Sedimentations- und Erosionsbereiche mit je nach Art positiven oder negativen Konsequenzen für die Fauna. Bereiche, die aufgrund hoher Strömungsgeschwindigkeiten durch ständige Sedimentumlagerungen gekennzeichnet sind, weisen in der Regel nur eine geringe Wirbellosenbesiedlung auf. Randlich gelegene linienhafte Strombauwerke, wie z. B. ein Leitwerk, ermöglichen gegebenenfalls das Entstehen von Watt und strömungsberuhigten Flachwasserbereichen, wodurch z. B. wertvolle Aufenthaltsräume für Jungfische entstehen können. Durch die beschriebene Reduzierung der Wirkung von Schiffswellen und die Ausdehnung z. B. von Röhrichten würden wertvolle Lebensraumstrukturen u. a. für Vögel erweitert.

#### 4.1.1.2.1.5 Lage im Längsprofil des Stroms

➤ Hydrologie

Die Lage einer Buhne oder eines Leitwerks im Längsprofil hat Auswirkungen auf Wasserstände und Strömungsverhalten. Die Wirkungen linienhafter Strombauwerke gleicher Größe werden mit zunehmender Lage stromaufwärts größer, da sich der Hauptdurchflussquerschnitt immer mehr verkleinert.

➤ Morphologie

In Ästuaren bildet der Übergangsbereich zwischen der Süßwasserzone und der Salzwasserzone die Brackwasserzone. Im stromauf gelegenen Bereich der Brackwasserzone (oligo- bis mesohaliner Bereich) befindet sich in der Regel das Trübungsmaximum, dessen Lage großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterliegt. In diesem Bereich muss mit einer erhöhten Sedimentationsrate von Feinstmaterial gerechnet werden. Häufig ist in diesen Bereichen eine Verschlickung der Sohle zu beobachten.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Das Schwebstoffdargebot, z. B. im Bereich von Bühnenfeldern, wird maßgeblich durch die Lage im Längsprofil des Ästuars bestimmt. Das betrifft sowohl die Menge als auch die qualitative Zusammensetzung der Schwebstoffe. Im oberen limnischen und im polyhalinen Abschnitt der Elbe sind die Schwebstoffgehalte niedriger als im Bereich der Trübungszone. Demgegenüber ist der Anteil an leicht abbaubaren organischen Bestandteilen in den Schwebstoffen im oberen limnischen und im polyhalinen Abschnitt der Elbe höher als im Bereich der Trübungszone.

Die durch Bauwerke entstehenden Wattsedimente werden in Abhängigkeit von der Lage im Längsprofil durch unterschiedliche Phytobenthosbiozönosen besiedelt. Dabei weisen die im limnischen Bereich vorkommenden Phytobenthosbiozönosen eine höhere Quantität und Biomassenproduktion auf als die Gemeinschaften der oligohalinen und mesohalinen Watten.

➤ Boden

Die bereits dargestellten möglichen Effekte der Bauweisen auf ufernahe Böden differenzieren sich im Längsverlauf der Elbe dadurch, dass bei bauwerksnahen Wirkungen Flusswatten oder -rohmarschen, Brackwatten oder -rohmarschen bzw. Salzwatten oder -rohmarschen betroffen sind. Die Effekte auf den Bodenwasserhaushalt ufernaher Böden sind bei stromaufwärts gelegenen Bauwerken stärker ausgeprägt, da hier die wasserstandsverändernden Wirkungen größer sind als bei stromab gelegenen Bauwerken. Gleiches gilt für die Änderungen im Strömungsverhalten und die daran gebundenen Effekte auf Erosion und Sedimentation von Bodenmaterial. Diese Effekte werden auch durch die Lage des Bauwerkes im Prallhangbereich mit großem Strömungsangriff oder Gleithangbereich mit geringem Strömungsangriff beeinflusst. Liegen Bauwerke mit lokalen hydromorphologischen Wirkungen im Bereich stromauf der Brackwasserzone, muss bei einem hohen Sedimentationspotenzial in diesem Bereich besonders mit Wirkungen auf ufernahe Watten und Rohmarschen durch die Sedimentation von Bodenmaterial gerechnet werden. Die Entwicklung solcher Böden wird dadurch in dieser Zone gefördert.

➤ Vegetation

Die Bedeutung des Salinitätsgradienten für die Besiedlung mit Pflanzen ist für naturnahe Uferbereiche in Kapitel 4.2.1.2.1.2 „Oberflächenniveau“ und 4.2.1.2.1.6 „Lage im Längsprofil des Stroms“ dargestellt. Für linienhafte Strombauwerke, die aus Wasserbausteinen aufgebaut sind, gilt, dass sie im mesohalinen bis marinen Bereich größtenteils nicht durch höhere Pflanzen besiedelt werden können. Neben der Salinität spielen hierbei auch die größeren hydraulischen Belastungen eine bedeutende Rolle. Im oligohalinen (bis mesohalinen) Bereich ist eine Besiedlung durch Arten der Röhrichte und der Ruderalfluren gegebenenfalls möglich, wobei teilweise das Schilf (*Phragmites australis*) zurücktritt und durch die Strandsimse (*Bolboschoenus maritimus*) ersetzt wird. Im limnischen Bereich sind die besten Bedingungen für eine Besiedlung von linearen Strombauwerken durch höhere Pflanzen gegeben (siehe Kapitel 4.1.1.1.1.1).

Im polyhalinen und marinen Bereich der Unterelbe können linienhafte Strombauwerke durch Grünalgen (z. B. Darmtang (*Enteromorpha intestinalis*)) und Braunalgen (z. B. Blasentang (*Fucus vesiculosus*)) besiedelt werden (KÖTTER 1961). Vorzugsweise wird dabei der Bereich um die MThw-Linie besiedelt. Wie in Abbildung 4.1-4 dargestellt ist, können dabei hohe Deckungsgrade erzielt werden.



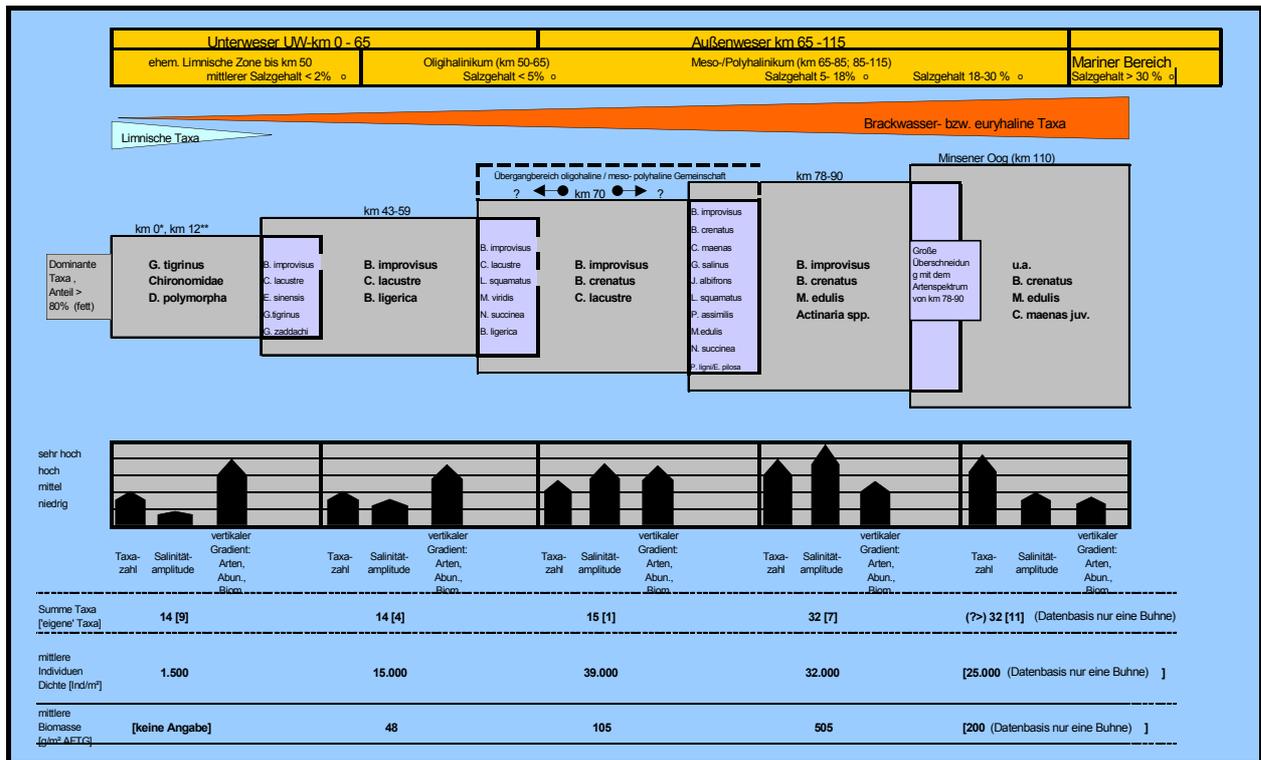
**Abbildung 4.1-4: Leitwerk Kugelbake mit Grünalgen der Gattung *Enteromorpha* (Höheniveau ca. MThw)**

➤ Fauna

Die Besiedlung von sekundären Hartsubstraten/Strombauwerken in Nordsee-Ästuaren wird u. a. maßgeblich durch den Salinitätsgradienten geprägt. Typischerweise lassen sich entlang des Längsverlaufes unterschiedliche Gemeinschaften mit charakteristischer Besiedlungsstruktur differenzieren. Die Artenzahlen, Individuendichten und Biomassen steigen typischerweise stromab zum marinen Milieu hin an. Im oligohalinen Bereich treten Seepocken bereits in hohen Abundanzen auf, und der seewärts gerichtete kontinuierliche Anstieg der Biomassen wird überwiegend durch die Miesmuschel bedingt.

In ihrer Untersuchung zu Besiedlungsmustern von Wirbellosengemeinschaften auf künstlichen Hartsubstraten (Holzplatten) im Loire-Ästuar fanden MARCHAND & DENAYER (1991), dass im meso- und polyhalinen Abschnitt der verfügbare Raum vollständig besiedelt wurde, während im limnisch-oligohalinen Bereich weniger als 20 % der Fläche genutzt wurde.

In der von BIOCONSULT (1998) durchgeführten Untersuchung an Buhnen im Weser-Ästuar dominieren im limnischen Abschnitt die Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha*, der getigerte Flussflohkrebs *Gammarus tigrinus* und Chironomiden die „Buhngemeinschaft“. Im oligo-mesohalinen Bereich charakterisieren die Seepocken (*Balanus improvisus*, *B. crenatus*), Vielborster (*Neanthes succinea*, *Marenzelleria viridis*) und Flohkrebse (*Corophium lacustre*) die Zönose, während im Polyhalinikum *B. crenatus*, *Mytilus edulis* und *Carcinus maenas* überwiegen (siehe Abbildung 4.1-5).



**Abbildung 4.1-5: Besiedlung von Hartsubstraten am Beispiel Weser-Ästuar: Abfolge der Zoobenthosgemeinschaften auf Buhnen entlang des longitudinalen Salinitätsgradienten in der Unter- und Außenweser. Angegeben sind dominante Arten und weitere Kenngrößen (schematisiert - aus BIOCONSULT 1998)**

Charakteristisch für Steinschüttungen der oberen Tideelbe ist eine artenreiche Oligochaeten-Gemeinschaft (GRIMM 1979 zit. in BERNAT ET AL. 1997).

VILLWOCK (1956) fand in seiner Untersuchung von Fahrwassertonnen im Ems-Ästuar, dass im limnischen Abschnitt ein Bewuchs mit der Dreikantmuschel und dem Keulenpolyp *Cordylophora caspia* - als mögliche Vertreter für eine Tonnenbesiedlung - fehlt. Diese wiederum würden die Bedingungen für eine Besiedlung mit Insektenlarven und Gammariden schaffen. Möglicherweise sind die Dreikantmuschel und der Polyp nicht in der Lage sich als Erstbesiedler auf dem glatten Tonnenkörper anzuhängen. Es fehlt ein geeigneter Besiedlungspionier, wie er von der Brackwasserzone seewärts durch die Seepocken gegeben ist. Die Primärbesiedlung durch Balaniden ermöglicht somit eine weitere Besiedlung, die dann qualitativ und quantitativ von der Salzgehaltszonierung im Ästuar bestimmt wird.

Aufgrund einer erhöhten Sedimentation von Feinmaterial im Bereich der Trübungszone kann die Hartsubstrat-Zönose dieses Bereichs beeinflusst werden.

#### 4.1.1.2.2 Bauweisen - Bewertung der ökologischen Wirkungen

Eine Bewertung der Bauweisen kann teilweise nicht in allgemeiner Form erfolgen, sondern ist von den einzelnen Strombauwerken abhängig und wird deshalb dort vorgenommen.

##### ➤ Boden, allgemeines zu Bauweisen, Bewertung

###### *Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Obwohl durch die Anlage anthropogener Bauwerksböden zunächst keine ästuartypischen natürlichen Bodenfunktionen erhalten oder gesichert werden, eröffnet die Ausgestaltung der Bauwerksbauweise dennoch einen gewissen Rahmen zur Entwicklung von Böden mit natürlichen ästuartypischen Bodenfunktionen.

Mit niedrigen Kronenhöhen sind typische Bodenfunktionen semiterrestrischer Böden entwickelbar, hohe Kronenhöhen können besondere Standorteigenschaften schaffen. Teilweise abgesenkte Bauweisen mit unterschiedlichen Höhen und Breiten sowie flachen Neigungen können dem Schutzziel für das Schutzgut Boden nahe stehende Böden formen. Randliche Lagen der Bauwerke schützen ufernahe Böden (z. B. Watten).

Mit größeren Bauwerken werden entsprechend anthropogene Böden geschaffen, was im Sinne des Erhalts und der Entwicklung naturnaher Böden nicht dem Umweltziel für das Schutzgut Boden entspricht. Stromaufwärts gelegene Bauwerke mit entsprechenden Veränderungen der Wasserstände verursachen Abweichungen vom Umweltziel Boden.

###### *Zielzustand Schutzgut Boden*

Die Bauweisen tragen zunächst nicht dazu bei, den Zielzustand zu erreichen. Dennoch können bestimmte Gestaltungen der Bauwerke natürliche Bodenentwicklungen schützen und unter Umständen sogar fördern.

Das den Bodenwert bestimmende Kriterium „Überformung“ wird je nach Bauweise durch die Unterkriterien „Auftrag natürlicher Substrate“ und „Auftrag technogener Substrate“ mehr gewichtet, wodurch lokal gesehen der ökologische Bodenwert abnehmen kann. Gleiches gilt für das Unterkriterium „Versiegelung“, die bei verklammerten Bauweisen zunimmt. Je nach Bauweise können naturnahe Böden geschützt und unter Umständen auch geschaffen werden, wodurch auf der Mikroskala das den Bodenwert bestimmende Kriterium „Boden als Naturkörper“ mehr Gewicht bekommt. Besondere Standorteigenschaften in nicht naturnahen Bauwerksböden können durch die Wahl der Bauweise entwickelt werden.

##### ➤ Vegetation, allgemeines zu Bauweisen, Bewertung

Die oben genannten Parameter haben in generalisierter Form eine geringe Bedeutung für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen. Die Beschreibung der ökologischen Verbesserungen und Beeinträchtigungen erfolgt bei den einzelnen Arten von Strombauwerken.

➤ Fauna, allgemeines zu Bauweisen, Bewertung

Für die Bewertung der Strombauwerke aus faunistischer Sicht sind die genannten Parameter in der abstrakten Weise wenig bedeutend. Entscheidend ist die jeweilige Kombination von Parametern unter den jeweiligen lokalen Gegebenheiten.

#### 4.1.1.2.2.1 Ökologische Verbesserungen

➤ Boden

Im Unter- und Außenelberaum ist durch das Errichten der Bauwerke selbst kaum eine ökologische Verbesserung zu erzielen. Durch die Wahl bestimmter Bauweisen mit ihren entsprechenden hydromorphologische Effekten sind jedoch in gewisser Weise Ersatzfunktionen entwickelbar, die ästuartypische natürliche Bodenfunktionen im Tideelbe-Raum zur Verfügung stellen und sichern können.

➤ Landschaftsbild

Die verschiedenen Bauweisen zur Herstellung eines linienhaftes Strombauwerks tragen nicht zu einer Aufwertung des Landschaftsbildes im Sinne der genannten Umweltziele bei.

#### 4.1.1.2.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Lage der Bauwerke im Längsprofil des Ästuars bestimmt wesentlich das qualitative Schwebstoffdargebot. Kommt es aufgrund der Bauweise zu hohen Sedimentationsraten von organikreichem Schwebstoff, entstehen Sedimente mit stark reduktiven Eigenschaften und hohem Sauerstoffbedarf. Wenn diese Sedimente zu einem späteren Zeitpunkt wieder mobilisiert werden, kann dies zu negativen Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt des Ästuars führen.

➤ Boden

Die Bauweise kann zu ökologischen Beeinträchtigungen führen, indem anthropogene Böden und deren wenig entwickelte natürliche Bodenfunktionen mit einem zunehmenden Flächenanteil mehr Gewicht gegenüber den naturnahen Böden bekommen. Hydromorphologische Effekte können dabei sogar naturnahe Bodenbildungen gefährden.

➤ Landschaftsbild

Die Bauwerke stellen, insbesondere bei guter Sichtbarkeit, für das Landschaftsbild eine anthropogene Überprägung des betreffenden Flussabschnittes dar. Die mit einem Bauwerk verbundenen Beeinträchtigungen sind abhängig von der Größe des Bauwerkes sowie den im räumlichen Umfeld vorhandenen Vorbelastungen.

#### 4.1.2 Querbauwerke

➤ Boden, allgemeines zu Querbauwerken

Generelle Aussagen zu den Effekten der Baumaterialien und Bauweisen auf das Schutzgut Boden sind bereits unter Kapitel 4.1.1 dargestellt. Im Folgenden werden die Besonderheiten beschrieben, die sich durch Anlage von Querbauwerken als Bühnen oder Sohlschwellen für den Boden ergeben.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, allgemeines zu Querbauwerken  
Querbauwerke beeinflussen die Strömungs- und Transportprozesse im Ästuar. Durch den Bau von Buhnen entstehen Buhnenfelder, in denen im Hauptstrom mitgeführtes Material sedimentiert. Bezogen auf den Querschnitt werden damit in der Strommitte bzw. der Fahrrinne die Erosionstendenzen und in den Randbereichen die Sedimentationstendenzen erhöht. Somit entstehen durch die Bauwerke „Kompartimente“ im Ästuar, die Unterschiede bezüglich ihres Stoffhaushaltes aufweisen. Dabei betreffen die Unterschiede meist die quantitative Bedeutung einzelner Stoffumsetzungsprozesse. So fördert eine schnelle Zufuhr von organischem Material die heterotrophen Prozesse im Sediment und führt damit schneller und in ausgedehnteren Schichten zu anaeroben Bedingungen in diesen Sedimenten. Der Stoffhaushalt des Wasserkörpers wird dadurch beeinflusst, dass die Schwebstoffkonzentrationen tendenziell abnehmen und damit partikulär gebundene Stoffe der Wasserphase entzogen werden.

#### **4.1.2.1 Buhnen**

##### **4.1.2.1.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

###### **4.1.2.1.1.1 Allgemeine Wirkungen**

➤ Hydrologie und Morphologie

Die strombauliche Wirkung von Buhnen besteht - wie bereits in Kapitel 3.1.1 beschrieben - in der Bündelung des Hauptdurchflusses zur Strommitte hin. Die Wassertiefen nehmen zu. Durch den Bau von Buhnen kann durch die Erhöhung der Rauheit mit einem Anstieg des Wasserspiegels zu rechnen sein. Andererseits ist der Bau von Buhnen mit einer Eintiefung der Flusssohle verbunden (durch Zunahme der Erosion), was zu einer Abnahme der mittleren Wasserspiegellagen führen kann.

Unmittelbar im Bereich des Buhnenkopfes treten stärkere Wirbelbildungen. Innerhalb des Buhnenfeldes bildet sich die so genannte Buhnenfeldwalze aus. In der Hauptrinne nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zu, in den Buhnenfeldern verringern sich die Geschwindigkeiten.

Dies bewirkt, dass sich auch der natürliche Transportprozess in einem Ästuar durch den Bau von Buhnen verändert. Es entstehen sowohl Bereiche, in denen mitgeführtes Material akkumuliert wird (Buhnenfelder) als auch Abschnitte, in denen Erosionstendenzen vorherrschen (Fahrinne, Strommitte).

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Für die Wasserbeschaffenheit bzw. den Stoffhaushalt eines Ästuars sind neben den aufgrund der hydraulischen Bedingungen veränderten Wasseraufenthaltszeiten die in den Buhnenfeldern entstehenden Sedimente von Bedeutung. Dabei bestimmen die Form und Lage der Buhnen die Ausprägung des Sedimentationsprozesses in den Buhnenfeldern. Die Zusammensetzung der Schwebstoffe, insbesondere ihr Kohlenstoffgehalt und dessen Abbaugrad, sowie die herrschenden Sedimentationsraten bestimmen das chemisch-biologische Milieu der sich in den Buhnenfeldern bildenden Sedimente.

Sind die sedimentierenden Schwebstoffe feinputikulär und organikreich und treten zudem hohe Sedimentationsraten auf, kann es zur Ausbildung *anaerober* Schichten mit großer

Mächtigkeit kommen. Sandigere, wasserärmere und damit organikärmere Sedimente weisen demgegenüber dickere *aerobe* Schichten auf.

Die Lage der Bühnen im Längsprofil bestimmt maßgeblich das Schwebstoffdargebot (siehe oben). Die in den Bühnenfeldern entstehenden Sedimente können Senken und Quellen für verschiedene Stoffe, u. a. für die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff sein. Während Phosphor meist akkumuliert und gegebenenfalls über das Porenwasser zurück in das Freiwasser gelangt, kann Stickstoff in organikreichen Sedimenten als  $N_2O$  oder  $N_2$  über die Denitrifikation in die Atmosphäre entweichen.

Organische Kohlenstoffverbindungen werden mikrobiell in Gegenwart von Sauerstoff veratmet, wobei Kohlendioxid entsteht, welches im Porenwasser gelöst wird und so zurück ins Freiwasser gelangen kann. Unter anaeroben Bedingungen werden organische C-Verbindungen vergoren. In limnischen Sedimenten entsteht letztendlich aus den Kohlenstoffverbindungen Methan, welches bei Übersättigung des Porenwassers als gasförmiges Methan in die Atmosphäre gelangen kann. Das gebildete gelöste Methan wird in den *aeroben* Schichten der Sedimente oder im darüber stehenden sauerstoffhaltigen Wasserkörper durch Bakterien zu  $CO_2$  aufoxidiert.

Der Stoffaustausch zwischen Wasser und Sediment geschieht über die Sedimentoberfläche. Die Wassertiefe bzw. die sich aus den tidalen Wasserstandsänderungen ergebenden Expositionszeiten beeinflussen den Redox-Zustand der Sedimente. Der Eintrag atmosphärischen Sauerstoffs beim Trockenfallen der Wattsedimente trägt zur deren „Aufoxidierung“ bei.

Sedimente unterhalb MTnw (Flachwassersedimente) sind ständig überstaut, weisen aber meist aufgrund der stärkeren Strömungsexposition grobkörnigere und damit auch wenig organikreiche Sedimente auf. Dementsprechend ist die Sauerstoffzehrung dieser Sedimente in der Regel geringer.

Die entstehenden Sedimente sind zugleich Lebensraum für Tiere und Pflanzen, die im Sediment bzw. auf dem Sediment leben. Neben dem durch die mikrobiellen Biozöosen und das Phytobenthos bestimmten chemischen Milieu bilden beide Lebensgemeinschaften die Nahrungsgrundlage für höhere Tiere.

In Flussquerschnitten der Mittelelbe, also unter limnischen Bedingungen ohne Tideeinfluss, konnten für Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, Chlorophyll-a und Trübung tagesperiodisch variierende Unterschiede zwischen Bühnenfeldern und Hauptstrom aufgezeichnet werden (BFG 2004). In den Bühnenfeldern waren die Tagesschwankungen größer als in der Strommitte. Unterschiede zwischen Rand und Hauptstrom wurden bei den genannten Parametern vor allem durch die (gleiche) Einstrahlung auf unterschiedlich tiefe Gewässerbereiche verursacht. Für die Wassertemperatur gilt das direkt. Sauerstoffkonzentration und pH-Wert werden indirekt durch die lichtabhängige Photosynthese vor allem des Phytoplanktons am Tage erhöht bzw. durch Respiration aller aeroben Organismen im Freiwasser und am Gewässergrund in der Nacht vermindert. Im Bühnenfeld sind die Bedingungen für die Primärproduktion, verglichen mit dem Hauptstrom, bedeutend besser. Das Phytoplankton hält sich weitgehend in gut durchlichteten Tiefen auf und kann maximal produzieren (solange es keine Lichtthemung erfährt). Im tiefen Hauptstrom dagegen hält sich das Phytoplankton überwiegend im

aphotischen Bereich auf, in dem keine Photosynthese möglich ist. Entsprechend geringer ist der biogene O<sub>2</sub>-Eintrag durch das Hauptstrom-Phytoplankton.

#### ➤ Boden

Durch den Bau von Buhnen entstehen in ursprünglich aquatischen Bereichen mit subhydri-schen Böden (Gewässerböden) nun anthropogene Böden, vorwiegend im semisubhydri-schen und semiterrestrischen Milieu, die zunächst als Kultsole oder Anthrosole aus den zum Bau verwendeten Materialien zu bezeichnen sind. Einsetzende bodenbildende Prozesse, die vor-wiegend durch den bodenbildenden Faktor Wasser bzw. durch Sedimentations- und Erosions-prozesse gekennzeichnet sind, führen je nach Buhnenkonstruktion zu einer gewissen Weiter-entwicklung der Bauwerksböden. Hierbei können auch natürliche Bodenfunktionen entwick-elt werden.

Hydromorphologische Wirkungen des Buhnenbauwerkes führen zur Umgestaltung von Bö-den am Bauwerk oder in seinem Umfeld bzw. auch in anderen Abschnitten des Flussverlaufs. Der Wasserstandsanstieg bei einer Anströmung der Buhne führt zu lokalen und teilweise tem-porären Änderungen im Wasserhaushalt ufernaher Böden (Watten, Rohmarschen) und auch der Bauwerksböden selbst. Bei mehreren Buhnen können die Wasserstandsanstiege auch großräumiger wirksam werden und sowohl auf längeren Flussabschnitten als auch mehr ins Vorland hineinwirken. Wirkungen auf den Bodenwasserhaushalt sind dann ebenfalls groß-räumiger (Watten, Rohmarschen, Marschen) und können gegebenenfalls die Bodengene-se verändern.

Die Erosion von Bodenmaterial in der Strommitte wie auch durch Verwirbelungen am Buh-nenkopf bzw. Walzenbildung am Bauwerk selbst führt zur Bildung von suspendiertem Fein-material, was bei einer Strömungsberuhigung wieder sedimentieren kann. Ufernahe Böden können dadurch aufwachsen, bei größeren Überflutungsereignissen auch Marschen des Vor-landes. Lokal gesehen werden Sedimentationsbereiche in den Buhnenfeldern erzeugt, womit entsprechende Watten und bei weiterer Aufsedimentation und Bodenentwicklung Rohmar-schen, langfristig sogar Marschen entstehen können.

#### ➤ Vegetation

Die grundsätzlichen lokalen Auswirkungen von Buhnen und Buhnenfeldern auf die Vegetati-on lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Direkte Auswirkungen durch den Bau von Buhnen:  
Durch den Bau von Buhnen können Vegetationsbestände im Uferbereich überdeckt und damit zerstört werden. Neben dem direkten Flächenverlust können sich auch Strukturver-änderungen auswirken, beispielsweise bei der Unterbrechung linearer Vegetationsstruktu-ren am Ufer, wenn die Buhne an der Buhnenwurzel an Uferdeckwerke angebunden wird.
- Indirekte hydrologische Auswirkungen im Buhnenfeld:  
Durch den Bau von Buhnen entstehen im Buhnenfeld strömungsberuhigte Bereiche, in denen es zu einer verstärkten Sedimentation kommen kann. Außerdem kann eine Reduzie-rung der hydraulischen Belastung durch Schiffswellen bewirkt werden, so dass sich die Ufervegetation entwickeln oder ausbreiten kann.
- Indirekte morphologische Auswirkungen im Buhnenfeld:

Durch die Sedimentationsprozesse im Bühnenfeld kann die Entwicklung der Ufervegetation gefördert werden. Bei einer bereits vorhandenen Ufervegetation ist ein wasserseitiges Vorrücken der Vegetation zu erwarten. Ist das Ufer vegetationslos, so kann die Anlage von Bühnen dazu beitragen, dass überhaupt erst die Voraussetzungen für die Ansiedlung von Pflanzen (im limnischen Bereich hauptsächlich Röhrichte) geschaffen werden. Langfristig können sich bei andauernden Sedimentationsprozessen die Standortbedingungen für die Vegetation im Bühnenfeld ändern und möglicherweise Vegetationstypen tieferer Standorte durch Vegetationstypen höherer Standorte ersetzt werden (z. B. Ersatz von Salzteichsimsen-Röhricht durch Strandsimsen- oder Schilf-Röhricht).

➤ Fauna

Infolge der hydrologisch-morphologischen Prozesse an Bühnen und Bühnenfeldern erhöht sich lokal die Strukturvielfalt im Ästuar. An den Steinschüttungen entstehen strömungsarme und strömungsexponierte Bereiche. Im Bühnenfeld und den Bühnenrandbereichen ergeben sich aufgrund der hydrologischen und morphologischen Prozesse unterschiedliche Substratverhältnisse bzgl. der Korngrößen und der Lagestabilität. Entstehen strömungsberuhigte, von feinkörnigen Sedimenten dominierte Bereiche, kann sich dies positiv auf die Besiedlung durch Wirbellose auswirken, und möglicherweise profitieren einige Fischarten von neu entstehenden Aufenthaltsräumen für Jungfische.

Durch den Bau von Bühnen können wertvolle aquatische und terrestrische Lebensräume durch Überdeckung von Habitaten (z. B. Watt, Vegetation) verloren gehen. Neben dem Flächenverlust können sich auch veränderte Strukturen, wie z. B. die Unterbrechung linearer Pflanzenbestände am Ufer, möglicherweise nachteilig auf einige Arten auswirken (Barrierewirkung).

Infolge von Sedimentationsprozessen im Bühnenfeld geht aquatischer zugunsten von terrestrischem Lebensraum verloren. Dies wirkt sich generell nachteilig für Fische, Wirbellose und Nahrung suchende Vögel aus, während beispielsweise einige Vogelarten von sich ausdehnenden Röhrichtbeständen profitieren.

➤ Landschaftsbild:

Bühnen sind technische Bauwerke, und mit ihrem Bau verändern sie das Landschaftsbild eines bestimmten Uferabschnitts. Die Wirkungen der Bühnen wird dabei von der Sichtbarkeit bei den unterschiedlichen Tidewasserständen bestimmt, außerdem von ihrer Anzahl und vom jeweiligen räumlichen Umfeld, in dem sie errichtet werden. Dabei ist davon auszugehen, dass die Veränderungen des Landschaftsbildes geringer sind, wenn ein Neubau von Bühnen in einem Flussabschnitt stattfindet, in dem bereits Ufersicherungen vorhanden sind. Größere Auswirkungen sind zu erwarten, wenn dies in bisher weitgehend naturnahen Uferabschnitten erfolgt.

#### 4.1.2.1.1.2 Material und Bauweise

Hinsichtlich des Materials, das zum Bau von Bühnen verwendet wird, und der Bauweise gibt es für Hydrologie, Morphologie, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, Vegetation, Fauna und Landschaftsbild keine weiteren Ergänzungen im Vergleich zu den im Kapitel 4.1.1 gemachten Aussagen.

➤ Boden

Da im Ästuarbereich im Allgemeinen hauptsächlich großklassige Wasserbausteine zum Bühnenbau verwendet werden, ist eine Bodenentwicklung durch ein Verfüllen der Hohlräume mit sedimentiertem Feinmaterial nur schwer möglich. Dadurch können kaum natürliche Bodenfunktionen entwickelt werden. Ausgeschlossen ist dieser Prozess bei der üblichen Teil- oder Vollverklammerung der Bauwerke, wobei versiegelte Böden entstehen.

Großklassige Wasserbausteine erzeugen mehr Turbulenzen als kleinklassiges Baumaterial. Dadurch wird suspendiertes Feinmaterial in Schwebelage gehalten. Eine Sedimentation im Bauwerkskörper wird unterbunden, erst bei einer Strömungsberuhigung können die Schwebstoffe sedimentieren und gegebenenfalls ufernahe Böden in ihrer Genese beeinflussen (z. B. im Bühnenfeld).

Die bereits in Kapitel 4.1.1.1 dargelegten Wirkungen auf Böden und Bodenentwicklung durch die Wahl und Gestaltung des Bauwerkskörpers, der Kernfüllungen und Zwischenlagen sowie der Gründung und Fußsicherung gelten in gleicher Weise für die Bühnen. Da Bühnen im Ästuarbereich oftmals vollverklammert gebaut werden, steht der Bauwerkskörper für eine Bodenbildung bzw. für die Ausübung von Bodenfunktionen nicht zur Verfügung.

#### **4.1.2.1.1.3 Kronenhöhe und Höhenvarianz**

➤ Hydrologie

Bei einer variablen Kronenhöhe werden die unterhalb  $MT_{nw}$  liegenden Bereiche dauerhaft überströmt. Zwischen  $MT_{nw}$  und  $MThw$  gelegene Abschnitte werden zeitweise überströmt. Die oberhalb  $MThw$  gelegenen Abschnitte der Buhne werden angeströmt. Überströmte Bühnen bilden auf der im Strömungsschatten liegenden Seite eine liegende Walze (Wirbel) aus und sind somit in ihrem hydrodynamischen Verhalten um ein Vielfaches komplexer als angeströmte Bühnen, da sich die liegende Walze und die Bühnenfeldwalze gegenseitig beeinflussen. Ist die Kronenhöhe der Buhne variabel, so kann es neben der liegenden Walze auch zu zusätzlichen stehenden Wirbelbildungen kommen. Dieses komplexe Strömungsverhalten ist zu voll entwickeltem Flut- und Ebbestrom am größten, kann aber in seiner Größe nicht vorhergesagt werden, da es sehr stark von der Örtlichkeit und den dort vorherrschenden Strömungen abhängt. Ein Beispiel einer teilweise überströmten Buhne ist in Abbildung 4.1-6 zu sehen.



**Abbildung 4.1-6: Teilweise überströmte Buhne**

➤ Morphologie

Bei Überströmung wirkt das Bauwerk grundsätzlich anders, als wenn es nur umströmt wird. Zu Beginn der Überströmung kann eventuell dort abgelagertes Sediment erodieren. Bei einer überströmten Buhne kann sich über der leeseitigen Buhnenböschung wegen der sich stetig aufweitenden Querschnittsfläche und dem damit verbundenen Druckanstieg die Grenzschicht ablösen (SPANNRING 1999). Die Ausbildung von Wirbeln mit horizontaler Achse und die dadurch entstehenden Energieverluste sind von der Neigung der leeseitigen Buhnenböschung und der Überströmungshöhe abhängig. Das Auftreten von Wirbeln und Walzen kann zu Auskolkungen in diesem Bereich führen. Mit zunehmender Überströmungshöhe nimmt der Strömungswiderstand der Buhne immer mehr ab, der Effekt der Buhne wird geringer.

Eine Abstufung oder Abtreppung der Buhne führt bei Überströmung zu einer Änderung der Strömungsverhältnisse und beeinflusst damit auch die strombaulichen Funktionen. Es entstehen komplexe Wirbelgebiete und Ablösungszonen und eine weitere morphologische Umgestaltung der Buhnenoberfläche ist nicht auszuschließen.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Kronenhöhe und Höhenvarianz bestimmen zusammen mit der Länge und Form die Wirkung einer Buhne bzw. von Buhnenfeldern in Bezug auf ihre Eigenschaften, Schwebstoffe „einzufangen“ und festzulegen (siehe Kapitel 4.1.1.1 „Material“).

➤ Boden

Bei Kronenhöhen unter MThw entwickeln sich semiterrestrische und semisubhydrische Böden am Bauwerk. Bei Kronenhöhen über MThw können zusätzlich terrestrische Bodenfunktionen entwickelt werden, wenn je nach Art der verwendeten Baumaterialien eine Bodenentwicklung im Bauwerksboden ermöglicht wird. Gestufte Kronenhöhen im Bauwerk bedingen demzufolge eine Heterogenität in der Ausprägung der Bauwerksböden und ihrer Funktionen.

Bei Kronenhöhen über MThw wird das Bauwerk eher angeströmt, womit der wasserstandsanehebende Effekt mit einer lokalen Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes ufernaher Böden ausgeprägter ist als bei niedrigeren Kronenhöhen.

Kronenhöhen zwischen MTnw und MThw bedingen eine häufige Überströmung des Bauwerkes, womit eine Walzenbildung und Auskolkungen auf der Leeseite der Buhne zur Erosion von Bodenmaterial führen können, welches bei Sedimentation im semisubhydrischen und semiterrestrischen Milieu die Bodenbildung beeinflussen kann. Der gleiche Effekt kann bei variablen Kronenhöhen auftreten, bei denen zusätzliche Verwirbelungen entstehen, die suspendiertes Feinmaterial in Schwebelage halten.

➤ Vegetation

Eine Besiedlung von Buhnen durch Pflanzen ist dann prinzipiell möglich, wenn die Kronenhöhe der Buhne oberhalb von ca. MThw -1 m liegt (siehe Kapitel 4.1.1.2.1.1 „Kronenhöhe und Höhenvarianz“). Bauweisen mit variierenden Kronenhöhen, wie sie in Abbildung 3.1-8 dargestellt sind, können dazu beitragen, die Diversität der Vegetation zu erhöhen.

In Abbildung 3.1-7 ist eine typische Vegetationsbesiedlung einer Buhne im limnischen Bereich stromab von Geesthacht erkennbar. Die Pflanzenbesiedlung beschränkt sich in erster Linie auf die bei ca. MThw liegende Buhnenkrone, wobei die Deckungsgrade der Vegetation in Ufernähe tendenziell höher sind als in Richtung Buhnenkopf.

➤ Fauna

Bedeutend für die Unterschiede der in Abbildung 3.1-8 dargestellten Kronenhöhenvariationen von Buhnen auf die potenzielle aquatische Besiedlung ist prinzipiell die Höhe zur MThw-Linie. Der potenzielle Besiedlungsraum für die aquatische Fauna nimmt mit zunehmender Höhe über MThw ab. Im Vergleich wird daher eine Buhne mit einheitlicher Kronenhöhe über MThw insgesamt geringer besiedelt werden als eine Buhne mit unterschiedlichem bzw. mit abgestuftem Höhenniveau unter MThw. Infolge eines unterschiedlichen Höhenniveaus kann die Strukturvielfalt tendenziell erhöht werden. Zur Vertikalzonierung siehe auch Kapitel 4.1.1.2.1.1.

➤ Landschaftsbild

Die Wirkungen von Buhnen auf das Landschaftsbild sind umso größer, je höher die Buhnenkrone über KN endet. Mit den wechselnden Wasserständen verändert sich auch die Sichtbarkeit der Buhnen. Eine variierende Kronenhöhe kann dazu beitragen, dass die Buhne etwas weniger naturfern wirkt und in Teilen länger vom Wasser überdeckt wird als bei einer Regelausbauweise mit einer etwa einheitlichen Höhenlage.

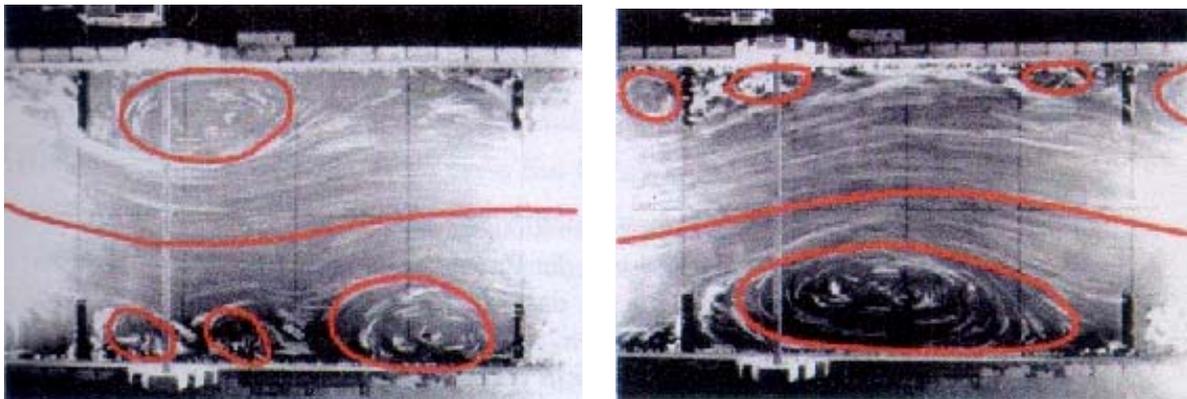
#### 4.1.2.1.1.4 Länge der Buhnen und Größe der Buhnenfelder

➤ Hydrologie

Je stärker die Einengung des Hauptstromes erfolgt, um so größer wird die Fließgeschwindigkeit im Hauptstrom. Die Wirkung auf Buhnenfelder wird nachfolgend in Zusammenhang mit der Morphologie beschrieben.

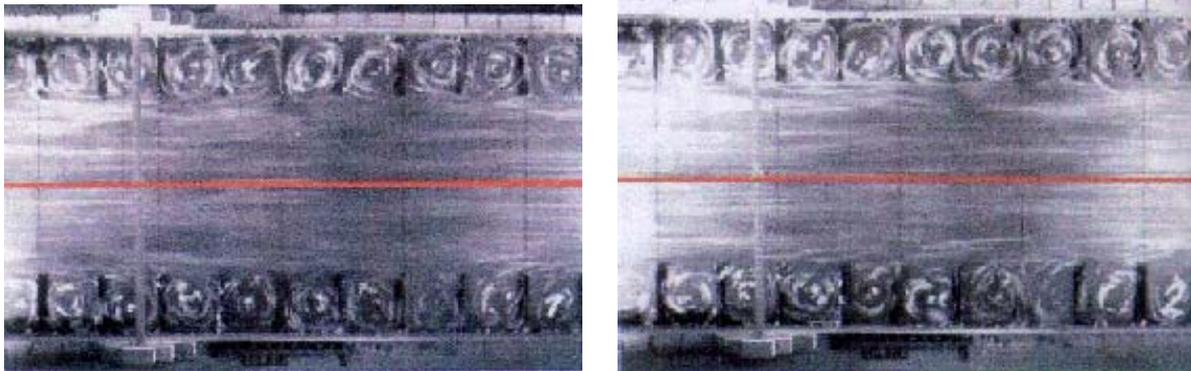
➤ Morphologie

Die Länge eines Buhnenfeldes im Verhältnis zur Buhnenlänge hat direkte Auswirkungen auf die Ausbildung von Wirbeln im betrachteten Buhnenfeld und auf die Lage des Strömungsstriches. Buhnenfelder, deren Länge deutlich mehr als das Dreifache der Buhnenlänge beträgt, verursachen den periodischen Aufbau und Zerfall von Wirbeln und Wirbelsystemen, der Stromstrich schwingt zeitabhängig um die Mittelachse. Für morphologische Prozesse sowohl in der Fahrrinne als auch in den Buhnenfeldern bedeutet dies, dass Bereiche, in denen Sedimentation bzw. Erosion stattfindet, nicht genau im Vorfeld zu bestimmen sind. Die nachfolgende Abbildung 4.1-7 verdeutlicht diese Zusammenhänge.



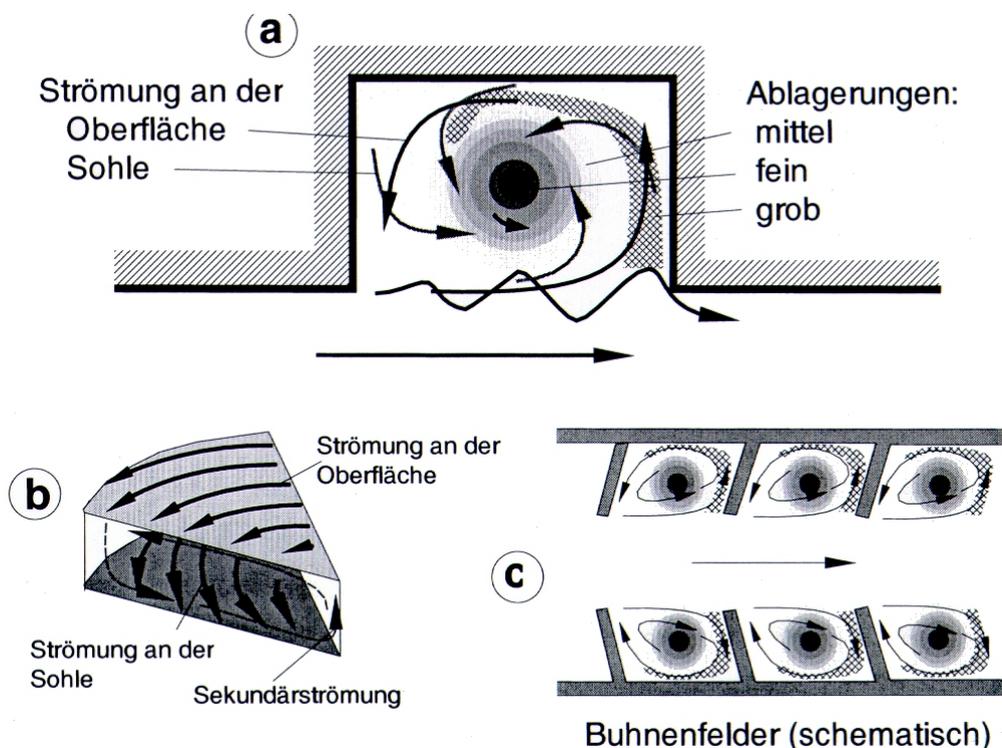
**Abbildung 4.1-7: Wirbelausbildungen im Modellversuch in Abhängigkeit von der Zeit visualisiert (rot); Schwingungen des Stromstrichs um die Mittelachse bei sehr groß gewählten Buhnenabständen (Quelle FELKEL 1975 in RITZERT 2001, Seite 16)**

Beim Bau von Buhnen mit einem Verhältnis der Längen zu den Abständen von 1 : 1 ergeben sich keine Instabilitäten des Stromstrichs, und jedes Buhnenfeld wird von einem stabilen Einzelwirbel beherrscht (RITZERT 2001). Dies zeigt die nachfolgende Abbildung 4.1-8.



**Abbildung 4.1-8:** Wirbelausbildung im Modellversuch in Abhängigkeit von der Zeit visualisiert; Bei Bühnenlängen zu Abstandsverhältnissen von 1:1 sind Wirbel und damit der Stromstrich vollkommen stabil (Quelle: FELKEL 1975 in RITZERT 2001, Seite 16).

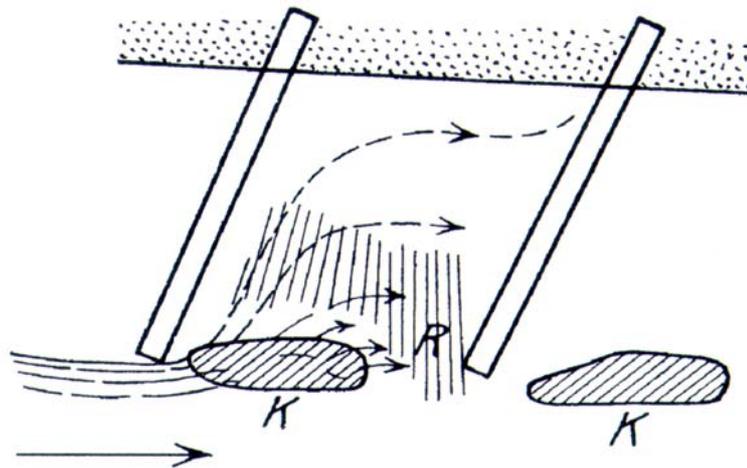
Aufgrund von Sekundärströmungen ist in diesem Fall mit einer hohen Sedimentationsrate im Zentrum des Wirbels, d. h. in der Mitte des Bühnenfeldes, zu rechnen (siehe Abbildung 4.1-9). Die an der Sohle nach innen gerichtete Sekundärströmung verschwenkt die Hauptströmung. Diese treibt gegebenenfalls Sedimente mit und bewirkt mit der Zeit Auflandungen, da durch den Wasseraustausch an der Grenze zum Hauptstrom ständig neue Sedimente in die Walze gelangen. Feinsedimente werden bis in das Zentrum der Walze getrieben, während Grobsedimente in der Außenzone liegen bleiben (ZANKE 2002).



**Abbildung 4.1-9:** Sekundärströmung und hiervon hervorgerufene Verlandungszonen in seitlichen Ausbuchtungen (schematisch, oben Hafenbecken, unten Bühnenfelder) (Quelle: ZANKE 2002, Seite 167).

Die Morphodynamik in einem Buhnenfeld ist sehr komplex. Je nach Bauweise, Sohlmaterial und Anströmung entstehen verschiedene Strömungsbereiche, welche die Sedimentation und Erosion beeinflussen. Bei Versuchen hat Engels (in: FRANZIUS 1927) unter anderem die Ablagerung von Material in Buhnenfeldern beobachtet. Im Anschluss an einen Kolk unmittelbar unterstrom eines Buhnenkopfes kann sich ein Anlandungsrücken bilden. Über diesen Rücken kann mitgeführtes Material in das Buhnenfeld gelangen und sich dort absetzen. Der Anlandungsrücken füllt allerdings nur einen Teil des Buhnenfeldes aus. Die nachfolgende Abbildung 4.1-10 verdeutlicht diese Zusammenhänge.

Große Mengen an Feinstmaterial können auch im Bereich der Buhnenwurzel und des Ufers sedimentieren, da dort die Strömungsgeschwindigkeiten besonders niedrig sind. In den meisten Buhnenfeldern kann eine Sedimentation vom Ufer her in Richtung der Stromrinne beobachtet werden, bei entsprechenden Strömungsverhältnissen können auf diese Weise große Teile des Buhnenfeldes zusedimentieren. Die Rauheitswirkung der einzelnen Buhnenfelder („Bremskammereffekt“) wird so vermindert, da sich die turbulenten Rückströmungen nicht mehr einstellen können. Die Wirkung eines vollständig verlandeten Buhnenfeldes gleicht somit der eines nicht hinterströmten Leitwerks. Es würde sich wegen der Verkleinerung der Rauheit die Geschwindigkeit erhöhen und der Wasserspiegel und somit die Tiefe des Fahrwassers würde absinken.



**Abbildung 4.1-10: Kolk- und Rückenbildung im Buhnenfeld (Quelle: FRANZIUS 1927 in SPANNRING 1999, Seite 11).**

➤ Boden

Je länger eine Buhne ist, desto größere hydromorphologische Auswirkungen sind zu erwarten. Das in Kapitel 4.1.1.1 beschriebene Ausmaß der bauwerksgebundenen lokalen Erosion und einer Erosion in der Flussrinne geht mit der Länge der Buhne einher, womit eine potenzielle Sedimentation in ufernahen Böden indirekt durch die Buhnenlänge beeinflusst wird.

Den Wasserstand anhebende Effekte sind bei längeren Buhnen größer als bei kurzen Buhnen, womit die Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes ufernaher Böden ebenfalls mit der Buhnenlänge korreliert.

Ist das Buhnenfeld genauso lang wie seine begrenzenden Buhnen, sind Erosions- und Sedimentationszonen im Buhnenfeld durch die Bildung eines stabilen Wirbels fest lokalisiert. Damit wird das Entstehen von Watten und Rohmarschen am Ufer des Buhnenfeldes sowie in der Buhnenfeldmitte gefördert. Ästuartypische natürliche Bodenfunktionen können sich hier entwickeln.

Langfristig führt eine fortschreitende Sedimentation vom Ufer in Richtung Streichlinie der Buhnen zur „Verfüllung“ der Buhnenfelder, womit sich eine neue Bodenfläche mit Watten, Rohmarschen, Marschen und entsprechenden typischen Bodenfunktionen für das System Unter- und Außenelbe etabliert. Das verlandete Buhnenfeld hat eine höhere strombündelnde Wirkung als die ursprünglichen Buhnen selbst, wodurch die Fahrrinnenerosion gefördert wird. Das vermehrt suspendierte Feinmaterial kann bei einer Sedimentation auf ufernahen Böden zu Auflandungen und zur Beeinflussung der Bodengenese führen.

Bei Verhältnissen der Buhnenfeldlänge zur Buhnenlänge von größer als drei sind die Wirbelsysteme im Buhnenfeld heterogen verteilt, damit auch die potenziellen Sedimentationszonen für nachfolgende Bodenentwicklungen. In solchen Buhnenfeldern entsteht ein Muster aus semiterrestrischen und semisubhydrischen Böden mit entsprechenden Bodenfunktionen. Die Bildung neuer zusammenhängender Bodenflächen bei einer kompletten Auffüllung der Buhnenfelder ist hier auch langfristig wenig wahrscheinlich.

#### ➤ Vegetation

Durch die Sedimentationsprozesse im Buhnenfeld kann die Entwicklung der Ufervegetation gefördert werden. Bei bereits bestehender Ufervegetation ist ein wasserseitiges Vorrücken der Vegetation zu erwarten. Ist das Ufer vegetationslos, so kann die Anlage von Buhnen dazu beitragen, dass überhaupt erst die Voraussetzungen für die Ansiedlung von Pflanzen (z. B. im limnischen Bereich hauptsächlich Röhrichte) geschaffen werden. Langfristig können sich bei andauernden Sedimentationsprozessen die Standortbedingungen für die Vegetation im Buhnenfeld ändern und möglicherweise Vegetationstypen tieferer Standorte durch Vegetationstypen höherer Standorte ersetzt werden (z. B. Ersatz von Salz-Teichsimen-Röhricht durch Strandsimsen- oder Schilf-Röhricht).

Das Verhältnis von Länge einer Buhne und Abstand zwischen zwei Buhnen wirkt sich vor allem indirekt als Folge der morphologischen Wirkungen auf die Vegetation aus. Bei einem Längen-/Abstandsverhältnis von 1 : 1 sind aufgrund der stärkeren Sedimentation relativ schnelle Vegetationsentwicklungen (Entwicklung oder Ausbreitung von Ufervegetation, siehe oben) im Buhnenfeld möglich. Bei einem größeren Abstand zwischen den Buhnen und den dadurch bedingten geringeren Sedimentationsraten ist tendenziell eher eine langsamere Vegetationsentwicklung im Buhnenfeld zu erwarten.

Durch den Bau von Buhnen kann es darüber hinaus zu einer Reduzierung der hydraulischen Belastung durch Schiffswellen im Uferbereich kommen, so dass dies ein weiterer Grund für eine verbesserte Entwicklungs- oder Ansiedlungsmöglichkeit der Ufervegetation ist.

Eine gegenteilige Wirkung auf die Vegetation kann - je nach Lage der Buhne - durch direkte baubedingte Auswirkungen eintreten, insbesondere durch die Überdeckung von Vegetationsbeständen im Uferbereich.

#### ➤ Fauna

Mit zunehmender Länge einer Buhne vergrößern sich die dargebotenen Lebensraumstrukturen (Strömungsdiversität, Morphodynamik, Substratheterogenität) für den jeweils betrachteten Raum mit der entsprechenden Wirkung auf die Artenvielfalt. Gleichzeitig werden mit zunehmender Größe auch die Beeinträchtigungen/Zerstörungen durch die Überdeckung bestehender und teilweise wertvoller aquatischer und terrestrischer Habitate (z. B. Watt, Vegetation) und damit die Beeinträchtigungen der Fauna selbst ausgeweitet.

Die Ausführungen im Abschnitt „Morphologie“ zeigen, dass das Verhältnis der Buhnenlänge zur Länge eines Buhnenfelds zur Ausbildung bestimmter Strömungen und Wirbel führt. Die sich dabei ergebende Sedimentzusammensetzung und -verteilung im Buhnenfeld wirkt sich wiederum auf die Faunenzusammensetzung aus. In strömungsberuhigten Bereichen, insbesondere im Bereich der Buhnenwurzel und dem Ufer, ist mit erhöhtem Feinkornanteil zu rechnen. Die hier anzutreffende Faunengemeinschaft wird anders zusammengesetzt sein als in den strömungsexponierten Bereichen mit lageinstabilen, gröberen Sedimenten.

Die Verlandungsprozesse im Buhnenfeld und die wasserseitige Ausbreitung der Uferlinie können zum Verlust von aquatischem zugunsten von terrestrischem Lebensraum führen. Dies wirkt sich generell nachteilig für Fische, Wirbellose und Nahrung suchende Vögel aus, während dagegen einige andere Vogelarten z. B. von sich ausdehnenden Röhrichtbeständen profitieren.

#### ➤ Landschaftsbild

Buhnen bewirken als technische Bauwerke eine Veränderung des Landschaftsbildes, die umso stärker wirkt, je mehr die Buhnen sichtbar sind. Dies hängt neben der Höhe auch von der Länge und der Anzahl der Buhnen ab. Die Auswirkungen längerer Buhnen auf das Landschaftsbild sind somit potenziell größer als die Auswirkungen kürzerer Buhnen. Die Veränderungen sind darüber hinaus umso größer, je naturnäher die Abschnitte sind, in denen Buhnen errichtet werden.

Größere Abstände zwischen Buhnen bewirken geringere Veränderungen des Landschaftsbildes als kleinere Abstände, da hieraus eine geringere Verbauung des betreffenden Flussabschnittes resultiert. Morphologische Prozesse, die zu Auflandungen in den Buhnenfeldern und nachfolgend zur Entstehung landschaftsbildtypischer Vegetationsabfolgen führen können, tragen in den Uferbereichen zwischen den Buhnen zu einer Bereicherung des Landschaftsbildes durch eine größere Naturnähe bei.

#### 4.1.2.1.1.5 Form

##### ➤ Hydrologie

In Küstengebieten mit Tideeinfluss werden Buhnen rechtwinklig zur Stromachse angelegt. Davon abweichende Formen, z. B. Buhnen mit variierenden Kronenhöhen, können die Strömungsvielfalt fördern, da unterschiedliche Buhnenbereiche bei unterschiedlichen Wasserständen überströmt werden oder sich Bereiche unterschiedlicher Strömungsgeschwindigkeiten einstellen können. Auch durch die Böschungsneigungen der Buhnen lassen sich unterschiedliche Wirkungen erzielen.

##### ➤ Morphologie

Werden Buhnen abweichend von der Regelbauweise z. B. mit einer Absenkung des Höhenniveaus („Durchbruch“) in Buhnenmitte ausgeführt, kommt es bei entsprechenden Wasserständen zu einer Durchströmung der Buhne. Erosionstendenzen in diesem Bereich können nicht ausgeschlossen werden.

##### ➤ Boden

Neben den üblicherweise im Ästuarbereich rechtwinklig zum Ufer angelegten Buhnen sind Variationen hinsichtlich der Form der Randlinie, Variationen der Böschungsneigung, Höhenvariationen im Längs- und Querschnitt sowie Formvariationen (z. B. Knickbuhnen) vorstellbar. Die wesentlichen Auswirkungen dieser variablen Bauparameter auf Böden und Bodenfunktionen sind in Kapitel 4.1.1.2 dargestellt und gelten auch für Buhnen.

Vor allem bei Formvariationen kommt es im Vergleich zur rechtwinklig angeordneten „Regelbuhne“ zu Änderungen im Strömungsverhalten und damit zu zusätzlichen Erosionsstellen und potenziellen Kolkbildungen. Eine Quantifizierung der Effekte ist bisher schwierig. Hier suspendiertes Bodenmaterial kann auf ufernahen Böden sedimentieren und dort die Bodenbildung beeinflussen. Die Entwicklung von Watten und Rohmarschen in den Buhnenfeldern wird bei Formvariationen anders ablaufen als dies für eine „Regelbuhne“ (siehe vorherigen Abschnitt „Länge der Buhnen und Größe der Buhnenfelder“) beschrieben wurde.

Variable Höhenprofile mit strukturierten Oberflächen erzeugen gegenüber einer „Regelbuhne“ eine größere Heterogenität der Bauwerksböden und ihrer Eigenschaften. Unterschiedliches Einwirken des bodenbildenden Faktors Wasser sowie unterschiedliche Bedingungen zur Sedimentation von Feinmaterial im Hohlraumssystem der Buhne bieten Potenzial zur Entwicklung von Ersatzfunktionen für natürliche Bodenfunktionen im Elbe-Ästuar. Gleiches gilt für Variationen in Böschungsneigungen, wobei flache Neigungen die Bildung naturnaher Watten am Bauwerksfuß fördern.

##### ➤ Vegetation

Die Auswirkungen verschiedener Buhnenformen auf die Vegetation des Elbe-Ästuars ist derzeit noch unklar. Gegebenenfalls können sich Folgewirkungen aus veränderten Strömungsgeschwindigkeiten oder Änderungen der Sedimentationsprozesse am Ufer ergeben.

##### ➤ Fauna

Indirekte Auswirkungen auf die Fauna ergeben sich aufgrund von hydrologisch-morphologischen Wirkungen. Beschreibung siehe Kapitel 4.1.1.2.1.2 „Form“.

➤ Landschaftsbild

Eine Buhne mit einer variablen Formgestaltung, z. B. mit unterschiedlichen Böschungsneigungen oder Höhen, wirkt weniger naturfern als eine Buhne mit einem durchgängig einheitlichen Regelprofil. Die erkennbaren Wirkungen nehmen mit jedoch zunehmender Entfernung von einem Betrachter ab.

#### 4.1.2.1.1.6 Anzahl der Buhnen bzw. Buhnenfelder

➤ Hydrologie und Morphologie, Vegetation, Fauna

Je mehr Buhnenfelder angeordnet sind, desto größer und stabiler ist der gewünschte strombauliche Effekt, z. B. die Konzentration der Fließgeschwindigkeit auf die Strommitte. Zusätzlich erfolgt jedoch auch eine Strömungsberuhigung der Randbereiche, und die für ein Ästuar typische Strömungsvielfalt nimmt zu. Die Stärke der Wirkung wird von der Anzahl der Buhnen nicht beeinflusst, jedoch wird die Wirkung mit zunehmender Buhnenzahl auf einen größeren Gewässerabschnitt ausgedehnt. Dies gilt auch für die für ein Buhnenfeld beschriebenen morphologischen Prozesse, die sich dann über einen größeren Bereich erstrecken und gleichermaßen für die Vegetation und die Fauna.

➤ Boden

Wie bereits dargestellt wurde, entwickelt sich in den Buhnenfeldern durch die Ausprägung der jeweiligen Strömungsverhältnisse ein Muster von semisubhydrischen und semiterrestrischen Bodenbildungen, die im Allgemeinen vor weiterer Erosion durch die Buhnen selbst geschützt sind (Ausnahmefall: Überströmung der Buhne) und welche je nach Buhnenfeldgröße langfristig zusammenhängende Bodenflächen mit ästuartypischen Bodenfunktionen entwickeln können. Die Strömungsberuhigung in den ufernahen Randbereichen wird bei einer höheren Anzahl von Buhnen manifestiert, womit dann die Bodengenese schneller voranschreiten kann.

➤ Landschaftsbild

Eine geringere Anzahl von Buhnen führt zu geringeren Veränderungen des Landschaftsbildes im betreffenden Flussabschnitt und ist somit günstiger zu beurteilen als eine größere Zahl von Buhnen.

#### 4.1.2.1.1.7 Lage im Längsprofil des Stroms

➤ Hydrologie und Morphologie, Vegetation, Fauna

Die hydraulische Wirkung von gleich großen Buhnen oder von Buhnenfeldern nimmt im Längsprofil des Stromes zu, je weiter stromauf die Buhnen angelegt werden (siehe Kapitel 4.1.1.2.1.5). Werden Buhnen im Bereich der Trübungszone angelegt, kann es zu einer erhöhten Verschlickung in den Buhnenfeldern kommen. Dann ist auch mit einer Verschiebung im Artenspektrum der charakteristisch anzutreffenden Benthosgemeinschaft zu rechnen (siehe auch Kapitel 4.1.1.2.1.5 und 4.2.1.2.1.6 „Bauweise, Lage im Längsprofil“). Für die Vegetation wird ebenfalls auf die Bedeutung des Salinitätsfaktors in diesen Kapiteln hingewiesen.

➤ Boden

Die Lage im Längsprofil der Elbe bestimmt, ob durch wasserstands- oder erosionsverändernde Wirkungen der Buhnen mit den dargestellten Effekten auf umgebende Böden salzige,

brackige oder süßwassergeprägte Böden betroffen sind. Die entsprechenden Wirkungen sind in Kapitel 4.1.1.2 dargestellt.

Sedimentationsprozesse in den Buhnenfeldern führen in und etwas oberhalb der Brackwasserzone zu einer Verschlickung durch hohes Sedimentationspotenzial von organischen und anorganischen Feinstmaterialien. Die Bodeneigenschaften der dortigen Watten und Rohmarschen sind anders ausgeprägt als in den Buhnenfeldern der marinen oder limnischen Flussabschnitte.

➤ **Landschaftsbild**

Die Auswirkungen von Buhnen gleicher Länge auf das Landschaftsbild sind bei einem geringen Gewässerquerschnitt potenziell größer. Da die Querschnittsbreite stromaufwärts abnimmt, nehmen die potenziellen Auswirkungen einer Buhne gleicher Länge stromaufwärts zu.

Während aufgrund der großen Gewässerbreiten im Mündungstrichter die Buhnen von einem Betrachter meist nur von der gleichen Uferseite aus gesehen werden können, sind in den engeren Gewässerquerschnitten die Strombauwerke von beiden Uferseiten aus deutlich wahrzunehmen. Die von einem Betrachter erkennbaren Veränderungen der Landschaft durch den Bau einer Buhne hängt auch davon ab, ob Uferbereiche überhaupt erschlossen sind. Die Erreichbarkeit der Uferbereiche, von denen aus die Buhnen eingesehen werden können, ist im Mündungsbereich mit oftmals breiten Vorländern wesentlich ungünstiger als in den stromaufgelegenen Bereichen.

Von einem relativ nahe am Ufer vorbeifahrenden Schiff aus lassen sich die Veränderungen durch den Bau von Buhnen gleichermaßen gut erkennen, unabhängig von der Lage im Längsprofil.

#### **4.1.2.1.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

➤ **Boden, allgemeines zu Buhnen, Bewertung**

*Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Mit der Herstellung des Bauwerkskörpers einer Buhne selbst werden keine natürlichen Bodenfunktionen erhalten oder entwickelt. Gleichwohl können sich langfristig bei nicht verklammerten Buhnen gewisse Ersatzfunktionen für natürliche Bodenfunktionen im Elbe-Ästuar einstellen. Variable Bauweisen können diesen Effekt stärken.

Natürliche Bodenfunktionen selbst werden durch die sich in Buhnenfeldern entwickelnden Watten und Rohmarschen übernommen. An dieser Stelle können somit im Vergleich zum aquatischen System vor Buhnenbau sowohl naturnahe und im süßwassergeprägten Bereich auch seltene Böden (z. B. Flusswatten) neu entwickelt werden. Einschränkungen der Bodenfunktionen können durch potenzielle stoffliche Belastungen sedimentierter Feinmaterialien entstehen.

*Zielzustand Schutzgut Boden*

Für den Zielzustand für das Schutzgut Boden gehen durch den Buhnenbau zunächst keine positiven Wirkungen aus. Die Bildung neuer Böden in Buhnenfeldern mit ästuartypischen Bodenfunktionen kann indirekt als Verbreiterung der Vordeichsländer angesehen werden, was dem Zielzustand entgegenkommt. Auch der „Schutz“ vor Erosion ufernaher natürlicher Bo

denbildungen durch Buhnen kann als Erhalt natürlicher Bodenentwicklungen verstanden werden. Gestaltungsoptionen am Bauwerk selbst können natürliche Bodenentwicklungen fördern.

Mit dem Buhnenbau bekommt das Bodenwert bestimmende Kriterium „Auftrag natürlicher“ bzw. „Auftrag technogener Substrate“ mehr Gewicht, wodurch der ökologische Bodenwert lokal gesehen abnehmen kann. Durch eine verklammerte Bauweise nimmt hierbei zusätzlich die Versiegelung (Bodenwert bestimmendes Kriterium) zu.

In Buhnenfeldern wird innerhalb des Bodenwert bestimmenden Kriteriums „Boden als Naturkörper“ das Unterkriterium „Naturnähe“ durch das Entstehen von Watten und Rohmarschen gefördert. Im süßwassergeprägten Bereich wird durch Entstehen von Flusswatten der Flächenanteil seltener Böden erhöht. Mögliche Belastungen geben hierbei dem Bodenwert bestimmenden Kriterium „Stoffgehalt“ mehr Gewicht. Besondere Standorteigenschaften werden unter Umständen in Buhnen mit hohen und/oder variablen Kronenhöhen entwickelt.

#### 4.1.2.1.2.1 Ökologische Verbesserungen

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Insgesamt werden durch den Bau von Buhnen Sedimentationsbereiche (= Buhnenfelder) im Ästuar geschaffen. Der Transport von partikulären Stoffen bzw. an Partikeln adsorbierten Stoffen in Richtung Nordsee wird dadurch verändert, wobei im Hauptstrom selbst größere Transportkapazitäten bewirkt werden. Der biologisch-chemische Zustand der sich in den Buhnenfeldern bildenden Sedimente ist stark beeinflusst durch die herrschende Nachlieferung (Sedimentationsrate) und den organischen Anteil der sedimentierenden Schwebstoffe. Generell gilt, dass grobkörnigere, organikarme Sedimente mit ausgedehnten aeroben Schichten nahe der Sedimentoberfläche dem Umweltziel entsprechen.

##### ➤ Boden

Der Bau von Buhnen bedingt durch die Bauwerke selbst keine ökologische Verbesserung im Unter- und Außenelberaum. Ein Ersatz für natürliche Bodenfunktionen kann durch die Wahl des Baumaterials und der Bauweise langfristig zur Verfügung gestellt werden. Die Entwicklung natürlicher semisubhydrischer und semiterrestrischer Böden in den Buhnenfeldern kann allerdings zu ökologischen Aufwertungen innerhalb der in den Vorländern vorkommenden Böden führen.

##### ➤ Vegetation

Durch die Anlage von Buhnen können unter bestimmten Bedingungen ökologische Verbesserungen für die Vegetation erzielt werden. Dies gilt insbesondere für naturferne Ufer und für Uferbereiche mit schmalen Deichvorländern, an denen sich durch die Anlage von Buhnen neue Standorte für die Ufervegetation entwickeln können. Außerdem kann die Anlage von Buhnen dazu beitragen, dass vorhandene naturnahe Vegetationsbestände vor Erosion geschützt werden.

##### ➤ Fauna

Durch das Einbringen von Hartsubstrat sowie aufgrund der hydrologisch-morphologischen Auswirkungen können Buhnen und Buhnenfelder zu einer Erhöhung der Strukturvielfalt im Tidegewässer beitragen. Durch die Diversifizierung der Lebensraumstrukturen wird vermut

lich die Artenvielfalt im Ästuar begünstigt. Im Wattenmeerbereich können sekundäre Hartsubstrate in begrenztem Maße als Ersatz- oder Refugialzone für einige Arten dienen (siehe auch Bewertung „Wasserbausteine“ in Kapitel 4.1.1.1.2).

Mit der Förderung naturnaher Vegetationsbestände werden faunistisch wertvolle Lebensraumstrukturen erweitert. Beispielsweise würden einige Vogelarten von einer Ausdehnung von Röhrichtbeständen profitieren.

➤ Landschaftsbild

In sehr stark anthropogen überprägten (verbauten) Uferabschnitten kann die Anlage von Bühnen durch Auflandungen und die Ausbildung landschaftsbildtypischer Vegetationsabfolgen in den Bühnenfeldern zu einer Verbesserung des Landschaftsbildes beitragen.

#### 4.1.2.1.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

In Bühnenfeldern gilt, dass Ablagerungen von feinkörnigen, organikreichen Sedimenten mit nur sehr geringmächtigen aeroben Schichten eine Belastungssituation für den Stoffhaushalt darstellen.

➤ Boden

Die Bauwerksböden erhöhen den Flächenanteil anthropogener Böden gegenüber naturnahen Böden, womit ökologische Beeinträchtigungen für das Schutzgut Boden einhergehen.

➤ Vegetation

Durch den Bau von Bühnen können Vegetationsbestände im Uferbereich überdeckt und damit zerstört werden. Der Grad der Beeinträchtigungen hängt dabei vom ökologischen Wert der betroffenen Vegetationstypen und der Flächengröße der überdeckten Vegetationsbestände ab. Neben dem direkten Flächenverlust können sich auch Strukturveränderungen auswirken, beispielsweise durch die Unterbrechung linearer Vegetationsstrukturen im Bereich der Bühnenwurzel. Dies kann zu nachteiligen Auswirkungen auf den Biotopverbund führen.

Langfristig sind auch durch die morphologischen Wirkungen von Bühnen Beeinträchtigungen der Vegetation nicht auszuschließen. So ist denkbar, dass durch Sedimentationsprozesse in den Bühnenfeldern ein Verlust tiefer liegender, häufiger überfluteter Vegetationstypen, z. B. des Salz-Teichsimsen-Röhrichts, eintreten kann.

➤ Fauna

Mit dem Bau von Bühnen können direkte Beeinträchtigungen für die Fauna infolge Habitatverlust, Überdeckung und Substratveränderungen auftreten sowie durch Artverschiebungen die ursprüngliche Lebensgemeinschaft nachteilig beeinflusst werden (siehe Kapitel 4.1.1.1.2.2). Infolge der morphologischen Prozesse in den Bühnenfeldern kann aquatischer Lebensraum verloren gehen. Dadurch ist mit Beeinträchtigungen für verschiedene Faunengruppen zu rechnen, indem beispielsweise Bereiche mit hoher Sekundärproduktion sowie Fisch-„Kinderstuben“ verloren gehen können.

#### ➤ Landschaftsbild

Buhnen sind technische Bauwerke und jeder Neubau einer Buhne führt zu einer weiteren anthropogenen Überprägung, d. h. Beeinträchtigung, des Landschaftsbildes. Zur Beurteilung des Ausmaßes der Beeinträchtigung ist jedoch das räumliche Umfeld bzw. der betreffende Flussabschnitt mit zu betrachten. Geringere Beeinträchtigungen auf das Landschaftsbild entstehen, wenn ein Neubau von Buhnen in einem Flussabschnitt stattfindet, in welchem bereits Ufersicherungen oder andere anthropogene Vorbelastungen vorhanden sind. Größere Auswirkungen sind bei der Neuanlage von Buhnen in bisher weitgehend unbeeinträchtigten Flussabschnitten zu erwarten.

### 4.1.2.2 Sohlschwellen

**In Bezug auf die nachfolgenden Ausführungen muss besonders darauf hingewiesen werden, dass die Hauptwirkungen von Sohlschwellen, die sich teilweise aktuell als Strombauwerke in der Planung befinden, vor allem in den großräumigen hydrologischen und morphologischen Wirkungen - und nachfolgend in den Wirkungen auf andere Schutzgüter - zu sehen sind. Die lokalen Wirkungen, z. B. die Besiedlung der Substratoberfläche, treten dagegen deutlich in den Hintergrund.**

#### 4.1.2.2.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten

##### 4.1.2.2.1.1 Allgemeine Wirkungen

#### ➤ Hydrologie und Morphologie

Eine Sohlschwelle dient zur Stabilisierung der Sohle und zur lokalen Erhöhung der Sohlrauheit. Sohlschwellen sind aber auch Hindernisse im Durchflussquerschnitt, die Wasserstände und Strömungen beeinflussen. Hydraulisch wirksame Sohlschwellen führen je nach ihrer Höhe zu einer Anhebung des Wasserstandes vor der Sohlschwelle (Luvseite). Durch den entstehenden Aufstau nehmen die Fließgeschwindigkeiten ab und es wird somit die Bildung von Sedimentationsbereichen begünstigt.

An der Leeseite entstehen Ablösungszonen, in welchen Material aufgewirbelt wird und es zu Auskolkungen kommen kann (JANSEN 1979).

Da sich im Tidegebiet die Anströmrichtung des Bauwerks mit den Tidephasen ändert, müssen für die Betrachtung der morphologischen Prozesse in der Umgebung der Sohlschwelle die charakteristischen Kennwerte von Ebbe- und Flutstrom berücksichtigt werden.

Da die Höhen für die Sohlschwellen bis maximal MT<sub>nw</sub> angegeben wurden, sind die Wirkungen für die Vegetation und auf das Landschaftsbild ohne Relevanz und werden nicht weiter betrachtet.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Sohlschwellen tragen zur Kompartimentierung des Gewässers bei. Sie können die Wasseraufenthaltszeiten sowie die Strömungs- und Sedimentationsbedingungen in bestimmten, meist ufernahen Bereichen des Gewässers verändern.

Führen ufernahe Sohlschwellen zu längeren Überstauungszeiten, sind positive Auswirkungen auf das Phytoplanktonwachstum aufgrund besserer Durchlichtungsverhältnisse zu erwarten. Dieses fördert die Nahrungsgrundlage des Zooplanktons und benthischer Makrozoen. Die durch Sohlschwellen veränderten hydraulischen Bedingungen haben auch wiederum Einfluss auf die Sedimentationsverhältnisse und die entstehenden Sedimente (siehe hierzu die Ausführungen zu Morphologie sowie Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt der Kapitel 4.1.2.1.1.1 „Allgemeine Wirkungen“ und 4.1.2.1.1.4 „Länge der Buhnen und Größe der Buhnenfelder“).

➤ Boden

Da Sohlschwellen selbst deutlich unter MTnw liegen, sind die Bauwerke selbst nicht innerhalb des Geltungsbereiches für das Schutzgut Boden zu betrachten. Hydromorphologische Effekte der Sohlschwellen können jedoch zu Auswirkungen auf semisubhydrische und semiterrestrische Böden im Umfeld des Bauwerkes oder anderenorts führen. Solche Auswirkungen werden hier beschrieben.

Wasserstandserhöhungen vor und hinter den Sohlschwellen führen bei einem Einbau in Nebenrinnen oder -elben zur Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes ufernaher Böden. Je nach Ausmaß des Änderungsbetrages kann die Genese solcher Böden leicht verschoben und Bodenfunktionen können verändert werden. Eine größere Anzahl zusammenhängender Sohlschwellen kann zu großräumiger wirksam werdenden Wasserstandsanhörungen führen, die entsprechend mehr ufernahe Böden der Elbvorländer in ihrem Wasserhaushalt beeinflussen können.

Eine Drosselung der Strömung durch Sohlschwellen führt zu einer Begünstigung der Sedimentation von Schwebstoffen in den Seitenbereichen, damit auch in Uferbereichen im Umfeld der Sohlschwellen. Dortige Watten und/oder Rohmarschen können aufwachsen, womit ihre Weiterentwicklung gefördert wird. Die Bodenfunktionen und der Wasserhaushalt verändern sich dementsprechend. Werden Sohlschwellen im brackigen Bereich oder leicht stromauf angelegt, sind die dargestellten Effekte noch ausgeprägter, da im mesohalinen Milieu der Sedimentationsprozess erleichtert wird. Eine Uferverschlickung mit entsprechender Veränderung der Eigenschaften von Brackwatten und/oder Brackrohmarschen kann die Folge sein.

➤ Fauna

Durch die hydrologisch-morphologischen Prozesse kommt es lokal zu Sedimentveränderungen und veränderten Strömungsgeschwindigkeiten. Lokale Veränderungen der Substrateigenschaften haben Verschiebungen im Artenspektrum zur Folge. Je nach Art sind positive oder negative Auswirkungen zu erwarten. Hartsubstratbesiedler profitieren von dem eingebrachten Hartsubstrat, während durch die veränderte Benthosbesiedlung ein verringertes Nahrungsangebot für Fische nicht ausgeschlossen werden kann. Langfristig wird vermutlich infolge von Sedimentation die Hartsubstratoberfläche überdeckt, wodurch sich die Besiedlung wieder ändern wird (siehe auch Kapitel 4.1.1.1.1.1).

Je nach Lage und Dimension einer Sohlschwelle können lokale Veränderungen der Tidekennwerte sowie der Strömungsgeschwindigkeiten Sedimentations- und Erosionsprozesse auslösen, die lokal möglicherweise zu flächenmäßigen Verschiebungen von Biotoptypen wie z. B. Watt und Flachwasser führen. Artsspezifisch sind demnach positive oder negative Konsequenzen zu erwarten. Mögliche verlängerte Überstauungszeiten und damit eine erhöhte

Primärproduktion werden sich aufgrund der zu erwartenden positiven Entwicklung von Nährstoffen förderlich für die Fauna auswirken.

#### **4.1.2.2.1.2 Material und Bauweise**

➤ Hydrologie, Morphologie, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Hinsichtlich des Materials, das zum Bau von Sohlschwellen verwendet wird, und der Bauweise gibt es für die Hydrologie, Morphologie sowie für Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt keine weiteren Differenzierungen im Vergleich zu den in den Kapiteln 4.1.1 „Allgemeine Beschreibung“ bzw. 4.1.2.1 „Buhnen“ getroffenen Aussagen.

➤ Fauna

Zu den Auswirkungen unterschiedlicher Materialien auf die Besiedlung wird auf Kapitel 4.1.1.1.1.1 „Bauwerkskörper“ verwiesen. Geotextile Behälter für den Bau einer Sohlschwelle stellen zwar eine dem Hartsubstrat ähnliche Struktur dar, aufgrund eines fehlenden Lückensystems wird jedoch vermutlich im Vergleich zu Wasserbausteinen eine andere und reduziertere Besiedlung anzutreffen sein.

#### **4.1.2.2.1.3 Kronenhöhe und Höhenvarianz**

➤ Hydrologie

Mit steigender Kronenhöhe einer hydraulisch wirksamen Sohlschwelle nimmt auch der Strömungswiderstand zu und die Ablenkung der Strömung wird größer, so dass die damit verbundenen Wirbelbildungen vor und hinter dem Bauwerk ebenfalls entsprechend größer werden. Bauwerksnah wird die Strömungsgeschwindigkeit vor und hinter dem Bauwerk abnehmen, über der Krone zunehmen.

Sohlschwellen mit trapezförmigem Einschnitt und variabler Höhenlage sind bei der Überströmung ungleich komplexer als solche mit einheitlicher Höhenlage. Die Variabilität in der Höhe und der trapezförmige Einschnitt erlauben dagegen eine gezielte Konzentration der Strömung in diesem Bereich. Diese wird aber zusätzlich durch Wirbelbildungen beeinflusst, welche durch die seitliche Ablenkung aufgrund der geneigten Trapezböschungen entstehen. Durch die Ausbildung flacherer Böschungen kann eine solche Wirbelbildung reduziert werden.

➤ Morphologie

Siehe Kapitel 4.1.2.1.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Kronenhöhe der Sohlschwellen dürfte in Zusammenhang mit den lokalen Tideverhältnissen (Asymmetrie der Tide) und der Lage im Längsprofil von Bedeutung sein. Ferner ist das unterschiedliche Schwebstoffdargebot entlang des Längsprofils des Elbe-Ästuars für die Sedimentationsvorgänge (hinter den Sohlschwellen in den ufernahen Bereichen) von Bedeutung.

➤ Fauna

Die mit zunehmender Kronenhöhe verringerten Strömungsgeschwindigkeiten über dem Bauwerk können bauwerksnah zu Substratveränderungen sowie - je nach Lage und Dimension -

möglicherweise zu Sedimentations- und Erosionsprozessen und somit zu Flächenverschiebungen von Biotoptypen führen. Artspezifisch ist daher mit positiven oder negativen Auswirkungen zu rechnen.

#### 4.1.2.2.1.4 Lage im Längsprofil des Stroms

➤ Hydrologie, Morphologie, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, Fauna

Für die Lage im Längsprofil gelten für Sohlschwellen die gleichen Aussagen zur Hydrologie, Morphologie, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt sowie zur Fauna wie sie bereits in den Kapiteln 4.1.1 „Allgemeine Beschreibung“ bzw. 4.1.2.1 „Buhnen“ getroffen wurden.

#### 4.1.2.2.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, allgemeines zu Sohlschwellen, Bewertung  
*Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Die durch Sohlschwellen bewirkte Kompartimentierung erhöht die Vielfalt der Strukturen im Ästuar. Werden durch den Bau von Sohlschwellen Sedimentationsbereiche geschaffen, gilt die im Kapitel 4.1.2.1.2 gegebene Einschätzung, dass grobkörnigere, organikarme Sedimente mit ausgedehnten aeroben Schichten nahe der Sedimentoberfläche dem Umweltziel entsprechen, während feinkörnige, organikreiche Sedimente mit aeroben Schichten von nur geringer Ausdehnung eine Belastungssituation für den Stoffhaushalt darstellen.

➤ Boden, allgemeines zu Sohlschwellen, Bewertung

*Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Sohlschwellen selbst leisten keinen nennenswerten Beitrag zum schutzgutbezogenen Umweltziel. Durch ihre hydromorphologischen Wirkungen können gleichwohl natürliche Bodenfunktionen in ufernahen Böden zusätzlich entwickelt werden, indem naturnahe Watten und Rohmarschen durch Sedimentation entstehen. Ist angelandetes Feinmaterial mit Schadstoffen belastet, können natürliche Bodenfunktionen eingeschränkt sein. Den Wasserstand anhebende Wirkungen begünstigen einen ästuartypischen Bodenwasserhaushalt mit entsprechenden Bodenfunktionen.

*Zielzustand Schutzgut Boden*

Ufernahe Anlandungen als Folge von Sohlschwellen können indirekt als Vergrößerung der Vordeichsländer angesehen werden und tragen somit zum Zielzustand für das Schutzgut Boden bei. Weitere Wirkungen für den Zielzustand sind nicht zu verzeichnen.

Das Kriterium „Boden als Naturkörper“ bekommt mit der Bildung naturnaher Böden im Ufertrandbereich mehr Gewicht. Im süßwassergeprägten Bereich werden zusätzlich seltene Böden (Flusswatten) geschaffen. Bei potenziellen stofflichen Belastungen sedimentierten Bodenmaterials wird das bodenwert bestimmende Kriterium Stoffgehalt beansprucht.

➤ Fauna

Neben dem direkten Eingriff (siehe auch Kapitel 4.1.1) können je nach Lage, lokalen Gegebenheiten und Dimension der Sohlschwelle die Auswirkungen auf die Fauna sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Aus faunistischer Sicht ist eine allgemeine Bewertung der oben genannten Parameter daher nicht möglich und nachfolgend sind nur Beispiele genannt.

#### **4.1.2.2.1 Ökologische Verbesserungen**

##### ➤ Boden

Die potenzielle Bildung von naturnahen Watten und Rohmarschen durch eine Förderung der Strömungsberuhigung in ufernahen Randbereichen von Nebenrinnen und -elben ist als ökologische Verbesserung zu werten. Ebenso können den Wasserstand anhebende Wirkungen aus bodenfunktionaler Sicht positiv zu wertende ästuartypische Wasserhaushaltsverhältnisse zur Folge haben.

##### ➤ Fauna

Ökologische Verbesserungen für die Fauna können sich durch den Einbau von Sohl-schwellen - beispielsweise in tiefen Nebenrinnen - ergeben, wenn dadurch strömungsberuhigte Flachwasserbereiche geschaffen werden.

#### **4.1.2.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen**

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

In Bereichen, in denen die Durchströmung von Nebenrinnen durch den Einbau von Sohl-schwellen gemindert wird, kann eine verstärkte Sedimentation bewirkt werden. Damit können auch bauwerksnahe Flachwasserbereiche verloren gehen und der Sauerstoffhaushalt kann negativ beeinflusst werden.

##### ➤ Boden

Ökologische Beeinträchtigungen können nicht gesehen werden.

##### ➤ Fauna

Auf den betroffenen Flächen ist mit den gleichen Auswirkungen zu rechnen, wie dies bereits in Kapitel 4.1.1 beschrieben wurde, d. h. mit Verlust bzw. Dezimierung durch Überschüttung, Vertreibung, reduziertes Nahrungsangebot. Artspezifisch ist mit Beeinträchtigungen zu rechnen, wenn es zu Flächenverlusten faunistisch wertvoller Biotoptypen kommt.

### **4.1.3 Längsbauwerke (Leitwerke)**

#### **4.1.3.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

##### **4.1.3.1.1 Allgemeine Wirkungen**

##### ➤ Hydrologie und Morphologie

Leitwerke werden ebenso wie Buhnen zur Strömungsbündelung durch Einschnürung des abflusswirksamen Querschnitts gebaut. Der durchflossene Querschnitt und der dazugehörige Durchfluss wird aufgeteilt. Es entsteht eine Haupt- und eine Nebenrinne. Dadurch wird auch die Strömung ruhiger, gelenkt und gebündelt, so dass in der Hauptrinne eine größere Fließgeschwindigkeit herrscht als in der Nebenrinne. Somit können strömungsberuhigte Zonen entstehen.

Unter gleichen Umständen (gleiches Gefälle, gleiches Wasservolumen) wird durch die Anlage eines randlichen Leitwerkes eine niedrigere Rauheit erzielt als bei Buhnen, da bei diesen die Buhnenfelder als Bremskammern wirken (siehe Kapitel 4.1.2.1). Daher wird bei Leitwerken im Vergleich zu Buhnen der Wasserspiegel insgesamt niedriger verlaufen - wobei größere

Änderungen der Wasserstände allerdings nicht zu erwarten sind - und sich eine höhere mittlere Gesamtgeschwindigkeit und somit eine höhere Transportkapazität in der Fahrrinne ergeben (RITZERT 2001). Da bei Leitwerken bis zur Überströmung Querströmungen vermieden werden können und da die Strömung vergleichmäßigt wird, kann die Fahrrinne in der Regel näher an das Bauwerk herangeführt werden als bei Buhnen (BMV 1997).

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Leitwerke können durch die Aufteilung des Durchflusses in eine Haupt- und eine Nebenrinne zur Kompartimentierung des Gewässers beitragen. Damit wird eine größere Vielfalt der Strömungs- und Sedimentationsverhältnisse im Gewässer bewirkt. Dabei gelten für die Sedimentbildung in der Nebenrinne die für Buhnen in Kapitel 4.1.2.1.1.1 „Allgemeine Wirkungen“ getroffenen Aussagen.

➤ Boden

Die Auswirkungen der Baumaterialien und Bauweisen auf das Schutzgut Boden entsprechen den bereits in Kapitel 4.1.1.1 beschriebenen allgemeinen Wirkungen. Auf Längsbauwerke übertragbare Aussagen finden sich auch in der Beschreibung bodenbezogener Effekte der Querbauwerke in Kapitel 4.1.2, insbesondere in der Darstellung der Buhnen. Nachfolgend werden deshalb diejenigen Wirkungen auf das Schutzgut Boden hervorgehoben, die sich speziell durch die Anlage von Leitwerken ergeben.

Durch den Bau von Leitwerken entstehen im rein aquatischen Milieu neue anthropogene semisubhydrische bis - unter Umständen - terrestrische Böden, die sich gegebenenfalls durch das Einwirken bodenbildender Prozesse weiterentwickeln können. Verklammerungen unterbinden dabei eine mögliche Entwicklung natürlicher Bodenfunktionen.

Die hydromorphologischen Effekte von Leitwerken mit der Teilung des Flusses in eine Haupt- und eine Nebenrinne fördern - bei günstigen Bedingungen zur Sedimentation von Schwebstoffen - in den Nebenrinnen die Bildung von Watten und Rohmarschen in den ufernahen Seitenräumen. Bei einer weiteren Verlandung kann die Bodengenese zu Marschen fortschreiten. Eine verstärkte Erosionskraft des Flusses in der Hauptrinne hingegen - mit einer möglichen Erosion von Sedimenten und dem Weitertransport suspendierten Feinmaterials - kann bei einer Sedimentation dieser Schwebstoffe aufgrund einer Strömungsberuhigung in anderen Flussabschnitten dortige ufernahe Bodenbildungen durch Auflandung beeinflussen und deren Funktionen verändern.

Lokale Effekte auf den Bodenwasserhaushalt ufernaher Böden sind nicht zu erwarten, da mit den Leitwerken keine wasserstandsverändernden Wirkungen verbunden sind.

➤ Vegetation

Im Gegensatz zu Buhnen ist bei Leitwerken davon auszugehen, dass sie aufgrund des Strömungsangriffs in der Regel nicht mit höheren Pflanzen besiedelt werden können. Durch die uferparallele Ausrichtung wird es im Normalfall auch nicht zu einer Überdeckung von Vegetationsbeständen beim Bau von Leitwerken kommen.

Daher beschränken sich die Auswirkungen von Leitwerken auf die Vegetation im Wesentlichen auf Folgewirkungen der hervorgerufenen hydrologischen und morphologischen Wirkungen. Bei ufernah angelegten Leitwerken ist eine Reduzierung der hydraulischen Belastung durch Wellenschlag zu erwarten, was zu einer Ausbreitung der Ufervegetation (z. B. von Schilfbeständen, die auf Wellenschlag empfindlich reagieren) führen kann.

Sofern es durch den Bau eines Leitwerks zu vermehrter Sedimentation am Ufer kommt, sind ähnliche Wirkungen wie in Bühnenfeldern möglich, z. B. die wasserseitige Ausbreitung oder Entwicklung der Ufervegetation.

➤ Fauna

Die unter 4.1.1 beschriebenen Wirkungen zu Materialien und Bauweise von linienhaften Strombauwerken auf die ästuarine Fauna gelten auch für Längsbauwerke. Wenn es ähnlich wie bei den Bühnen aufgrund der hydrologisch-morphologischen Veränderungen zur Erhöhung der Strukturvielfalt des aquatischen Lebensraumes kommt, ist auch mit vergleichbaren Wirkungen für die Fauna zu rechnen (siehe Kapitel 4.1.2). Durch Leitwerke können vor Schiffswellen geschützte Uferbereiche mit Röhrichtbeständen sowie möglicherweise durch Strömungsberuhigung und Sedimentation faunistisch wertvolle Flachwasser- und Wattbereiche entstehen. Allerdings können sich je nach Bauweise, Lage, Form und lokalen Gegebenheiten die Strömungsgeschwindigkeiten in der Nebenrinne auch erhöhen und zu einer Eintiefung führen. Hierdurch können, aufgrund von nachteiligen Veränderungen der Lebensraumstruktur, Beeinträchtigungen einiger Arten nicht ausgeschlossen werden.

➤ Landschaftsbild

Ähnlich wie Bühnen stellen auch Leitwerke eine weitere anthropogene Überprägung, d. h. eine Beeinträchtigung für den betreffenden Flussabschnitt dar, besonders wenn dieser von einer hohen Naturnähe ist. Die Teilung des Gewässerquerschnitts in eine Haupt- und eine Nebenrinne trägt zwar zu einer geringfügig größeren Strukturvielfalt bei, jedoch mit naturfernen Landschaftselementen.

#### **4.1.3.1.2 Material und Bauweise**

Für Leitwerke gelten in Bezug auf das Material und die Bauweise die bereits in den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 für die jeweiligen Schutzgüter beschriebenen Aussagen.

#### **4.1.3.1.3 Kronenhöhe und Höhenvarianz**

➤ Hydrologie

Aufgrund der durch ein Leitwerk bewirkten Trennung in eine Haupt- und eine Nebenrinne treten in Abhängigkeit von der Kronenhöhe unterschiedliche Querströmungen zwischen Haupt- und Nebenrinne auf. Leitwerke mit einer Kronenhöhe über MThw bewirken bei normalen Tidewasserständen eine ständige Trennung von Haupt- und Nebenstrom. Leitwerke mit einer zwischen MThw und MTnw gelegenen Kronenhöhe sind zeitweise, Leitwerke mit einer Kronenhöhe unterhalb MTnw sind permanent überströmt. Bei den beiden letztgenannten Varianten findet demzufolge eine zeitweise bzw. permanente Querströmung zwischen der Haupt- und der Nebenrinne statt. Mit zunehmender Höhe des Leitwerkes nehmen Querströmungen und Verwirbelungen ab.

➤ Morphologie

Bei einer Überströmung kommt es zur Ausbildung von Querströmungen und Material wird auch über die Bauwerkskrone hinweg transportiert. Durch die auftretenden Querströmungen kann es zu Strömungsablösungen an der Bauwerkskrone kommen, und durch die entstehenden Wirbel werden Auskolkungen seitlich am Bauwerksfuß begünstigt.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe Kapitel 4.1.1.1 „Material“.

➤ Boden

Die Wirkungen verschiedener Kronenhöhen auf Boden und Bodenentwicklung sind in den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 dargestellt. Da aufgrund der üblicherweise verwendeten großklassigen Wasserbausteinen die Möglichkeit zur Bodenentwicklung in Leitwerken eher gering ist, sind die dargestellten Effekte in ihrer Wirkung wesentlich geringer bzw. ganz zu vernachlässigen. Zudem sind durch die Lage der Leitwerke in Strommitte oder zur Strommitte hin mit allgemein höheren Wassertiefen und Strömungen Bodenentwicklungsmöglichkeiten in semi-subhydrischen oder semiterrestrischen Randbereichen des Bauwerkes erschwert.

Bei Kronenhöhen oberhalb MThw sind die hydromorphologischen Wirkungen des Bauwerkes eindeutiger als bei geringeren Kronenhöhen mit wechselnden Überströmungsverhältnissen. Dadurch stabilisieren sich die beschriebenen lokalen Effekte auf Bodenbildungen in ufernahen Bereichen der Nebenrinnen.

Kronenhöhen unterhalb MTnw bedingen bei permanenter Überströmung durch die Ausbildung von Querströmungen zwischen Haupt- und Nebenrinne Verwirbelungen und Kolkbildungen am Bauwerksfuß, wodurch die Erosion und Suspension von Feinmaterial am Bauwerk gefördert wird. Diese Schwebstoffe beeinflussen bei einer Sedimentation auf ufernahen Böden deren Entwicklung, z. B. in Seitenräumen der Nebenrinne. Durch Querströmungen können in den Nebenrinnen jedoch auch erosive Kräfte wirksam werden, wobei unter Umständen ufernahe Watten oder Rohmarschen angegriffen werden oder gar verloren gehen.

Bei variablen Kronenhöhen ist das Muster der Strömungsverhältnisse in Abhängigkeit vom Wasserstand im Tidezyklus noch heterogener. Dies führt zu ebenso heterogener Ausbildung von Verwirbelungen und Querströmungen mit kleinräumigem Wechsel von Erosion und Sedimentation von Bodenmaterial am Bauwerk und in Seitenräumen der Nebenrinnen mit möglichen Auflandungen.

➤ Vegetation

Eine Besiedlung von Leitwerken mit höheren Pflanzen ist - unabhängig von der jeweiligen Kronenhöhe - insbesondere aufgrund des stärkeren Strömungsangriffs nicht zu erwarten. Mögliche Wirkungen der Kronenhöhe auf die Vegetation beschränken sich daher auf Veränderungen der Standortbedingungen am Ufer, beispielsweise durch Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten, des Wellenschlags oder durch Änderungen von Erosions- oder Sedimentationsprozessen. Diese Wirkungen sind jedoch nur bei Leitwerken zu erwarten, die in geringer Entfernung zum Ufer gebaut werden.

➤ Fauna

Zur Vertikalzonierung siehe Kapitel 4.1.1.2.1.1.

➤ Landschaftsbild

Auch für Leitwerke gilt, dass die lokalen Auswirkungen auf das Landschaftsbild umso größer sind, je besser das Leitwerk sichtbar ist bzw. je höher das Leitwerk über KN liegt. Hinsichtlich der Wirkungen auf das Landschaftsbild sollten Leitwerke also mit möglichst geringer Höhe angelegt werden. Leitwerke mit einem im Längsprofil variierendem Höhenniveau wirken weniger naturfern wie Leitwerke mit einem Regelprofil und sind deshalb zu bevorzugen.

#### 4.1.3.1.4 Form

➤ Hydrologie

Zur Form siehe Kapitel 4.1.1.2.1.2.

➤ Morphologie

Ein teilweise abgesenktes bzw. „unterbrochenes“ Leitwerk ermöglicht den Austausch von Wasser und Feststoff zwischen Hauptstrom und dem durch das Bauwerk abgetrennten Bereich. Das kann örtlich zu Auflandung oder Erosion führen.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Länge der Leitwerke ist in Relation zu den Tiefen- und Strömungsverhältnissen von Hauptstrom zu Nebenrinne im Ästuar zu betrachten. Dabei wird mit zunehmender Länge des Leitwerkes eine verstärkte „Eigenständigkeit“ des Wasserkörpers der Nebenrinne bewirkt. Sind zusätzlich noch unterschiedliche Tiefenverhältnisse von Hauptstrom zu Nebenrinne gegeben, sind in einer flacheren Nebenrinne günstigere Sauerstoffverhältnisse aufgrund des besseren biogenen und atmosphärischen Sauerstoffeintrags zu erwarten.

Aufgrund der Form der Bauwerke können durch Umströmungen örtlich Barrenbildungen bzw. Auflandungen hervorgerufen werden. Dadurch würde die Durchströmung behindert und der Auflandungsprozess in der Nebenrinne beschleunigt. Letzteres führt zu einem Rückgang von gut mit Sauerstoff versorgten Flachwasserbereichen.

In Bereichen, in denen das Leitwerk abgesenkt und so ein Austausch von Wasser und Feststoffen zwischen dem Hauptstrom und den durch das Bauwerk abgetrennten Bereichen ermöglicht wird, treten auch geringere Unterschiede bezüglich der Wasserbeschaffenheit und des Stoffhaushaltes zwischen Hauptstrom und Nebenrinne auf.

➤ Boden

Die prinzipiellen Effekte von Formvarianten linienhafter Bauwerke auf das Schutzgut Boden (siehe Kapitel 4.1.1.2.1.2) gelten auch für Leitwerke. Auch die in Kapitel 4.1.2.1 geschilderten Auswirkungen bei Buhnen sind grundsätzlich auf Leitwerke übertragbar. Da Leitwerke gegenüber Buhnen einem vermehrten Strömungsangriff ausgesetzt sind, ist eine mögliche bauwerksgebundene Bodenentwicklung allerdings gering bis gar nicht ausgeprägt.

Variable Gestaltungen von Leitwerken verursachen ein ebenso variables Wechselspiel von An-, Über- und Querströmung. Diese heterogenen Strömungsverhältnisse ziehen ein ebenso

heterogenes Muster von Sedimentmobilisierung und Absetzen in benachbarten Bereichen nach sich. Demnach sind auch ursächlich an diese hydromorphologischen Effekte gekoppelte Auflandungsbereiche von Watten und Rohmarschen in Seitenräumen der vom Hauptstrom abgetrennten Flussrinne uneinheitlich verteilt.

➤ Vegetation

Mögliche Wirkungen der Form ufernah gelegener Leitwerke auf die Vegetation sind in indirekter Weise durch Änderungen der morphologischen und hydrologischen Bedingungen am Ufer möglich. So kann sich bei verstärkten ufernahen Auflandungsprozessen möglicherweise eine Ufervegetation entwickeln oder ausbreiten, wohingegen die Zunahme lokaler Erosionsprozesse zum Verlust von Ufervegetation führen kann. Weitere Änderungen sind durch veränderte Wellenbelastung oder veränderte Strömungsgeschwindigkeiten am Ufer möglich.

➤ Fauna

Zur Form siehe Kapitel 4.1.1.2.1.2.

➤ Landschaftsbild

Ein in seiner Form variierendes Leitwerk mit unterschiedlichen Böschungsneigungen, wechselnden Kronenbreiten und - wie bereits beschrieben - unterschiedlichen Höhen wirkt weniger naturfern als ein Leitwerk mit einem durchgängig einheitlichen Regelprofil. Je kürzer ein Leitwerk ist, desto geringer sind die Veränderungen des Landschaftsbilds.

#### 4.1.3.1.5 Lage im Querprofil des Stroms

➤ Hydrologie

Ein Leitwerk teilt den Strom in zwei Rinnen auf, von denen eine stärker durchströmt werden kann. Die Lage eines Leitwerks im Querprofil wirkt sich unmittelbar auf das Größenverhältnis von Haupt- zu Nebenrinne aus. Die Unterschiede werden umso größer, je näher zum Ufer das Leitwerk gebaut wird.

Sofern die Leitwerke - wie bisher betrachtet - nicht unmittelbar an das Ufer anbinden, findet eine Hinterströmung statt. Die Verhältnisse ändern sich jedoch, wenn ein Leitwerk ans Ufer angebunden wird. Dann ist eine Hinterströmung unterbunden. Das vorhandene Einrinnensystem wird stärker eingeengt, der Durchfluss wird stärker auf den Hauptstrom konzentriert.

➤ Morphologie

Durch die Aufteilung des Querschnitts in eine meist stärker durchströmte Haupt- und eine flachere, schwächer durchströmte Nebendurchflussrinne wird auch das Geschwindigkeitsprofil im Querschnitt verändert.

Wenn ein randlich gelegenes Leitwerk an der oberstromigen Seite an das Ufer angebunden ist, kann mit Verlandungstendenzen im Bereich zwischen Bauwerk und Ufer gerechnet werden. Bei Flutstrom werden Sedimente eingetragen, die wegen der fehlenden Durchströmung dieses Seitenbereichs mit dem Ebbestrom nicht wieder vollständig seawärts transportiert werden können und so in diesem Bereich sedimentieren.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Bei einer Anbindung des Leitwerkes an das Ufer entsteht ein Sedimentationsraum. Aussagen zum Einfluss der Sedimentbildung auf den Stoffhaushalt und die Wasserbeschaffenheit finden sich in Kapitel 4.1.2.1.

➤ Boden

Kapitel 4.1.1.2.1.4 stellt die prinzipiellen Wirkungen auf das Schutzgut Boden durch die Lage des Bauwerkes im Querprofil bereits dar.

Da die Lage im Querprofil die Aufteilung in einen Haupt- und Nebenstrom definiert, werden hierdurch auch das Ausmaß der hydromorphologischen Prozesse und ihre Auswirkungen auf die Erosion und anschließende mögliche Sedimentation des erodierten Feinmaterials auf Watten und Rohmarschen in Seitenbereichen der Nebenrinnen mit beeinflusst.

Bei mehr zur Strommitte hin gelegenen Leitwerken egalisieren sich die Strömungen in der Haupt- und Nebenrinne, womit Auflandungen von Watten und Rohmarschen in Seitenräumen der Nebenrinnen eine nur untergeordnete Rolle spielen.

Liegt das Bauwerk näher am Ufer, so ist der strömungsreduzierende Effekt im Nebenarm größer und die Auflandung von Watten und/oder Rohmarschen wird hier begünstigt. Ist das Leitwerk gar ans Ufer angebunden und findet keine Hinterströmung mehr statt, wird vor allem im Bereich der Anbindung die Verlandungstendenz forciert. Hier entstehen Watten und Rohmarschen, langfristig sogar Marschen aus sedimentiertem Feinmaterial. Ästuartypische natürliche Bodenfunktionen können sich etablieren.

➤ Vegetation

In Strommitte liegende Leitwerke haben keine Auswirkungen auf die Vegetation. Bei ufernah angelegten Leitwerken ist dagegen eine Reduzierung der hydraulischen Belastung durch Wellenschlag zu erwarten, was zu einer Ausbreitung der Ufervegetation (z. B. von Schilfbeständen, die auf Wellenschlag empfindlich reagieren) führen kann. Da die Anlage von Leitwerken üblicherweise in Bereichen mit größeren Wassertiefen erfolgt, führt dies auch nicht zu einer Überdeckung von Vegetationsbeständen. Dies kann allerdings der Fall sein, wenn Leitwerke ans Ufer angebunden werden.

Kommt es durch ein randlich gelegenes Leitwerk zu vermehrter Sedimentation am Ufer, so sind ähnliche Wirkungen wie in Bühnenfeldern möglich (wasserseitige Ausbreitung oder Entwicklung der Ufervegetation). Werden solche Leitwerke an der oberstromigen Seite an das Ufer angebunden, können sich die dadurch hervorgerufenen Sedimentationsprozesse und die beschriebenen Wirkungen auf die Ufervegetation entsprechend verstärken.

➤ Fauna

Mit der Aufteilung des Stromes durch ein Leitwerk in eine Haupt- und Nebenrinne können durch veränderte Strömungsgeschwindigkeiten je nach Art positive und negative Auswirkungen erwartet werden: Mit zunehmenden Strömungsgeschwindigkeiten werden bodenlebenden Arten vermehrt Nahrungspartikel zugespült, wodurch positive Wirkungen auf die Wachstumsraten und Bestandsdichten zu erwarten sind. Gleichzeitig werden feine Bestandteile aus

gespült, womit entgegengesetzte Effekte verbunden sind. Strömungsveränderungen wirken sich auch auf die Sedimentzusammensetzung und -stabilität aus, die wiederum beeinflussende Faktoren für die Besiedlung darstellen. Eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten ist insbesondere für Jungfische und Larven problematisch, da sie aus ihren Aufwuchsgebieten verdriftet werden können.

Durch die oberstromige Anbindung eines Leitwerkes an das Ufer können infolge der beschriebenen morphologischen Veränderungen im Bereich zwischen Bauwerk und Ufer Vegetationsstrukturen neu entstehen bzw. sich ausbreiten und somit ein Bruthabitat, z. B. für Röhricht bewohnende Vogelarten entstehen. Sollte aufgrund der hydrologisch-morphologischen Prozesse ein strömungsberuhigter Flachwasserbereich sowie eine eulitorale Fläche entstehen, könnten bedeutende Aufenthaltsräume für Jungfische sowie Nahrungshabitate für Wat- und Wasservögel geschaffen werden.

#### ➤ Landschaftsbild

Ein Leitwerk bewirkt eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, die umso stärker in Erscheinung tritt, je näher es an einem Betrachter liegt. Mit zunehmender Distanz zum Ufer werden die Auswirkungen auf das Landschaftsbild deshalb im Allgemeinen geringer. Bei niedrigen Wasserständen wird die Aufteilung des Flusses in zwei Rinnen sichtbar. Dies trägt in geringem Umfang dazu bei, dass die landschaftliche Strukturvielfalt erhöht wird, jedoch nicht mit ästuartypischen Landschaftselementen. Sofern die Anlage eines Leitwerkes dazu führt, dass in Randbereichen morphologische, bodenbildende und vegetationskundliche Prozesse zu einer Bildung ästuartypischer Strukturen wie Wattflächen, flachen Sanden sowie typischen Vegetationsabfolgen führen, würde dies das Landschaftsbild im Uferbereich aufwerten.

#### **4.1.3.1.6 Lage im Längsprofil des Stroms**

##### ➤ Hydrologie, Morphologie, Vegetation, Fauna, Landschaftsbild

Für die Lage im Längsprofil des Stroms gelten für die Hydrologie, Morphologie, Vegetation, Fauna und das Landschaftsbild die bereits in Kapitel 4.1.1 und 4.1.2.1 getroffenen Aussagen.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Leitwerke im poly- und mesohalinen Bereich eines Ästuars können die Ausbildung von Salzungen beeinflussen und möglicherweise damit auch den bodennahen Partikeltransport stromauf verstärken.

##### ➤ Boden

Die Lage des Leitwerkes im Längsprofil bestimmt, ob salzige, brackige oder süßwassergeprägte Böden von den genannten Effekten betroffen sind. Die erwähnten Verlandungstendenzen in Nebenrinnen mit Watten- und Rohmarschenbildung sind in und etwas stromauf der Brackwasserzone stärker ausgeprägt als anderenorts, da hier das Sedimentationspotenzial suspendierten Feinmaterials am höchsten ist.

#### 4.1.3.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten

- Boden, allgemeines zu Leitwerken, Bewertung

##### *Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Durch die Bildung von Watten und Rohmarschen in den durch Leitwerke entstandenen Nebenrinnen können natürliche ästuartypische Bodenfunktionen neu entwickelt und erhalten werden. Es entstehen naturnahe und vor allem im limnischen Bereich auch bisher seltene Böden (z. B. Flusswatten). Besonders heterogen gestaltete Leitwerke bedingen ein naturnahes Muster uferbegleitender Böden. Mögliche Belastungen der Feinmaterialien können in den neuen Bodenbildungen zu Einschränkungen der natürlichen Bodenfunktionen führen.

##### *Zielzustand Schutzgut Boden*

Das „Bodenwachsen“ in den Nebenrinnen kann indirekt als Vergrößerung der Vordeichsländer angesehen werden und trägt somit zum Erreichen des Zielzustandes für das Schutzgut Boden bei. Weitere Wirkungen für den Zielzustand Schutzgut Boden können nicht erkannt werden.

Das Kriterium „Boden als Naturkörper“ wird in den neu entstehenden Watten und Rohmarschen (eventuell Marschen) in Nebenrinnen erfüllt. Das Unterkriterium „Seltenheit“ wird vor allem durch die Entstehung von Flusswatten bedient. Mögliche stoffliche Belastungen in sedimentierten Feinmaterialien geben dem Bodenwert bestimmenden Kriterium „Stoffgehalt“ mehr Bedeutung. Die Schaffung von Bauwerksböden trägt andererseits zum Auftrag von künstlichen bzw. auch natürlichen Substraten im Unter- und Außenelberaum bei, womit diese Bodenwert bestimmenden Kriterien mehr Gewicht bekommen.

#### 4.1.3.2.1 Ökologische Verbesserungen

- Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Der Einbau von Leitwerken ohne Uferanbindung führt zu ästuartypischen Strukturen. Die Aufgliederung in eine Haupt- und Nebenrinne bewirkt in der Nebenrinne günstigere Bedingungen für den Sauerstoffhaushalt.

- Boden

Der bodenökologische Wert im Unter- und Außenelberaum kann durch die Bildung naturnaher Watten und Rohmarschen in den Seitenräumen der Nebenrinnen aufgewertet werden. Dies gilt besonders bei der Ausprägung heterogener Muster unterschiedlicher Bodenbildungen aufgrund von variablen Bauweisen.

- Vegetation

Randlich gelegene Leitwerke können dazu beitragen, hydraulische Belastungen am Ufer zu vermindern und Sedimentationsprozesse zu induzieren und dadurch zur Sicherung oder Entwicklung der Ufervegetation beitragen. Diese Wirkungen stellen eine ökologische Verbesserung dar.

- Fauna

Aufgrund der verminderten hydraulischen Belastung der Ufer durch Leitwerke können beispielsweise Röhrichbestände erweitert und somit wertvolle Habitatstrukturen geschaffen

werden, wovon wiederum ästuartypische Vogelarten profitieren. Zur Einschätzung von Hartsubstrat als Lebensraum siehe Kapitel 4.1.1.1.2.

Sollte es gelingen, durch die Anlage eines Leitwerks strömungsberuhigte Flachwasserbereiche und Wattflächen zu schaffen, ist dies aus faunistischer Sicht ebenfalls als ökologische Verbesserung zu beurteilen. Eine positive Auswirkung auf die Fauna ergibt sich jedoch nur, wenn ein mildes Strömungsklima mit langen Verweilzeiten des Wassers geschaffen oder erhalten wird, da sich eine deutlich zunehmende Durchströmung nachteilig auf die Bedeutung als Reproduktions- und Nahrungsgebiet für Zooplankton und Fische auswirken kann. Zu prüfen ist, ob durch geeignete Bauweisen Verlandungstendenzen aufgehalten werden können, um Flachwasserzonen mittel- bis langfristig zu sichern bzw. wiederherzustellen.

➤ **Landschaftsbild**

Potenzielle ökologische Verbesserungen durch ufernahe Leitwerke ergeben sich aufgrund der Bildung durchströmter Nebenrinnen und durch Sedimentationsprozesse, die im ufernahen Bereich dieser Nebenrinnen die Entstehung von Wattflächen und die Ausbildung naturraumtypischer Vegetationsabfolgen begünstigt können. Dadurch kann die landschaftliche Strukturvielfalt im Uferbereich gefördert werden.

**4.1.3.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen**

➤ **Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt**

Die in Nebenrinnen entstehenden Sedimente (siehe Kapitel 4.1.2.1 „Buhnen“) und deren Einfluss auf den Sauerstoffhaushalt sowie die ungünstiger werdenden Bedingungen in der Hauptrinne können einen nachteiligen Effekt auf den Sauerstoffhaushalt des Systems haben.

➤ **Boden**

Als ökologische Beeinträchtigung kann die Schaffung ästuaruntypischer anthropogener Böden durch das Bauwerk selbst gesehen werden.

➤ **Vegetation**

Beim Bau von Leitwerken ist davon auszugehen, dass in der Regel keine Beeinträchtigung von Vegetationsbeständen erfolgt. Beeinträchtigungen sind allenfalls bei der Anbindung eines Leitwerks ans Ufer denkbar, sofern dabei wertvolle Vegetationsbestände überdeckt werden.

➤ **Fauna**

Durch den Bau von Leitwerken sowie durch die dadurch hervorgerufene Substratveränderung (siehe auch Kapitel 4.1.1.1.2) ergibt sich eine direkte Beeinträchtigung auf der betroffenen Fläche. Infolge einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten kann nicht ausgeschlossen werden, dass Jungfische aus ihren Aufwuchsgebieten verdriftet werden. Zur Einschätzung von Hartsubstrat als Lebensraum wird ebenfalls auf Kapitel 4.1.1.1.2 verwiesen.

➤ **Landschaftsbild**

Grundsätzlich unterscheiden sich die beeinträchtigenden Wirkungen durch den Bau von Leitwerken nicht von denen der Buhnen. Die Beeinträchtigungen wirken besonders stark in naturnahen Flussabschnitten. Sie sind umso geringer, je stärker die Vorbelastungen in einem Ge

biet sind. Mit zunehmender Entfernung eines Leitwerks vom Ufer reduziert sich die Sichtbarkeit und somit auch die landschaftliche Beeinträchtigung.

## **4.2 Flächenhafte Strombauwerke**

### **4.2.1 Allgemeine Beschreibung**

In gleicher Weise wie für die linienhaften Strombauwerke erfolgt die Betrachtung der flächenhaften Strombauwerke, die in Kapitel 3.2 beschrieben wurden. Es werden Unterwasserablagerungsflächen (mehr in der Strommitte oder mehr randlich gelegen), Inseln, Ufervorspülungen und Übertiefenverfüllungen betrachtet und die ökologischen Wirkungen verschiedener Parameter und deren Variationsmöglichkeiten beschrieben und bewertet.

#### **4.2.1.1 Material**

Das Material zum Bau flächenhafter Strombauwerke wird entsprechend Kapitel 3.2.1.2 nach dem eigentlichen Verbringungsmaterial, dem Material für Randsicherungen und dem Material zur möglicherweise erforderlichen Abdeckung der Oberfläche unterschieden. Da verschiedene Materialien schon bei den linienhaften Strombauwerken behandelt wurden, erfolgen entsprechende Querverweise auf das Kapitel 4.1.1.1.

##### **4.2.1.1.1 Material - Beschreibung der ökologischen Wirkungen**

###### **➤ Boden, allgemeines zu Material**

Mit flächenhaften Strombauwerken werden bei Höhenlagen oberhalb MTnw neue semisubhydrische, semiterrestrische und gegebenenfalls auch terrestrische Bodenflächen aus den zur Herstellung der Strombauwerke verwendeten Materialien geschaffen, die vor dem Bau an dieser Stelle des Flussabschnittes nicht vorhanden waren. Je nach der Lage des Bauwerkes werden dabei zuvor aquatische Bereiche durch die neu geschaffenen Böden ersetzt. Bodeneigenschaften und -funktionen sind zunächst durch die physikochemischen Eigenschaften der Baumaterialien bestimmt.

Der Einfluss bodenbildender Faktoren (z. B. Wasser, Ausgangsgestein, Fauna und Flora) führt zu weiterer Bodenentwicklung in den anthropogenen Bauwerksböden und zur Ausbildung standorttypischer Bodenfunktionen, wobei besonders die Filter- und Pufferfunktion für Stoffflüsse wie auch die Lebensraumfunktion von besonderer Bedeutung sind. Eine langfristige Sicherung dieser Bodenfunktionen für das System Unter- und Außenelbe ist durch die ortsfeste Anlage der Strombauwerke gewährleistet. Die Höhe der Oberfläche definiert in Zusammenschau mit der lokalen Ausprägung der Tidekennwerte die Richtung der Bodengnese. Die Ausbildung von Watten, Rohmarschen, Marschen und bei höheren topografischen Lagen (> MThw) auch von Gleyen bis hin zu Regosolen oder anderen terrestrischen Bodenbildungen sind potenziell im Bauwerk möglich. Zusätzlich beeinflusst die Lage des Bauwerkes im Längsverlauf der Elbe durch das Einwirken der unterschiedlichen Salinität diese Bodenentwicklung.

Hydromorphologische Effekte des Bauwerkes können ufernahe Böden im Umfeld des Bauwerkes oder anderenorts im Verlauf der Elbe beeinflussen. Wasserstandsändernde Auswir

kungen können dabei je nach Ausmaß lokale oder auch großräumigere Wirkungen auf den Bodenwasserhaushalt ufernaher Böden bedingen. Bauwerksbedingte Einflüsse auf Strömungsverhältnisse (z. B. Teilung in eine strömungsintensive Hauptrinne und strömungsärmere Nebenrinnen) können durch Auswirkungen auf Erosions-, Transport- und Sedimentationsverhältnisse von Bodenmaterial sowohl lokale Wirkungen auf ufernahe Böden (z. B. Watten, Rohmarschen) als auch bauwerksferne Wirkungen auf Böden in anderen Flussabschnitten haben.

#### 4.2.1.1.1 Verbringungsmaterial

##### ➤ Hydrologie

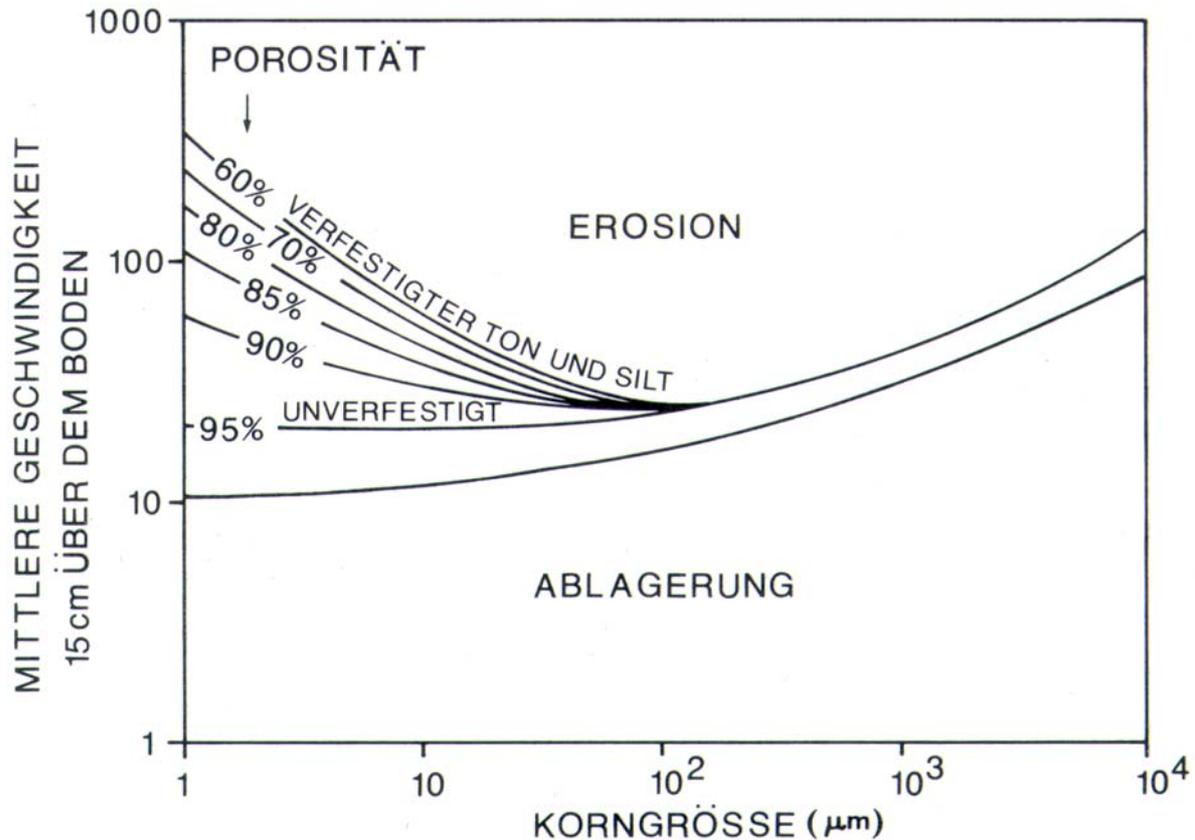
Das Verbringungsmaterial, aus dem flächenhafte Strombauwerke aufgebaut werden, hat keine Auswirkungen auf hydrologische Parameter.

##### ➤ Morphologie

Bei der Anlage von flächenhaften Strombauwerken ist die Beschaffenheit des Verbringungsmaterials maßgebend für morphologische Prozesse, z. B. die Erosion dieses Materials an der Oberfläche der unter Wasser liegenden Bauwerksteile. Wichtige Faktoren sind hierbei die Korngröße, die Lagerungsdichte, das Material (Dichte) sowie die Form des Einzelkornes. Unter Berücksichtigung dieser Einflüsse kann eine kritische Geschwindigkeit  $v_{cr}$  bestimmt werden, bei der sich die Körner an der Sohle in Bewegung setzen. Überschreitet die vorhandene Geschwindigkeit  $v_0$  in Sohlhöhe diesen kritischen Wert, kommt es zu Erosion im betrachteten Gewässerabschnitt. Als Sohle wird nachfolgend auch die Oberfläche eines flächenhaften Strombauwerks verstanden.

Es existieren verschiedene Ansätze, um die kritische Geschwindigkeit  $v_{cr}$  zu bestimmen, bei der sich das Sohlmaterial in Bewegung setzt. Für weitgehend ebene Gewässersohlen und für Wassertiefen  $> 1$  m kann das in Abbildung 4.2-1 dargestellte, empirisch ermittelte Diagramm von HJULSTRÖM (1935) verwendet werden, welches den Bewegungsbeginn von Quarzsand beschreibt. Danach sind sandige Sohlen mit einem charakteristischen Korndurchmesser von  $d_{ch} = 0,2 - 0,3$  mm am leichtesten bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von  $v_m \sim 0,2$  m/s erodierbar. Bei Sohlen mit kleinerem charakteristischen Korndurchmesser wirken Adhäsionskräfte zwischen den einzelnen Körnern, wodurch der Bewegungsbeginn erst bei einer höheren Geschwindigkeit einsetzt. Größere charakteristische Korndurchmesser können der angreifenden Sohlschubspannung besser widerstehen und benötigen deshalb eine höhere Fließgeschwindigkeit, um in Bewegung versetzt zu werden.

Das Diagramm von HJULSTRÖM ist im Feinstkornbereich mit großen Unsicherheiten behaftet, aus diesem Grund wurde es von SUNDBORG (1956) für den Bereich erweitert, in dem das Material sich kohäsiv verhält ( $d_m < 0,15$  mm). In seinen Untersuchungen berücksichtigte SUNDBORG neben der Korngröße auch den Verfestigungsgrad des kohäsiven Feinstmaterials, da dieser den Erosionsbeginn maßgeblich beeinflusst.



**Abbildung 4.2-1: Hjulström-Sundborg-Diagramm.** Dieses Diagramm gibt an, bei welcher Strömungsgeschwindigkeit (cm/s; 15 cm über dem Boden) ein Quarzkorn bestimmter Größe erodiert bzw. abgelagert wird. Zahlen=Porosität (FÜCHTBAUER 1988)

Rechnerisch kann der Bewegungsbeginn auch über die kritische Schubspannung  $\tau_{cr}$  ermittelt werden. Wenn die vorhandene Sohlschubspannung  $\tau_0$  die kritische Sohlschubspannung überschreitet, beginnt sich das Sohlmaterial zu bewegen. Auch die Besiedelung der Sohle durch benthische Organismen ist ein Faktor, der die kritische Sohlschubspannung maßgeblich beeinflusst. So kann sich die kritische Schubspannung einer besiedelten Sohle gegenüber einer unbesiedelten Sohle deutlich erhöhen, die Erosion des Materials wird somit erschwert.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Bei der Anlage von flächenhaften Strombauwerken sind die Korngrößenverteilung und die chemische Beschaffenheit des Verbringungsmaterials für die Auswirkungen auf den Stoffhaushalt von hoher Bedeutung. Sandiges, organikarmes Material besitzt gegenüber feinputikulärem, organikreichem Material nur ein geringes Freisetzungspotenzial für reduzierte Verbindungen, wie Ammonium (siehe auch Aussagen zu Kapitel 4.1.1.1.1 „Geotextilien“). Auch ist der Sauerstoffbedarf erstgenannter oxidiertes Sedimente bezogen auf das überstehende Wasser geringer. Somit stellen diese Sedimente nur eine geringe bzw. keine Belastung für die Wasserbeschaffenheit des Ästuars dar.

➤ Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten

Durch die Anlage von flächenhaften Strombauwerken können relevante Mengen schadstoffhaltiger Feststoffe mobilisiert und im gesamten Elbe-Ästuar neu verteilt werden. Dies kann -

insbesondere im äußeren Ästuar - zu einer deutlichen Erhöhung der Schadstoffgehalte in den obersten, besonders bioaktiven Sedimentschichten führen. Gleichzeitig können sich die Schadstoffgehalte der Schwebstoffe im gesamten Ästuar auf längere Zeit (Monate/Jahre) wieder erhöhen und so die Biosphäre zusätzlich belasten. Ein Teil der Schadstoffe wird in die Nordsee ausgetragen werden.

Diese potenzielle Schadstoffmobilisierung stellt ein erhebliches ökologisches Risiko dar, welches im Einzelfall erst dann quantifiziert werden kann, wenn

- die morphologischen Auswirkungen der Baumaßnahme (z. B. Abschätzung der Baggermengen und die Art der Verbringung, morphologischer Nachlauf) bekannt sind,
- die Lage der Baumaßnahme im Flussquerschnitt (z. B. Nähe zu den randlichen Wattbereichen, in denen im Vergleich zum Fahrwasser meist feinkörnigere, ältere und damit oft hoch belastete Sedimente liegen) festliegt,
- die Quantität und die Qualität (Schadstoffkonzentrationen, Korngrößenverteilungen) der zu baggernden bzw. potenziell mobilisierbaren Sedimente bekannt sind (Untersuchung von Kernproben).

#### ➤ Boden

Bei Bauwerken über MTnw beeinflussen die Körnung des Verbringungsmaterials und seine dadurch bestimmten physikochemischen Eigenschaften direkt die Eigenschaften, Funktionen und die Entwicklungsrichtung der durch das Bauwerk entstehenden anthropogenen Böden. Bei der Verwendung grobkörniger, sandiger bis kiesiger Bodenmaterialien entstehen Böden mit hoher Wasserdurchlässigkeit und gleichzeitig geringem Wasserspeichervermögen. Im Tidenzyklus stark wechselfeuchte bzw. bei höheren Bauweisen auch trockene Standortbedingungen sind die Folge. Die Filter- und Pufferfunktion der Böden ist dementsprechend gering ausgeprägt. Solche grobkörnigen Böden sind arm an bzw. frei von Nähr- und Schadstoffen. Für die an diese Standortbedingungen angepassten Arten (Tiere oder Pflanzen) stellen die Bauwerksböden besondere Lebensraumfunktionen zur Verfügung. Vergleichbare natürliche Standorte finden sich z. B. in sandigen Uferwällen oder natürlichen Sänden.

Je bindiger das zur Verbringung verwendete Bodenmaterial (z. B. Mergel) mit Bodenarten von Schluff bis Ton bzw. deren Gemischen (z. B. Lehm) ist, desto höher wird das Wasserspeichervermögen, einhergehend mit einer geringeren Wasserdurchlässigkeit. Der Anteil an Nähr- und Schadstoffen in bindigen Bodenmaterialien ist dabei höher als in grobkörnigen Materialien. Potenzielle Stoffausträge bei Durchströmung bzw. Überflutung müssen beachtet werden. Der Bodenwasser- und Stoffhaushalt stellt sich allgemein ausgeglichen dar, womit auch die Filter- und Pufferfunktion für Stoffflüsse besonders ausgeprägt ist. Die Lebensraumfunktion kann mit denen der Marschen verglichen werden und ist somit für viele Faunen- und Florenelemente des Unter- und Außenberaums nutzbar. Allein sehr tonige Materialien stellen wiederum besondere Standorte mit geringer bis nicht vorhandener Wasserdurchlässigkeit und ebenso geringem Wasserspeichervermögen. Die Technik des Einbaus kann alle beschriebenen Eigenschaften modifizieren (z. B. Einspülen, Aufbringen, Verdichten).

Der Einfluss der Materialeigenschaften von Steinen (natürlicher oder technogener Herkunft) auf Böden und Bodenfunktionen des Bauwerks ist ausführlich in den Kapiteln 4.1.1.1.1 und

4.1.2.1.1.2 beschrieben. Gleiches gilt für die Verwendung von geotextilen Behältern im Bauwerkskörper.

➤ Vegetation

Für die Besiedlung flächenhafter Strombauwerke mit Pflanzen hat die Substratbeschaffenheit an der Oberfläche eine entscheidende Bedeutung. Der wesentliche Faktor für die Vegetation ist dabei der Anteil bindigen Materials. In der nachfolgenden Tabelle 4.2-1 werden die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Substratbedingungen und Vegetation für den besiedelbaren Bereich oberhalb von MThw -1,5 m im limnischen Abschnitt der Unterelbe dargestellt. **Die nachfolgenden Aussagen zur Vegetation hinsichtlich der flächenhaften Strombauwerke beziehen sich jeweils auf diese Höhenzonierung oberhalb MThw -1,5 m.**

Naturnahe Böden mit sandig-lehmigem, schluffigem oder tonigem Substrat weisen eine Zonierung mit verschiedenen Röhricht-Typen (Salz-Teichsimen-Röhricht, Strandsimse-Röhricht, Schilf-Röhricht) und Auwäldern auf (siehe Tabelle 4.2-1). Als eine Art mit einer besonderen Präferenz für tonig-schlickige Substrate gilt der an der Unterelbe endemische (weltweit nur an der Unterelbe vorkommende) Schierlings-Wasserfenchel (*Oenanthe conioides*), der im limnischen Tidebereich in lückigen Röhrichtbeständen vorkommt (BELOW 1996). Unter Nutzungseinfluss entwickeln sich oberhalb des MThw zumeist Hochstaudenfluren und Grünländer.

Nach RAABE (1986, zit. in OERTLING 1992) besitzt das gesamte Elbeufer unterhalb von Hamburg mit Ausnahme einiger Sandgebiete südlich von Glückstadt und östlich von Wedel keine natürlichen Sandufer mehr. Nach PREISINGER (1991) bleiben Sandufer größtenteils vegetationslos, insbesondere bei starker Wellenbelastung. Auch OERTLING (1992) hat beobachtet, dass die Mehrzahl der Sandufer der Unterelbe stromab von Hamburg unterhalb des MThw größtenteils keinen Bewuchs mit höheren Pflanzen aufweisen (siehe Abbildung 4.2-2). Ein weiterer Faktor, der den Bewuchs dieser Ufer mit bestimmt, ist die Uferneigung. Die Ufer können umso besser besiedelt werden, je flacher sie sind. Viele dieser Sandufer sind jedoch relativ steil aufgespült. Bei geringerer Wellenbelastung können sich z. T. lückige Röhrichte mit Schilf (*Phragmites australis*) und Strandsimse (*Bolboschoenus maritimus*) oder Hochstaudenfluren ausbilden. Typische Arten sandiger Uferbereiche sind außerdem Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*), Strandhafer (*Ammophila arenaria*) und die für die Unterelbe endemische und häufig auf Spülfeldern vorkommende Art Wibels-Schmiele (*Deschampsia wibeliana*).

Nach SEELIG (1992) sind die Röhrichte der Sandufer im Vergleich zu den Schlickufern floristisch verarmt. Typische Arten der Röhrichte wie Rohrkolben (*Typha spp.*) und Simsen (*Bolboschoenus sp.*, *Schoenoplectus spp.*) treten zurück und die natürliche Zonierung der Röhricht-Weichholzaue wird aufgelöst. Stattdessen dringen Flutrasenarten verstärkt in die Röhrichte ein. Oberhalb des MThw bilden sich vielfach statt Auwaldbeständen Sandmagerrasen oder Ruderalfluren trockener Standorte (Beispiel: Insel Schwarztonnensand). OERTLING (1992) nennt als wichtiges Standortmerkmal der Sandböden ihre geringe Bindigkeit und ihre im Vergleich zu schlickigen Böden größere Beweglichkeit. Bei starken Sandverdriftungen während Sturmfluten können beispielsweise die Rhizome der Strandsimse freigelegt werden, was zu einem Verschwinden dieser Bestände führen kann.



**Abbildung 4.2-2: Sandufer an der Unterelbe im Bereich Auberg**

Kiesiges und steiniges Substrat wird hauptsächlich durch Arten der Ruderalfluren und der Hochstaudenfluren besiedelt. Je nach Anteil des Feinsubstrats ist vereinzelt auch eine Besiedlung mit Röhrichtarten und Arten der Weichholzaue möglich (siehe Kapitel 4.1.1).

**Tabelle 4.2-1: Bedeutung der Substratverhältnisse für die Vegetation im limnischen Abschnitt der Unterelbe**

Höhenzone	Substrat		
	schluffig-sandig/tonig-sandig (naturnah)	sandig	kiesig/steinig
Röhrichtzone (von MThw -1,5 m bis MThw)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salz-Teichsimsen-Röhricht</li> <li>• Strandsimsen-Röhricht</li> <li>• Schilf-Röhricht</li> <li>• z. T. mit Schierlings-Wasserfenchel (<i>Oenanthe conioides</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• größtenteils vegetationslos</li> <li>• z. T. mit lückigen Röhrichten</li> <li>• z. T. mit Wibels-Schmiele (<i>Deschampsia wibeliana</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruderalfluren</li> <li>• Hochstaudenfluren</li> <li>• z. T. mit Arten der Röhrichte</li> </ul>
Auwaldzone (von MThw bis ca. MThw +2 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weichholzaue (Bruchweiden-Auwald)</li> <li>• Hartholzaue (Eichen-Ulmen-Auwald)</li> <li>• bei Nutzung: Hochstaudenfluren oder Grünländer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sandmagerrasen</li> <li>• Ruderalfluren trockener Standorte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruderalfluren</li> <li>• Hochstaudenfluren</li> <li>• z. T. mit Arten der Weich- und Hartholzaue</li> </ul>

#### ➤ Fauna

Grundsätzlich weisen Makrozoobenthosgemeinschaften hohe Schwankungsbreiten im Vorkommen von Arten auf. Die Struktur einer benthischen Lebensgemeinschaft im Ästuar wird - neben dem Salzgehaltgradient und hydrologischen Faktoren - auch von der Sedimentzusammensetzung geprägt. Eindeutige Präferenzen der Arten zu einzelnen Sedimenttypen sind jedoch eher selten, trotzdem weisen einige Arten eine mehr oder weniger enge Bindung an bestimmte Substrattypen auf. Deutliche Veränderungen in der Sedimentzusammensetzung wirken sich auch auf das Artvorkommen aus. Flache Bereiche mit einem hohen Schlickanteil sind in der Regel individuen- und biomassereicher als die sandige Stromsohle. Im Eulitoral werden anhand der unterschiedlichen Substrateigenschaften Sand-, Misch- und Schlickwatt unterschieden, wobei die Produktivität der Schlickwatten deutlich höher ist als die der Misch- und Sandwatten.

Flohkrebse (u. a. *Bathyporeia spp.*), Vielborstern (u. a. *Marenzelleria spp.*) und Wenigborstern (z. B. der stenotope *Propappus volki*) bevorzugen z. B. sandige Sedimente. Der Schlickkrebis *Corophium volutator* bevorzugt schlickige Substrate. Mergel kann von Bohrmuscheln wie z. B. *Petricola pholadiformis* besiedelt werden. Für Hartsubstratsiedler wie Seepocken (*Balanus spp.*), Miesmuscheln (*M. edulis*) und Hydrozoa (z. B. *Obelia longissima*) bieten Steine ein geeignetes Habitat. Die genuine Brackwasserart *Corophium lacustre* favorisiert sekundäres Hartsubstrat mit tierischem und pflanzlichem Aufwuchs; seltener werden Weichböden besiedelt (BERNAT ET AL. 1997). Je nach Kornzusammensetzung ist daher mit einer charakteristischen Artenzusammensetzung der sich ansiedelnden Makrozoobenthosgemeinschaft zu rechnen.

Die Sedimentqualität wirkt sich auch auf das Vorkommen nahrungssuchender Fische aus. Auf sandigen Substraten finden sich u. a. Plattfische, während steinige Substrate beispielsweise vom Aal bevorzugt werden. Schlickwattbereiche sind aufgrund ihrer reichen Wirbellosenbesiedlung ein bevorzugtes Nahrungsgebiet für Watvögel. Sandige, vegetationsfreie Flächen bieten Brutreviere z. B. für Küstenseeschwalbe und Flusseeeschwalbe.

Je nach Verbringungsmaterial und Höhenzone bildet sich gegebenenfalls ein charakteristischer pflanzlicher Bewuchs aus (siehe Abschnitt „Vegetation“ dieses Kapitels), der wiederum Lebensraum für verschiedene terrestrische und einige aquatische Tierarten schafft. Röhrichte schaffen Brutreviere für einige Vogelarten (z. B. Drosselrohrsänger) und dienen als versteckreiches Aufwuchsgebiet für einige Fischarten. Staudenfluren, Gebüsche und Auwald bieten Lebensraum u. a. für zahlreiche Singvögel und Insekten.

#### ➤ Landschaftsbild

Die Art des Verbringungsmaterials ist für das Schutzgut Landschaftsbild dann von Bedeutung, wenn keine weitere Abdeckung der Ablagerungsfläche erfolgt und die Fläche über MTnw endet, d. h. zu Zeiten ohne Wasserbedeckung sichtbar ist. Ästuartypische Verbringungsmaterialien sind im Bereich der Unter- und Außenelbe vor allem Sand oder Mergel. Die anderen Materialien werden mit zunehmender Korngröße immer naturferner, am meisten trifft dies für den Einbau von geotextilen Containern zu.

#### 4.2.1.1.1.2 Material für die Randsicherung

##### ➤ Hydrologie

Das Material zur Herstellung der Randsicherung hat keine Auswirkungen auf hydrologische Parameter.

##### ➤ Morphologie

Bei den vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten in den Tideästuaren der deutschen Nordseeküste wird keine der hier betrachteten Randsicherungen erodiert. Wenn weder eine Randsicherung noch eine Abdeckung vorhanden ist, kann das eingelagerte Material erodiert werden, wenn die vorhandene Strömungsgeschwindigkeit  $v_0$  die kritische Strömungsgeschwindigkeit  $v_{cr}$  (die von Materialeigenschaften, Korngröße und Lagerungsdichte abhängig ist) überschreitet. Randsicherungen und Deckwerke werden langfristig vor allem durch schiffserzeugte Wellenbelastung geschädigt.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Gestaltung der Randsicherung beeinflusst den Wasser- und Stoffaustausch zwischen dem abgelagerten Material und dem umgebenden Wasserkörper. Wenn möglich sind die Strombauwerke ohne Randsicherung zu bauen. Bei der Verwendung von Wasserbausteinen oder Geotextilien gelten die Aussagen aus Kapitel 4.1.1.1.1 „Material“.

##### ➤ Boden

Die Effekte von Wasserbausteinen und geotextilen Behältern, die vorwiegend als Randsicherungen genutzt werden, auf den Boden und die Bodenbildung sind eingehend in Kapitel 4.1.1.1.1.1 dargestellt. Die Erosion von Bodenmaterial aus der Randsicherung ist im Allgemeinen nicht zu befürchten. Bei fehlender Randsicherung kann allerdings erosionsanfälliges Bodenmaterial je nach Strömungsangriff in Suspension gebracht werden und gegebenenfalls auf ufernahen Böden wieder sedimentieren und so die Eigenschaften betroffener Böden verändern.

##### ➤ Vegetation

Die Vegetationsbesiedlung der Randsicherung entspricht im Wesentlichen der Besiedlung der linienhaften Strombauwerke (siehe Kapitel 4.1.1). Die besten Voraussetzungen für eine naturnahe Vegetationsbesiedlung sind bei Strombauwerken ohne Randsicherung gegeben. Hier kann sich bei entsprechend flacher Neigung und entsprechendem Höhenniveau gegebenenfalls eine naturnahe Vegetationszonierung mit Röhrriechen und Hochstaudenfluren einstellen. Bei der Verwendung von Steinschüttungen ist eine Vegetationsbesiedlung nur bei der Anlage von ausreichendem Feinmaterial im Lückensystem zu erwarten. Bei geotextilen Containern ohne zusätzliche Abdeckung mit feinkörnigerem Material erfolgt kein Bewuchs mit höheren Pflanzen.

##### ➤ Fauna

Für die Besiedlung der Randsicherung ist sowohl das Material als auch die Oberflächenstruktur ein bedeutender Aspekt. Die Besiedlung von sekundären Hartsubstraten wie Wasserbausteinen und Geotextilien wurde bereits in Kapitel 4.1.1 ausführlich beschrieben. Sofern auf Randsicherungen verzichtet werden kann und sich - wie oben dargestellt - eine naturnahe Vegetationszonierung entwickeln kann, werden somit auch wertvolle Lebensraumstrukturen

für charakteristische Tierarten geschaffen. Weitere Ausführungen zur Besiedlung erfolgen im Kapitel 4.2.1.2.1.2 „Oberflächenniveau“.

➤ Landschaftsbild

Für das Landschaftsbild sind Randsicherungen nur relevant, wenn sie, unter Umständen auch nur zeitweise, sichtbar werden. Dann gelten bezüglich des Materials (Wasserbausteine oder geotextile Container) die unter 4.1.1.1 getroffenen Aussagen. Am naturfernsten wirken geotextile Container.

#### 4.2.1.1.1.3 Material für die Abdeckung

➤ Hydrologie und Morphologie

Für die Hydrologie und Morphologie gelten die Ausführungen zum Verbringungsmaterial (Kapitel 4.2.1.1.1.1).

➤ Boden

Die Effekte der verwendeten Verbringungsmaterialien auf Bauwerksböden sind beim Verbringungsmaterial dargestellt. Die Abdeckung bildet die Schnittstelle zur umgebenden Hydrosphäre bzw. Atmosphäre. Hier setzen vertikal orientierte bodenbildende Prozesse (z. B. Stoffverlagerungen) ein, welche die Ausprägung der Bodenfunktionen beeinflussen. Bei allgemein verwendeten grobkörnigen Materialien können sich im Oberboden allerdings nur schwerlich bodenbildende Prozesse etablieren und entsprechende Bodenfunktionen entwickeln. Hydrologische Effekte durch die Wahl des Abdeckungsmaterials mit nachfolgenden indirekten Auswirkungen auf bauwerksumgebende Böden sind in Kapitel 4.1.1 geschildert.

Wird keine Abdeckung verwendet, so können in Bauwerken oberhalb MT<sub>nw</sub> bodenbildende Prozesse direkt auf die Verbringungsmaterialien einwirken. Die Bodengese und Entwicklung entsprechender Bodenfunktionen wird dadurch vorangetrieben. Bei Bauwerken unterhalb MT<sub>nw</sub> werden die Oberflächen erosionsanfälliger, wobei in Abhängigkeit von der Korngröße der eingebauten Materialien Feinmaterial suspendieren und nach dem Weitertransport auf ufernahen Böden sedimentieren kann.

➤ Vegetation

Abdeckungen erschweren die Besiedlung der Ablagerungsflächen mit Pflanzen. Für kiesige und steinige Substrate wurde dies bereits ausgeführt (siehe Kapitel 4.2.1.1.1.1 „Verbringungsmaterial“). Bei der Verwendung von geotextilen Containern ist zu erwarten, dass die Oberfläche vegetationslos bleibt. Ohne Abdeckung sind - abhängig vom Substrat des Verbringungsmaterials und dem Oberflächenniveau - die besten Voraussetzungen für eine naturnahe Vegetationsentwicklung gegeben.

➤ Fauna

Für die Besiedlung der Oberfläche gelten die zur Besiedlung der verschiedenen Materialien gemachten Aussagen sowie die Aussagen im Abschnitt „Vegetation“. Zur Besiedlung von Wasserbausteinen und Geotextilien siehe Kapitel 4.1.1.1, zur Besiedlung von Kies und Grobsand siehe Kapitel 4.2.1.1.1.1 „Verbringungsmaterial“.

➤ Landschaftsbild

Hinsichtlich des Materials zur Abdeckung von Ablagerungsflächen gelten im Wesentlichen die Aussagen zum Verbringungsmaterial. Je feinkörniger das Abdeckmaterial ist, desto geeigneter ist es aus landschaftlicher Sicht. Von den in der Tabelle 3.2-1 aufgeführten Abdeckmaterialien ist der Grobsand somit das zu bevorzugende Material. Geotextilien haben die ungünstigsten Wirkungen auf das Landschaftsbild.

#### 4.2.1.1.2 Material - Bewertung der ökologischen Wirkungen

➤ Boden, allgemeines zu Material, Bewertung

*Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Bei flächenhaften Strombauwerken, die über MTnw aufragen, können mit der Verwendung gebietstypischer (autochthoner) natürlicher Bodenmaterialien natürliche Bodenfunktionen im System Unter- und Außenelbe entwickelt und bei einer ortsfesten Anlage der Bauwerke auch gesichert werden. Damit können naturnahe Böden entstehen, die neben gebietstypischen Bodenfunktionen gegebenenfalls auch besondere Standortfunktionen zur Verfügung stellen können. Bei der Verwendung großklassiger Baumaterialien vor allem für die Abdeckung gelten diese Aussagen nur eingeschränkt bzw. gar nicht. In Randbereichen der Bauwerke können sich seltene Böden wie z. B. Flusswatten entwickeln.

*Zielzustand Schutzgut Boden*

Werden die oberhalb MTnw entstehenden Bauwerksböden zu den Vordeichsländern gezählt, kann mit der Herstellung der Strombauwerke indirekt die Fläche der Vordeichsländer erhöht werden. Im Sinne des Zielzustandes gilt diese Aussage aber nur bei der Verwendung gebietstypischer natürlicher Baumaterialien (außer Steine) mit der Entwicklungsmöglichkeit entsprechender natürlicher Bodenfunktionen.

Das bodenwert bestimmende Kriterium „Überformung“ bekommt durch den Auftrag natürlicher Substrate mehr Gewicht, wodurch lokal gesehen ökologische bodenwertstufen abnehmen können. Die Aussage relativiert sich jedoch insofern, da der Auftrag überwiegend in zuvor aquatischen Bereichen ohne entsprechende Bodenfunktionen erfolgt. An dieser Stelle kann dann das bodenwert bestimmende Kriterium „Boden als Naturkörper“ mehr Bedeutung bekommen, da naturnahe und gegebenenfalls auch seltene Böden geschaffen werden können, die zudem besondere Standorteigenschaften besitzen können. Bindige Materialien wiederum können zu einer stärkeren Gewichtung des bodenwert bestimmenden Kriteriums „Stoffanreicherung“ führen.

#### 4.2.1.1.2.1 Ökologische Verbesserungen

➤ Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten

Eine Verbesserung von Sedimentoberflächen bezüglich ihrer Schadstoffgehalte durch Abdeckung bzw. Ufervorspülungen mit gering belastetem bzw. unbelastetem Baggermaterial beispielsweise aus einer Fahrrinnenvertiefung ist theoretisch denkbar, sie wird in der Regel aber kaum von Bedeutung sein. Es ist deshalb darauf zu achten, dass Unterwasserablagerungsflächen bzw. Inseln und Ufervorspülungen nicht auf den hoch belasteten feinkörnigen randlichen Wattbereichen gebaut werden.

➤ Boden

Mit der Schaffung anthropogener Bauwerksböden oberhalb MTnw aus natürlichen gebietstypischen Bodenmaterialien kann für das Schutzgut Boden eine Verbesserung innerhalb der Bodenvergesellschaftung im Unter- und Außenelberaum verbunden sein.

➤ Vegetation

Aus vegetationskundlicher Sicht sind naturnahe Substrat- und Bodeneigenschaften für die Ausbildung hochwertiger, ästuartypischer Vegetationstypen förderlich. Ökologische Verbesserungen können möglicherweise im Bereich von Ufervorspülungen erreicht werden, wenn auf naturferneren Standorten mit z. B. rein sandigem Substrat oder Hartsubstraten naturnahe Standortverhältnisse mit einem hohen Anteil an bindigen Substraten geschaffen werden.

➤ Fauna

Indirekt sind Verbesserungen für die Fauna zu erzielen, wenn die Empfehlungen für die Vegetation Beachtung finden und naturnahe ästuartypische Vegetationsstrukturen gefördert werden.

➤ Landschaftsbild

Verbesserungen für das Landschaftsbild können sich - bezogen auf das Material - dann ergeben, wenn vorhandene naturfernere durch naturnähere Substrate überdeckt werden.

#### 4.2.1.1.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen

➤ Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten

Die potenzielle Schadstoffmobilisierung durch die Anlage flächenhafter Strombauwerke stellt ein erhebliches ökologisches Risiko dar, welches im Einzelfall erst dann quantifiziert werden kann, wenn

- die morphologischen Auswirkungen der Strombaumaßnahme (z. B. Abschätzung der zu verbringenden Mengen und die Art der Verbringung, morphologischer Nachlauf) bekannt sind,
- die Lage der Strombaumaßnahme im Flussquerschnitt (z. B. Nähe zu den randlichen Wattbereichen, in denen im Vergleich zum Fahrwasser meist feinkörnigere, ältere und damit oft hoch belastete Sedimente liegen) festliegt,
- die Quantität und die Qualität (Schadstoffkonzentrationen, Korngrößenverteilungen) der zu verbringenden bzw. potenziell mobilisierbaren Sedimente bekannt sind (Untersuchung von Kernproben).

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Feinpartikuläres, organikreiches Material besitzt ein höheres Freisetzungspotenzial für reduzierte Verbindungen, wie z. B. Ammonium. Auch ist der Sauerstoffbedarf dieser Sedimente bezogen auf das überstehende Wasser höher. Das Einbringen dieser Materialien ist daher als Beeinträchtigung zu sehen.

➤ Boden

Ökologische Beeinträchtigungen können bei der Verwendung großklassiger Materialien, technogener Materialien oder stofflich belasteter Materialien verzeichnet werden, weil dabei keine ästuartypischen natürlichen Bodenfunktionen entwickelt werden können.

➤ Vegetation

Aus vegetationskundlicher Sicht sind Beeinträchtigungen zu erwarten, wenn wertvolle Vegetationsbestände auf naturnahen Standorten durch flächenhafte Strombauwerke überdeckt werden. Verändern sich dabei die Substratverhältnisse (durch Zunahme des sandigen, kiesigen oder steinigen Substratanteils) wird die Besiedlung durch ästuartypische Vegetationsformen wie Röhrichte oder Gehölze der Weichholzaunen erschwert, und es ist nicht zu erwarten, dass die Ausgangssituation wieder erreicht werden kann. Auch die Verwendung von geotextilen Containern stellt aus vegetationskundlicher Sicht eine Beeinträchtigung dar, da eine Besiedlung dieses Materials mit Pflanzen sehr unwahrscheinlich ist.

➤ Fauna

Bei der Anlage eines flächenhaften Strombauwerkes ist auf der in Anspruch genommenen Fläche zunächst mit direkten Auswirkungen auf die Fauna zu rechnen: Verlust bzw. Dezimierung bodenlebender Tiere durch Überschüttung, Vertreibung und ein reduziertes Nahrungsangebot. Beeinträchtigungen ergeben sich auch, wenn faunistisch wertvolle Vegetationsstrukturen überdeckt werden. Nach Beendigung der Baumaßnahme erfolgt eine Neubesiedlung der Strukturen, die nach wenigen Jahren abgeschlossen ist. Ändert sich das Substrat, kommt es zu einer Verschiebung im Artenspektrum.

➤ Landschaftsbild

Materialienbedingte Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes entstehen jeweils dann, wenn Materialien verwendet und sichtbar werden, die naturferner als das vorhandene Substrat sind. Dies ist besonders bei einem Einbau von geotextilen Containern über MTnw der Fall.

#### **4.2.1.2 Bauweisen**

Bei den Bauweisen zur Herstellung flächenhafter Strombauwerke werden die Wirkungen der Parameter und Variationsmöglichkeiten hinsichtlich Flächengröße, Oberflächenniveau, Neigung der Randbegrenzung, Form sowie die Lage im Quer- bzw. Längsprofil des Stroms betrachtet. Es erfolgen ebenfalls Querbezüge zu den Bauweisen linienhafter Strombauwerke (siehe Kapitel 4.1.1.2).

##### **4.2.1.2.1 Bauweisen - Beschreibung der ökologischen Wirkungen**

###### **4.2.1.2.1.1 Flächengröße**

➤ Hydrologie

Durch die Anlage eines flächenhaften Strombauwerks - mit Ausnahme der Übertiefenverfüllung - wird der Durchflussquerschnitt im Gewässer reduziert. Es findet eine Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne statt, so dass sich dort die Strömungsgeschwindigkeiten erhöhen (siehe Abbildung 3.2-3). Die Reduzierung des Gewässerquerschnitts kann je nach Größe des Bauwerks zu einer Veränderung der Wasserstände führen.

Wie sich die Strömungsgeschwindigkeiten in den anderen Bereichen des Querprofils verändern, hängt von den Abmessungen des Strombauwerks, der morphologischen Struktur des Gewässerabschnitts und den hydrologischen Ausgangsbedingungen ab. Je stärker jedoch der Gewässerquerschnitt durch ein Strombauwerk reduziert wird, desto größer sind die dadurch hervorgerufenen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und der Wasserstände. Maßgebend für diese Änderungen sind daher im Wesentlichen die Höhe und die Breite des Strombauwerks sowie die Lage im Gewässer.

Bei Inseln hat die Länge aufgrund der Laufzeitdifferenzen der Gezeitenwelle zwischen der Haupt- und Nebenrinne eine wichtige Bedeutung (siehe Kapitel 4.2.4).

➤ Morphologie

Eine größere Fläche kann die morphologische Entwicklung großräumiger beeinflussen als eine kleinere Fläche. So kann z. B. durch eine lange Ufervorspülung der wirksame Abflussquerschnitt in diesem Bereich eingengt werden, wodurch das Transportvermögen des Stroms hier zunimmt. Als Folge davon können sich Auflandungstendenzen oberhalb und unterhalb dieser Strecke verstärken. Dieser Effekt wird umso größer, je größer das Strombauwerk ist.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die durch flächenhafte Bauwerke hervorgerufenen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten im Querprofil führen zu einem verminderten Sauerstoffaustausch an der Wasseroberfläche über dem Bauwerk, während in den tieferen Abschnitten des Querprofils der Sauerstoffaustausch aufgrund höherer Strömungsgeschwindigkeiten verstärkt wird.

➤ Boden

Für Bauwerke oberhalb MTnw gilt, je größer das Bauwerk ist, desto größere zusammenhängende Bodenflächen werden geschaffen. Hierbei kann unter dem Einfluss bodenbildender Faktoren das Bodenentwicklungspotenzial auf diesem Bauwerk nachhaltig genutzt werden. Ästuartypische Bodensequenzen von Watten über Rohmarschen bis hin zu Marschen und bei hohem Oberflächenniveau (> MThw) auch terrestrischen Bodenbildungen sind entwickelbar. Entsprechende natürliche Bodenfunktionen können dem System Unter- und Außenelbe zur Verfügung gestellt werden.

Je größer das Bauwerk, desto größer ist allerdings auch sein hydrologischer Effekt, der vor allem durch die Bauwerkslänge gesteuert wird. Größere Bauwerke bedingen eine differenziertere Unterteilung in strömungsintensive und strömungsberuhigte Bereiche (z. B. Haupt- und Nebenrinne). Damit können größere Bauwerke Erosions- und Transportverhältnisse für Feinmaterial in Bereichen ausgeprägter Strömung und damit einhergehend Sedimentationstendenzen in ufernahen Bodenbereichen fördern. Dort werden entsprechend Watten und Rohmarschen in ihrer Genese und Funktionalität verändert. Entstehen durch flächenhafte Bauwerke Nebenrinnen, so ist die Verlandungstendenz mit der Bildung von Watten, Rohmarschen und gegebenenfalls auch Marschen in den Nebenrinnen begünstigt.

Wasserstandsverändernde Effekte sind bei größeren Bauwerken ebenfalls ausgeprägter. Damit kann nicht der Bodenwasserhaushalt bauwerksumgebender ufernaher Böden verändert werden.

➤ Vegetation

Werden durch flächenhafte Strombauwerke neue Standorte für die Vegetation geschaffen, können größere Flächen tendenziell mit einer höheren Artenvielfalt und größeren Populationen besiedelt werden als kleinere Flächen. Sofern bestehende Vegetationsbestände bei der Anlage flächenhafter Strombauwerke überdeckt werden, sind die Auswirkungen von der Größe und der Wertigkeit der beeinträchtigten Vegetationsbestände abhängig.

Weitere Auswirkungen auf die Vegetation sind gegebenenfalls als Folgewirkungen hydrologischer und morphologischer Wirkungen möglich. So können erhöhte Verlandungsprozesse am Ufer beispielsweise eine Ausbreitung oder Neuansiedlung der Ufervegetation zur Folge haben.

➤ Fauna

Die Flächengröße beeinflusst direkt - über den zur Verfügung stehenden Besiedlungsraum bzw. die in Anspruch genommene Fläche - sowie indirekt - aufgrund der hydrologisch-morphologischen Auswirkungen und der Habitatheterogenität - die Auswirkungen auf die Fauna.

Wird durch ein Strombauwerk neuer Siedlungsraum geschaffen, wird eine größere Fläche vermutlich vielfältigere Lebensraumstrukturen aufweisen und mehr Ressourcen bieten. Daher ist bei zunehmender Flächengröße mit einer größeren Artenvielfalt und größeren Beständen zu rechnen. Vor allem bei isolierten Habitaten wie z. B. einer Insel ist die Flächengröße bedeutend: Mit zunehmender Fläche wird auch die Artenzahl zunehmen, bzw. sind für einige Arten bestimmte Mindestgrößen erforderlich, um adäquate Lebensraumstrukturen zu bieten. Beispielsweise müsste, um für die in Kolonien brütenden Küsten- bzw. Flusseeeschwalben ein Brutrevier zu schaffen, eine aufgespülte Sandinsel eine bestimmte Größe aufweisen.

Mit zunehmender Flächengröße eines Strombauwerks nehmen mögliche Beeinträchtigungen für die Fauna, sowohl auf der in Anspruch genommenen Fläche als auch durch Änderungen der hydrologisch-morphologischen Bedingungen zu.

➤ Landschaftsbild

Von den flächenhaften Strombauwerken wirken sich nur die Inseln und die Ufervorspülungen auf das Landschaftsbild aus. In Bezug auf die Auswirkungen, die aufgrund der Flächengröße verursacht werden, muss der Gewässerquerschnitt im betrachteten Flussabschnitt mit berücksichtigt werden, aber auch andere Parameter, wie z. B. Höhe und Form (lang und schmal, breit usw.) dieser Strombauwerke. Entscheidend ist auch, ob diese Strombauwerke natürlichen Strukturen in einem Ästuar entsprechen. Je größer diese Strombauwerke sind, desto größer ist die Wirkung auf das Landschaftsbild.

#### 4.2.1.2.1.2 Oberflächenniveau

➤ Hydrologie

Mit zunehmender Höhe des Strombauwerks wird die Konzentration der Strömung auf die Haupttrinne verstärkt. Die Auswirkungen auf die Strömungsgeschwindigkeiten am Strombauwerk und im übrigen Wasserkörper hängen von zahlreichen Faktoren wie Relief, Strömungsverteilung im Querprofil und Oberflächenrauheit des Bauwerks ab.

➤ Morphologie

Wenn durch das Strombauwerk der durchflossene Querschnitt deutlich verringert wird, werden sich die Strömungsgeschwindigkeiten in der Hauptrinne erhöhen und durch Impulsaustausch und auftretende Sekundärströmungen kann es an den Bauwerksträndern zu verstärkter Erosion kommen. Da die Strömungsgeschwindigkeiten an der Oberfläche von verschiedenen morphologischen und hydraulischen Faktoren abhängig sind, sind die morphologischen Änderungen an der Oberfläche des Strombauwerks nicht prognostizierbar. Siehe auch Kapitel 4.2.2 „Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte“.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Das Oberflächenniveau des Strombauwerkes bestimmt die Wassertiefe in diesem Abschnitt des Querprofils. Mit abnehmender Wassertiefe geht eine Erhöhung der Wiederbelüftungsrate des Wasserkörpers einher, da der über die Oberfläche mit Sauerstoff zu versorgende Wasserkörper abnimmt. Die Wiederbelüftungsrate ( $k$ ) ist wie folgt von der mittleren Wassertiefe ( $H$ ), dem Rauigkeitsbeiwert ( $K_s$ ) und der Fließgeschwindigkeit ( $v$ ) abhängig.

$$\text{Empirische Wiederbelüftungsformel: } k = \left( 3 + \frac{40}{K_s} \right) * \frac{v}{H^2} + \frac{0,5}{H}$$

$H$  = mittlere Wassertiefe

$v$  = mittlere Fließgeschwindigkeit

$K_s$  = Rauigkeitsbeiwert

Gleichzeitig verbessern sich mit abnehmender Wassertiefe die Wachstumsbedingungen für das Phytoplankton, da deren Lichtversorgung durch die relative Zunahme der photischen Wasserschicht gegenüber der aphotischen Schicht verbessert wird. Als Folge nimmt die Bedeutung des biogenen Sauerstoffeintrags zu.

Bei sehr geringen Wassertiefen (< ca. 0,5 bis 1 m) mit einem Lichteinfall bis auf den Gewässergrund ist eine Besiedlung der Flächen durch das Phytobenthos möglich.

➤ Boden

Bei Höhenlagen oberhalb von MTnw können sich auf den Bauwerken semisubhydrische Watten und semiterrestische Rohmarschen und bei weiterer Bodengenesse auch Marschen mit deren Varietäten entwickeln. Liegt das Oberflächenniveau gar oberhalb von MThw, so sind auch Entwicklungen zu terrestrischen Böden möglich (z. B. Regosole). Höhenlagen unterhalb von MTnw sind nicht mehr innerhalb des Geltungsbereiches für das Schutzgut Boden zu diskutieren.

Je höher das Bauwerk angelegt wird, desto größer ist innerhalb des Tidezyklusses sein hydrologischer Effekt mit einer Konzentration der Strömung in bestimmten Bereichen des Flussquerschnitts. Die mögliche Erosion von Bodenmaterial an der Bauwerksoberfläche und gegebenenfalls auch an den Bauwerksträndern (hier unter Umständen verbunden mit einem Uferverlust von Watten oder Rohmarschen) kann ufernahe Watten und Rohmarschen durch Sedimentation dieses suspendierten Feinmaterials im Bauwerksumfeld belasten. Ein Aufwachsen dieser Böden ist die Folge.

➤ Vegetation

Das Oberflächenniveau von Strombauwerken ist von entscheidender Bedeutung für die Besiedlung der Strombauwerke mit Pflanzen. Unterhalb einer Höhe von MThw -1,5 m erfolgt keine Besiedlung mit Pflanzen, denn Wasserpflanzen kommen derzeit wegen des erhöhten Tidehubs und der starken Trübung in der Unterelbe nicht vor. Tabelle 4.2-2 stellt die Zonierung der naturnahen Vegetationseinheiten im **limnischen** Bereich der Elbe entlang des Höhengradienten dar. Oberhalb des vegetationslosen Watts schließt sich ab einer Höhe von ca. MThw -1,5 m das lockere Röhricht der Salz-Teichsimse (*Schoenoplectus tabernaemontani*) an. Zwischen MThw -1 m und MThw treten Strandsimsen- und Rohrkolben-Röhrichte auf. Darüber befindet sich zumeist ein Schilf-Röhricht, das teilweise mit einer artenreichen Krautschicht besiedelt ist (z. B. mit Schierlings-Wasserfenchel (*Oenanthe conioides*) oder Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*)).

Oberhalb des mittleren Tidehochwassers schließen sich Weichholzaue und Hartholzaue an. Sie sind aufgrund der derzeitigen Nutzungen im Außendeichsgebiet auf Restbestände reduziert und zumeist durch Hochstaudenfluren und Grünlandgesellschaften ersetzt.

**Tabelle 4.2-2: Höhenzonierung der Vegetation im limnischen Abschnitt der Unterelbe (an naturnahen Standorten)**

Höhenzone	Pflanzengesellschaft	Charakteristische Arten
MThw -1,5 m bis MThw -1 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salz-Teichsimsen-Röhricht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salz-Teichsimse (<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>)</li> <li>Dreikantige Teichsimse (<i>Schoenoplectus triquetus</i>)</li> </ul>
MThw -1 m bis MThw -0,5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strandsimsen-Röhricht</li> <li>Rohrkolben-Röhricht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strandsimse (<i>Bolboschoenus maritimus</i>)</li> <li>Schmalblättriger Rohrkolben (<i>Typha angustifolia</i>)</li> </ul>
MThw -0,5 m bis MThw	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schilf-Röhricht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schilf (<i>Phragmites australis</i>)</li> <li>Schierlings-Wasserfenchel (<i>Oenanthe conioides</i>)</li> <li>Sumpf-Dotterblume (<i>Caltha palustris</i>)</li> </ul>
MThw bis ca. MThw +2 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bruchweiden-Auwald</li> <li>Eichen-Ulmen-Auwald</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Silber-Weide (<i>Salix alba</i>)</li> <li>Fahl-Weide (<i>Salix x rubens</i>)</li> <li>Schwarz-Pappel (<i>Populus nigra</i>)</li> <li>Stieleiche (<i>Quercus robur</i>)</li> </ul>

Eine ähnliche Höhenzonierung ergibt sich für den **oligo- bis mesohalinen** Abschnitt der Unterelbe. Im oligohalinen Abschnitt reichen die tiefsten Bestände bis ca. MThw -1,5 m (*Schoenoplectus*-Einzelbestände), im mesohalinen Bereich liegen sie bei ca. MThw -0,8 m (Strandsimsen-Röhricht) (OERTLING 1992). Darüber könnten sich ohne Nutzungseinfluss Eschen-Ulmen- und Eichen-Eschen-Auwälder entwickeln, die aber aufgrund der Beweidung größtenteils Grünländern gewichen sind.

Im **polyhalinen bis marinen** Abschnitt des Elbe-Ästuars besteht die naturnahe Vegetation der Außendeichsbereiche vorwiegend aus Salzwiesen. Tabelle 4.2-3 zeigt die Zonierung der naturnahen Vegetationseinheiten dieses Bereichs. Ständig vom Wasser bedeckte Bereiche des Wattenmeers können von Seegraswiesen besiedelt werden, die seit dem Seegrassterben von 1932 nur noch in geringen Restbeständen bei Neuwerk vorhanden sind (ARGE ELBE 2001). Zwischen MThw und MTnw herrschen vegetationlose Wattbereiche vor. Ab ca. MThw -0,4 m können die Wattflächen von Quellerwatt eingenommen werden, z. T. auch mit Andel (*Puccinellia maritima*) und Englischem Schlickgras (*Spartina anglica*) besiedelt werden. Oberhalb des MThw bildet der Andelrasen die dicht geschlossenen Bestände der unteren Salzwiese.

**Tabelle 4.2-3: Höhenzonierung der Vegetation im polyhalinen bis marinen Abschnitt der Unterelbe (an naturnahen Standorten)**

Höhenzone	Pflanzengesellschaft	Charakteristische Arten
MTnw -3 m bis MTnw	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seegraswiesen (<i>Zosterietum</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleines Seegras (<i>Zostera nol-tii</i>)</li> <li>Großes Seegras (<i>Zostera ma-rina</i>)</li> </ul>
MTnw bis MThw -0,4 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>vegetationslos</li> </ul>	
MThw -0,4 m bis MThw	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quellerwatt (<i>Salicornietum</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Queller (<i>Salicornia do-lichostachya</i>)</li> <li>Andel (<i>Puccinellia maritima</i>)</li> <li>Englisches Schlickgras (<i>Spar-tina anglica</i>)</li> </ul>
MThw bis MThw +0,25 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>untere Salzwiese:</li> <li>Andelrasen (<i>Puccinellietum mariti-mae</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Andel (<i>Puccinellia maritima</i>)</li> <li>Strandaster (<i>Aster tripolium</i>)</li> <li>Europäischer Queller (<i>Salicor-nia europaea</i>)</li> </ul>
MThw +0,25 m bis ca. MThw +0,5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>obere Salzwiese:</li> <li>Strandnelkenrasen (<i>Armerietum ma-ritimae</i>)</li> <li>Keilmelden-Gesellschaft (<i>Halimio-netum</i>)</li> <li>Strandwermut-Gesellschaft (<i>Artimi-sietum maritimae</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strandnelke (<i>Armeria mariti-ma</i>)</li> <li>Strandwermut (<i>Artemisia mari-tima</i>)</li> <li>Rotschwengel (<i>Festuca rubra</i>)</li> <li>Strandwegerich (<i>Plantago ma-ritima</i>)</li> </ul>

➤ **Fauna**

Für die Gewässerfauna im Ästuar lassen sich hinsichtlich des Tiefenniveaus im Wesentlichen folgende Lebensräume unterscheiden: der Gezeitenbereich von MTnw bis MThw (Eulitoral, Watt), der ständig wasserbedeckte Bereich unterhalb MTnw -2 m (Sublitoral) sowie die produktiven Flachwasserzonen zwischen MTnw und MTnw -2 m.

Grundsätzlich finden sich die ästuartypischen Benthosorganismen in diesen Tiefenbereichen in „fleckenhafter“ Verteilung (patchiness), wobei einzelne Arten in Abhängigkeit der hydro

logischen Faktoren und dem Substrat Präferenzen für bestimmte Bereiche zeigen. In der UVU zur Fahrrinnenanpassung der Elbe wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Besiedlungsstruktur der bodenlebenden Wirbellosen zwischen Nebenelben, Flachwasser und Tiefwasser nachgewiesen (BERNAT ET AL. 1997). Auch das Makrozoobenthos der Watt- und Flachwasserbereiche im Wischhafener Fahrwasser und im Bereich der Hahnöfer Nebenelbe und dem Mühlenberger Loch zeigte bezüglich Abundanz und Biomasse keine signifikanten Unterschiede zwischen Flachwasser und Eulitoral (BIOCONSULT 1997A).

Ästuartypische Fischarten weisen in den - durch heterogene Tiefenstrukturen und verminderte Strömungsgeschwindigkeiten charakterisierten - Nebenelben deutlich höhere Abundanzen auf als im Elbehauptstrom. Für Fischlarven wie z. B. Stint und Flunder sind Flachwasserzonen bedeutender als das Eulitoral, da die Wattflächen nur zeitweise einen Lebensraum bieten im Gegensatz zum Dauerlebensraum Flachwasser. Flachwasserzonen im limnisch-oligo-halinen Bereich der Elbe kommen tendenziell eine höhere Bedeutung als Reproduktionsgebiete für Fische und Plankton zu als in den weiter stromab gelegenen Abschnitten.

Neben der Tiefe bzw. dem Oberflächenniveau sind die hydrologischen und morphologischen Parameter wie Strömungsgeschwindigkeit, Verweil- und Überflutungsdauer des Wassers, Salinität und Sedimentstruktur bedeutsame Faktoren, welche die Lebensraumqualität und somit die Verteilung benthischer Wirbelloser und Fische beeinflussen. So sind z. B. geringe Strömungsgeschwindigkeiten und lange Aufenthaltszeiten des Wassers notwendig, um die hohe Primär- und Sekundärproduktion der Flachwasserzonen und damit den Bestand ästuariner Fischarten zu gewährleisten.

In Abhängigkeit vom Höhenniveau sowie den hydrologischen Faktoren können durch ein flächenhaftes Strombauwerk gegebenenfalls Lebensraumstrukturen für verschiedene Tierarten entstehen:

- Wattflächen werden von zahlreichen Wirbellosen besiedelt und stellen ein bedeutsames Nahrungshabitat für gebietstypische Vögel und Fische dar.
- Strömungsberuhigte Flachwasserbereiche mit langen Verweilzeiten des Wassers, als Bereich hoher Primär- und Sekundärproduktion, sind wichtige Nahrungs- und Aufwuchsgebiete ästuartypischer Plankton- und Fischarten. Insbesondere im limnisch-oligohalinen Abschnitt sind strömungsberuhigte Flachwasserbereiche ein wichtiges Brut- und Aufwuchsgebiet für den als Fischnährtier bedeutenden Copepoden *Eurytemora affinis*. Einige Fischarten (u. a. Finte, Stint) nutzen den Bereich als „Kinderstube“.
- Störungsarme Sandbänke können als Liegeplätze für Seehunde (*Phoca vitulina*) dienen. Die Wahl der Liegeplätze ist unter anderem abhängig von der Sonnen-/Windexposition, dem Neigungswinkel, den Brandungs- und Strömungsverhältnissen und der Ruhe vor Störungen.
- (Aufgespülte) Sandinseln dienen als Brutplatz z. B. für Flusseeeschwalbe, Zwergseeeschwalbe und Seeregenpfeifer.
- Einige ästuartypische Laufkäferarten sind an Salzwiesen und deren natürliche Abbruchkanten, Dünen, Spülsäume an Sand und an Sandstrände gebunden.
- Von Überflutung, Grundwasserstand und Salinität geprägte Vegetationsstrukturen sind bedeutende Lebensräume für zahlreiche gebietstypische Tierarten. Röhrichte bieten u. a.

Brutreviere für Vögel (z. B. Rohrdommel, Drosselrohrsänger) und Lebensraum für charakteristische Insektenarten. Auwälder bieten Lebensraum für Vögel und Insekten.

Durch flächenhafte Strombauwerke können nur dann faunistisch wertvolle Lebensraumstrukturen entstehen, wenn neben dem Oberflächenniveau auch morphologische und hydrologische Parameter entsprechend ausgeprägt sind, da die Qualität bzw. Funktion der Lebensraumstrukturen eng an hydrologische Strukturen (u. a. Salinität, Strömung, Verweil- und Überflutungsdauer) und morphologische Strukturen (u. a. Sedimentqualität) gekoppelt ist.

#### ➤ Landschaftsbild

In Bezug auf das Oberflächenniveau ist die umgebende räumliche Situation, sowie - bei ufernahen Strukturen - das Höhenniveau angrenzender Flächen von Bedeutung. Da sich Inseln und Ufervorspülungen in wesentlichen Parametern, wie z. B. den angrenzenden Flächenstrukturen oder der Ufernähe unterscheiden, werden die Wirkungen dieser Parameter bei den jeweiligen Strombauwerken beschrieben.

#### **4.2.1.2.1.3 Neigung der Randbegrenzung**

##### ➤ Hydrologie

Bei Strombauwerken mit flachen Randbegrenzungen bzw. Böschungen entstehen an der Luv- und Leeseite weniger Verwirbelungen als bei steilen Böschungen. Ferner reduzieren flache Böschungen die hydraulische Belastung durch Wellenschlag.

##### ➤ Morphologie

Die maximale Böschungsneigung, die gewählt werden kann, ist abhängig vom natürlichen Böschungswinkel des Materials, aus dem die Randbegrenzung hergestellt wird. Der natürliche Böschungswinkel (Böschungsgrad) ist derjenige Winkel, unter dem sich loses Material, wie beispielsweise Wasserbausteine, gerade noch anschütten (anböschten) lässt ohne abzurutschen. Bei gebrochenen Steinen beträgt dieser Winkel etwa 30° bis 45°. Werden als Randbegrenzung geotextile Container verwendet, können auch andere Böschungsneigungen hergestellt werden.

Die Böschungsneigung ist weiterhin für den Strömungswiderstand maßgebend. Je nach Form und Neigung der Böschung und der Geschwindigkeit der Strömung bildet sich durch Strömungsablösung ein Wirbelgebiet aus. Die lokale Erhöhung der Turbulenz kann zu einer Zunahme der Erosion am Böschungsfuß führen.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Flache Böschungen weisen eine geringere hydraulische Belastung durch Wellenschlag auf. Damit geht eine größere Lagestabilität der Sedimente einher, so dass in dieser Hinsicht eine Besiedlung durch das Phytobenthos erleichtert wird. Gleichzeitig entstehen durch flache Böschungen besser durchlichtete und damit besser mit Sauerstoff versorgte Gewässerbereiche (siehe auch Kapitel 4.2.1.1.1.2 „Material für die Randsicherung“).

##### ➤ Boden

Flache Neigungen ermöglichen die Ausprägung entsprechend „breiter“ Watten- und Rohmarschengürtel am Bauwerk. Im limnischen Bereich der Unterelbe sind dabei seltene Flusswatten

entwickelbar. Da flache Neigungen bei Strömungsangriff auch wenig erosionsanfällig sind, können sich hier ästuartypische Böden und Bodenfunktionen etablieren.

Steile Ufer mit einer Sicherung durch Steine oder geotextile Behälter besitzen keine Möglichkeit zur Ausbildung solcher Böden und Bodenfunktionen. Zudem erzeugen steile Ufer mehr lokale Turbulenzen im Fluss, die zu einer potenziellen Erosion von Bodenmaterial auch am Bauwerksfuß führen können. Suspendiertes Feinmaterial kann nach dem Weitertransport wieder in strömungsberuhigten Bereichen sedimentieren und dabei Watten und Rohmarschen im Bauwerksumfeld überformen.

#### ➤ Vegetation

Die Neigung der Randbegrenzung hat sowohl bei Strombauwerken mit Randsicherung als auch bei Strombauwerken ohne Randsicherung Auswirkungen auf die Vegetation, wobei nachfolgende Ausführungen nur für Strombauwerke gelten, die auch den für die Vegetation besiedelbaren Bereich oberhalb von ca. MThw -1,5 m erfassen. Das betrifft „Inseln“ und „Ufervorspülungen“.

Ohne Randsicherung können sich - sofern die erforderlichen Standortbedingungen gegeben sind - naturnahe Vegetationsbestände einstellen. Nur bei einer flachen Uferneigung (weniger als 1 : 20) ist allerdings die Ausbildung einer naturnahen Vegetationszonierung möglich. Steilere Neigungen können dazu führen, dass das Minimum an Siedlungsfläche, das bestimmte Vegetationstypen benötigen, unterschritten wird.

Bei einem Strombauwerk mit Randsicherung ist die Vegetationsbesiedlung eingeschränkt und es wird sich keine naturnahe Vegetationszonierung ausbilden können (siehe Kapitel 4.1.1). Daher hat die Neigung der Randsicherung eine geringere Bedeutung für die Vegetation. Eine relativ flache Neigung der Randsicherung fördert zwar die Vegetationsbesiedlung durch eine Flächenzunahme auf der Randsicherung selbst. Wesentlicher ist dabei jedoch, dass die Randsicherung dann eine größere Fläche auf Kosten anderer Habitats einnimmt, die möglicherweise wesentlich besser mit Pflanzen besiedelt werden können.

#### ➤ Fauna

Durch den Neigungswinkel der Randsicherung verändern sich die einwirkenden hydrologischen Faktoren sowie die Größe des besiedelbaren Raumes (siehe Kapitel 4.1.1). Generell wird durch eine flache Böschung die hydraulische Belastung durch Wellenschlag reduziert. Je nach Neigung wird eine Randsicherung nötig, wobei das verwendete Material für die Besiedlung eine wichtige Rolle spielt (siehe Kapitel 4.1.1). Indirekte Auswirkungen für die tierische Besiedlung ergeben sich infolge der Vegetation. Eine naturnahe Vegetationszonierung entwickelt sich am ehesten bei flachen Ufern, wodurch Brut- und Nahrungsräume entstehen können und somit zur Förderung ästuartypischer Tierarten beitragen.

#### ➤ Landschaftsbild

Die natürlichen Ufer der Elbe mit ihren Vorländern, Wattbereichen oder die Ufer von Inseln und Sänden sind meist flach ausgebildet. Abschnittsweise finden sich jedoch auch steilere Bereiche in Form von Abbruchkanten in Bereichen mit stark bindigem Material. Damit flächenhafte Strombauwerke in den für das Landschaftsbild wirksamen Bereichen etwa oberhalb

MTnw ohne eine technische Randbegrenzung hergestellt werden können, sind flache Neigungen der Randbegrenzung - möglichst kleiner als 1 : 10 - vorzusehen. Sind steilere Randbegrenzungen erforderlich, müssen Materialien verwendet werden, die im Ästuar als naturfern gelten und sich nachteilig auf das Landschaftsbild auswirken. Diese steileren und künstlichen Randbegrenzungen haben auch deutlich nachteiligere Wirkungen auf das Landschaftsbild als die bereits genannten natürlichen Abbruchkanten.

#### 4.2.1.2.1.4 Form

##### ➤ Hydrologie

Durch eine Verlängerung der Randlinie nimmt ihre Rauheitswirkung im Vergleich zur „Regelform“ zu und es kann zu Wirbelbildungen am Bauwerksrand kommen. Dies begünstigt sowohl die Ausbildung von strömungsberuhigten Bereichen als auch von Bereichen mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit im direkten Umfeld des Bauwerks.

##### ➤ Morphologie

Die unter dem Abschnitt „Hydrologie“ beschriebenen Wirkungen begünstigen Auflandungstendenzen in strömungsberuhigten Zonen. In Zonen erhöhter Strömungsgeschwindigkeit bilden sich aber auch erosionsgefährdete Bereiche aus.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe Kapitel 4.2.1.2.1.3 „Neigung der Randbegrenzung“.

##### ➤ Boden

Gegenüber der Regelbauweise wird durch eine veränderte Randlinie ein größerer Umfang des Bauwerkes erreicht, womit auch mehr Bereiche zur Entwicklung ufernaher semisubhydrischer Watten und semiterrestrischer Rohmarschen zur Verfügung stehen. Diese stellen dann ästuartypische Bodenfunktionen bereit. Vor allem bei flachen Ufern wird damit in der Wasserwechselzone des Bauwerkes die besondere Lebensraumfunktion dieser uferbildenden Böden für Fauna und Flora flächenhaft zur Verfügung gestellt. Durch die Ausprägung unterschiedlicher Bereiche mit Erosion und Sedimentation aufgrund einer ufernahen Wirbelbildung entsteht ein heterogenes Muster von initialen und weiter entwickelten Böden. Dieser bodenbildende Prozess der Stoffumlagerung ist typisch für den Ästuarbereich.

Durch die Wahl unterschiedlicher Bodenmaterialien kann direkt der Aufbau der entstehenden Bauwerksböden und damit auch ihre Entwicklung und Funktionalität gesteuert werden. Diese ist vorwiegend durch die Körnung der Baumaterialien, ihre stofflichen Eigenschaften sowie ihre vertikale Schichtung im Bauwerk bestimmt. So lassen sich mit grobkörnigen Materialien eher trockene, wechselfeuchte oder auch trockene Bereiche konstruieren. Mit bindigeren Materialien können eher dauerfeuchte oder wasserstauende Bereiche initiiert werden. Die gezielte Verteilung dieser Materialien in der Fläche des Bauwerkes (z. B. zentrale Bereiche, Randbereiche) kann ein räumliches Muster unterschiedlicher Böden und Funktionen schaffen. Damit kann eine Variabilität von Böden und Bodenfunktionen im Bauwerk gestaltet werden.

Gleiches gilt für die Ausbildung von Höhenprofilierungen. Damit sind vor allem der bodenbildende Einfluss von Wasser innerhalb des Tidezyklusses sowie Stoffverlagerungsprozesse (z. B. Entsalzung) steuerbar. Ständig wassererfüllte, wechselfeuchte und eher trockene Areale

sind konstruierbar. Damit sind Bodenentwicklungen von semisubhydrischen bis hin zu terrestrischen Böden erreichbar.

➤ Vegetation

Auswirkungen auf die Vegetation können sich aufgrund möglicher morphologischer Veränderungen verschiedener Formen flächenhafter Strombauwerke ergeben. Bei ufernahen Auflandungstendenzen ist eine Zunahme der Ufervegetation, bei ufernahen Erosionstendenzen entsprechend eine Abnahme der Ufervegetation möglich. Genauere Angaben finden sich in Kapitel 4.2.4 (Inseln) und 4.2.5 (Ufervorspülungen).

➤ Fauna

Die Form flächenhafter Strombauwerke wirkt sich auch auf die faunistische Besiedlung aus. Mehrere kleinere aneinander gereihte Strombauwerke werden sich durch eine vermutlich höhere Habitatheterogenität bei gleicher Fläche auszeichnen als ein zusammenhängendes großes Strombauwerk. Daher ist - ausgehend von einer gleich großen Gesamtfläche - bei einer Ansammlung kleinerer Strombauwerke tendenziell mit einer höheren Artenvielfalt zu rechnen als bei einem einzelnen. Allerdings sind insbesondere im terrestrischen Bereich einige Artengruppen wie beispielsweise Vögel aufgrund ihrer Reviergrößen auf eine Mindestgröße bestimmter zusammenhängender Lebensraumstrukturen angewiesen. Eine verlängerte Randlinie führt zur Raumvergrößerung im Randbereich und aufgrund hydrologisch-morphologischer Auswirkungen wird eine zusätzliche Strukturierung geschaffen, indem Erosions- und Sedimentationsbereiche entstehen, die wiederum Auswirkungen auf die Besiedlung durch Wirbellose und Fische haben. Insgesamt profitieren jeweils unterschiedliche Arten von der Strukturvielfalt bzw. Flächengröße bestimmter Habitate.

➤ Landschaftsbild

Eine „Regelform“ gibt einem flächenhaften Strombauwerk einen sehr technischen Charakter. Unregelmäßige Formen mit verlängerten Randlinien sowie Formen mit strukturierter Oberfläche entsprechen mehr den natürlicherweise vorkommenden Formen und können zu einer Vergrößerung der landschaftlichen Strukturvielfalt führen. Weitergehende Aussagen zur Form erfolgen in den Kapiteln 4.2.4 (Inseln) und 4.2.5 (Ufervorspülungen).

#### **4.2.1.2.1.5 Lage im Querprofil des Stroms**

➤ Hydrologie

Die Lage eines Strombauwerks im Querprofil beeinflusst die hydraulischen Veränderungen wesentlich. Bei einer ufernahen Lage können sich durch die Bildung von Nebenrinnen bzw. Nebenarmen lokal besondere Strömungsbedingungen einstellen, z. B. können strömungsberuhigte Bereiche entstehen (siehe Kapitel 4.2.2 „Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte“ und Kapitel 4.2.4 „Inseln“).

➤ Morphologie

Eine Unterwasserablagerungsfläche bzw. eine Insel in Flussmitte ist - in einer geraden Fließstrecke - aufgrund der dort herrschenden größeren Geschwindigkeiten einem höheren Strömungsangriff ausgesetzt als eine randliche Unterwasserablagerungsfläche oder Ufervorspülung. Wenn nicht durch eine erosionsstabile Abdeckung vorgesorgt wird, ist die Gefahr der Materialverdriftung bei einem Bauwerk in Flussmitte am größten. Im Bereich von Kurven

sind die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten im Außenbereich der Kurve anzutreffen, weiterhin sorgen Sekundärströmungen dafür, dass Material vom Prallhang zum Gleithang transportiert wird. Wenn ein flächenhaftes Strombauwerk in einer Außenkurve angelegt werden soll, müssen diese Effekte bei der Wahl der Abdeckung und bei der Randsicherung berücksichtigt werden.

Wird durch eine flächige Unterwasserablagerungsfläche der durchflossene Querschnitt einer Nebenelbe oder Nebenrinne verkleinert, so wird diese je nach Oberflächenniveau schwächer oder gar nicht mehr durchströmt. Als Folge davon kann es zu Anlandungen in der Nebenrinne oder Nebenelbe kommen.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Führt die Lage des Bauwerkes im Querprofil zur Ausbildung einer Haupt- und Nebenrinne, so sind die Aussagen insbesondere von Kapitel 4.1.2.1.1.1 „Allgemeine Wirkungen“ gültig.

➤ Boden

Die Lage eines Bauwerkes im Querprofil definiert das Ausmaß seiner hydrologischen Wirkungen und der nachfolgenden morphologischen Prozesse. Auswirkungen auf den Boden sind dabei im Wesentlichen durch die Wirkungskette von Erosion und Weitertransport von Bodenmaterial im Fluss bzw. am Bauwerk und durch die Sedimentation auf ufernahen Böden im Bauwerksumfeld darstellbar. Die Effekte sind mit denen der Leitwerke vergleichbar und sind im Kapitel 4.1.3 eingehend dargestellt.

➤ Vegetation

Hinsichtlich der Lage im Querprofil gilt, dass ufernahe Standorte schneller und durch eine größere Zahl an Arten als uferferne Standorte besiedelt werden. So kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass in der Strommitte liegende inselförmige Strombauwerke zu Beginn hauptsächlich durch eine Verbreitung mit dem Wind bzw. durch Tiere besiedelt werden können, woraus sich relativ langsame Sukzessionsprozesse mit reduzierter Artendiversität ergeben. Strombauwerke, die direkt am Ufer angelegt werden, können auch durch Arten mit geringer Ausbreitungsfähigkeit besiedelt werden, insbesondere durch Arten, die bereits im direkten Umfeld vorkommen.

Durch Strombauwerke, die unmittelbar am Ufer gebaut werden, können bestehende Vegetationsbestände überdeckt und damit zerstört werden. Die Wirkung ist dann von der Wertigkeit der betroffenen Vegetation abhängig.

➤ Fauna

Durch die unterschiedliche Lage von flächenhaften Strombauwerken im Querprofil ergeben sich aufgrund hydrologisch-morphologischer Effekte indirekte Auswirkungen auf die Fauna. Beispielsweise bieten die von Inseln abgetrennten Nebenrinnen eine stärker vor Wellenschlag geschützte Uferlinie und möglicherweise können durch verringerte Strömung und Sedimentation faunistisch wertvolle Flachwasserbereiche entstehen. Wird hingegen die Strömung in den Randbereichen bzw. einer Nebenrinne aufgrund eines randlich gelegenen Strombauwerks (z. B. einer Insel) erhöht, kann dies zu Beeinträchtigungen für die Fauna führen, da möglicherweise Larven und Jungfische aus ihren Aufwuchsgebieten verdriftet werden.

➤ Landschaftsbild

Die Lage eines flächenhaften Strombauwerks im Querprofil hat in erster Linie hinsichtlich der Art des Strombauwerks - inselartige Strombauwerke im Gewässer, Ufervorspülungen am Ufer bzw. im Vorlandbereich - Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln zu diesen beiden Strombauwerke beschrieben.

#### 4.2.1.2.1.6 Lage im Längsprofil des Stroms

➤ Hydrologie

Vom limnischen Abschnitt des Elbe-Ästuars bei Geesthacht bis zur Mündung in die Nordsee steigt der Durchflussquerschnitt um ein Vielfaches an. Daher sind - wie bereits in Kapitel 4.1.1 beschrieben - auch die lokalen Auswirkungen flächenhafter Strombauwerke gleicher Größe im limnischen und oligohalinen Bereich wesentlich größer als im polyhalinen und marinen Bereich.

➤ Morphologie

Siehe Kapitel 4.1.1.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe Ausführungen zum Schwebstoffdargebot in Kapitel 4.1.2.1.1.1 „Allgemeine Wirkungen“.

➤ Boden

Die Position im Längsverlauf der Elbe beschreibt, ob saline, brackige oder vom Süßwasser geprägte Bauwerksböden entstehen und ob ufernahe Böden im direkten Umfeld der Bauwerke von hydromorphologischen Wirkmechanismen des Bauwerkes betroffen sind. Diese sind dabei in stromauf gelegenen Bereichen größer als in stromab gelegenen. Die bauwerksbedingten Wirkungen durch die Sedimentation von Feinmaterial auf ufernahen Böden in strömungsberuhigten Bereichen sind in den Kapiteln 4.1.1 und 4.1.3 dargestellt.

➤ Vegetation

Die Lage im Längsprofil hat aufgrund des Salinitätsgradienten große Auswirkungen auf die Vegetation. Die Vegetation der einzelnen Abschnitte wurde bereits unter Kapitel 4.2.1.2.1.2 „Oberflächenniveau“ beschrieben. Der **limnische** Abschnitt wird oberhalb des vegetationsfreien Watts von verschiedenen Röhrichten und oberhalb MThw von der Weich- und Hartholzaue bestimmt.

Im **oligo- bis mesohalinen** Bereich der Unterelbe tritt das Strandsimsen-Röhricht mit zunehmendem Salzgehalt an die Stelle des Schilf-Röhrichts. Die limnischen Arten treten zurück und einzelne salzliebende Arten wie Strand-Aster (*Aster tripolium*), Dänisches Löffelkraut (*Cochlearia anglica*) und Milchkraut (*Glaux maritima*) treten auf. Eine typische Art brackiger Standorte ist die Krähenfuß-Laugenblume (*Cotula coronopifolia*). Mit zunehmendem Salzgehalt steigt die Untergrenze der Vegetationsbesiedlung an. Während im oligohalinen Abschnitt die tiefsten Bestände bis ca. MThw -1,5 m (*Schoenoplectus*-Einzelbestände) reichen, liegen sie nach OERTLING (1992) im mesohalinen Bereich bei ca. MThw -0,8 m (Strandsimsen-Röhricht).

Im **polyhalinen und marinen** Abschnitt der Außenelbe werden die Röhrichte größtenteils von Salzwiesen abgelöst, mit einer typischen Zonierung von Quellerwatt sowie untere und obere Salzwiese. Gehölzbestände treten hier nicht mehr auf.

Tabelle 4.2-4 fasst die Vegetationszonierung entlang des Salinitätsgradienten für die Unterelbe zusammen. Die dargestellten Vegetationstypen beziehen sich auf naturnahe Standortbedingungen und stellen somit das theoretische Artenpotenzial für die mögliche Besiedlung von flächenhaften Strombauwerken dar.

**Tabelle 4.2-4: Vegetation der Unterelbe entlang des Salinitätsgradienten (unter naturnahen Standort-Bedingungen)**

Höhenzone	Salinität		
	limnisch	oligo- bis mesohalin	polyhalin bis marin
MThw -1,5 m bis MThw	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teichsimsen-Röhricht mit Salz-Teichsimse oder Dreikantiger Teichsimse</li> <li>• Strandsimsenröhricht</li> <li>• Schilf-Röhricht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strandsimsen-Röhricht</li> <li>• Rohrkolben-Röhricht</li> <li>• Brackwasser-Schilf-Röhricht</li> <li>• Krähenfuß-Laugenblumen-Gesellschaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quellerwatt (<i>Salicornietum</i>)</li> </ul>
MThw bis ca. MThw +2 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weichholzaue (Bruchweiden-Auwald)</li> <li>• Hartholzaue (Eichen-Ulmen-Auwald)</li> <li>• bei Nutzung: Hochstaudenfluren oder Grünländer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eschen-Ulmen-Auwald</li> <li>• Eichen-Eschen-Auwald</li> <li>• bei Nutzung: Hochstaudenfluren oder Grünländer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andelrasen (<i>Puccinellietum maritimae</i>)</li> <li>• Strandnelkenrasen (<i>Armerietum maritimae</i>)</li> </ul>

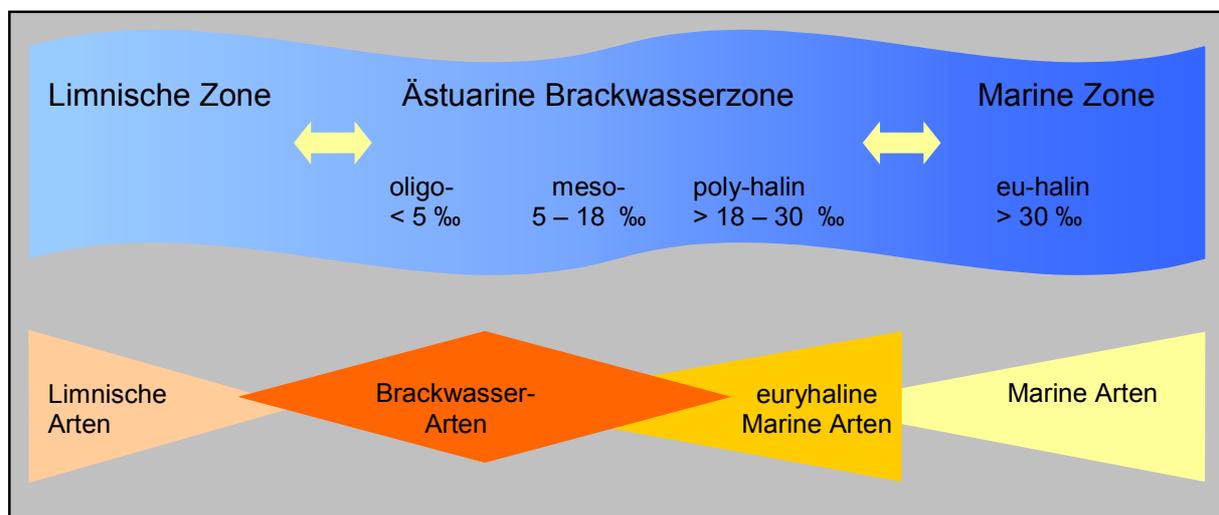
➤ Fauna

Aufgrund wechselnder abiotischer Lebensbedingungen weisen Ästuare eine deutliche Längszonierung in der Besiedlung auf. Die Struktur der Benthoszönose wird neben den hydrologischen Faktoren und den Substratverhältnissen maßgeblich durch die Salinitätsverhältnisse geprägt. In Kapitel 4.1.1 wurde bereits die Besiedlung von Hartsubstraten entlang des Salzgehaltgradienten beschrieben. Nachfolgend wird die Besiedlung der anstehenden Sedimente betrachtet.

Die meisten marinen Arten sind auf konstant hohe Salzgehalte angewiesen (stenohalin) und tolerieren nur begrenzt eine Verdünnung mit Flusswasser. Einige so genannte euryhaline Arten tolerieren größere Salzgehaltsschwankungen und dringen im Ästuar weiter stromaufwärts vor. Mit abnehmendem Salzgehalt verarmt die marine Fauna und limnische Arten treten noch

nicht auf, so dass die Artenzahl sinkt. Die so genannten genuinen Brackwasserarten sind auf diesen - von der Süßwasserfauna und stenohalinen Meeresfauna gemiedenen - Bereich spezialisiert und kommen nur hier vor. In der Brackwasserzone kommen zahlreiche euryhaline und Brackwasserarten gemeinsam vor (siehe Abbildung 4.2-3).

In Abhängigkeit vom Salzgehalt entlang des Längsgradienten lassen sich Gemeinschaften mit charakteristischer Artenzusammensetzung und Besiedlungsdichte differenzieren. In einem Ästuar nimmt prinzipiell die Artenvielfalt mit abnehmendem Salzgehalt stetig ab, mit einem natürlichen Artenminimum in der Brackwasserzone, und steigt dann moderat im limnischen Bereich wieder an. Für die bodenlebenden Wirbellosen gilt in der Regel, dass Artenvielfalt und Biomasse im Brackwasserbereich absinken, während die Besiedlungsdichte steigt, da kleine Arten dominieren.



**Abbildung 4.2-3: Längszonierung der benthischen Fauna entlang des Salinitätsgradienten im Ästuar.**

**Sublitoral:** Entlang des Salinitätsgradienten können in der Tideelbe unterschiedliche Gemeinschaften unterschieden werden (u. a. BIOCONSULT 2004, BERNAT ET AL. 1997). Die Benthosbesiedlung im limnisch-oligohalinen Abschnitt lässt sich grob als Oligochaeta-Crustacea-Gemeinschaft charakterisieren. Vom Süßwasser bis in den Grenzbereich der Brackwasserzone dominieren die Wenigborster (Oligochaeta) die Wirbellosengemeinschaft. Charakteristische Arten für sandige Sedimente beispielsweise in der Fahrrinne sind *Propap-pus volki* und Tubificiden (*Limnodrilus* spp.). Stenotop und fast ausschließlich nur in reinen Sanden vorkommend ist *P. volki*, während die meisten anderen Wenigborster anpassungsfähig sind und verschiedene Sedimenttypen besiedeln. Im Mesohalinikum treten zwar noch einige Faunenelemente der limnisch-oligohalinen Gemeinschaft auf, die Besiedlung wird aber zunehmend von marinen Polychaeten geprägt. Da einige limnische Arten nicht mehr und von den marinen Arten noch nicht alle auftreten, sinkt die Artenzahl. Typische Vertreter im artenarmen mesohalinen Elbeabschnitt sind der Keulenpolyp *Cordylophora caspia*, der Tubificide *Tubifex costatus*, die Flohkrebse *Gammarus salinus* und *G. zaddachi*, der Schlickkreb *Corophium lacustre* und die Neuseeländische Deckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum*. Die Brackwasserzone zeichnet sich durch ein Artenminimum aus. In der Elbe wurde dies bei km

700 und 670 verzeichnet. Im polyhalinen Bereich des äußeren Elbe-Ästuars sind Vielborster (*Nephtys* spp., *Heteromastus filiformis*) und Krebse (*Bathyporeia* spp., *Haustorius arenarius*) die dominierenden Gruppen. Die Zahl der Muschelarten nimmt in diesem Abschnitt zu, wobei nur die Tellmuschel *Macoma balthica* in vergleichsweise hohen Abundanzen auftritt.

**Eulitoral:** Neben den Substrateigenschaften (s. o.) werden die Lebensgemeinschaften der Wattflächen durch die Lage im Ästuar geprägt: Im Vergleich zum marinen Watt weisen die Süßwasserwatten eine geringere Artenvielfalt auf, wobei die Produktivität vergleichbar ist. Die geringe Artenzahl im limnischen Bereich wird durch hohe Individuendichten ausgeglichen. Die Produktivität der Brackwasserwattflächen ist deutlich geringer.

#### ➤ Landschaftsbild

Die Auswirkungen eines gleich großen flächenhaften Strombauwerks werden mit zunehmender Lage stromaufwärts und einem dabei geringer werdenden Querschnitt zwischen den Deichen zunehmen. Dabei ist jedoch zwischen den beiden in Bezug auf das Landschaftsbild relevanten flächenhaften Strombauwerken zu unterscheiden - siehe Kapitel 4.2.4 (Inseln) und 4.2.5 (Ufervorspülungen).

#### 4.2.1.2.2 Bauweisen - Bewertung der ökologischen Wirkungen

##### ➤ Boden, allgemeines zu Bauweisen, Bewertung

##### *Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Durch die Wahl der Bauweise flächenhafter Strombauwerke ab Höhenlagen oberhalb MTnw kann zum Erreichen des schutzgutbezogenen Umweltziels beigetragen werden. Vor allem bei großen Bauwerken aus natürlichen Bodenmaterialien mit unterschiedlichen Höhenniveaus, flacher Uferneigung und variabel gestalteter Uferlinie können naturnahe Böden entwickelt und durch ortsfeste Anlage auch erhalten werden. Entsprechende natürliche Bodenfunktionen werden zur Verfügung gestellt. Sowohl seltene Böden (z. B. Flusswatten in vom Süßwasser geprägten Elbeabschnitten) als auch Böden besonderer Standorteigenschaften (z. B. bei Oberflächenniveau oberhalb MThw) können entstehen. Auch in bauwerksbedingt neu geschaffenen Nebenarmen ist die Entwicklung naturnaher Böden möglich, die durch bauwerksinduzierte Verlandung in ufernahen strömungsberuhigten Bereichen entstehen.

##### *Zielzustand Schutzgut Boden*

Mit der Schaffung der Bauwerksböden (Bauwerke oberhalb MTnw) wird indirekt die Fläche der Vordeichsländer erhöht, was dem Zielzustand für das Schutzgut Boden entgegenkommt. Dies gilt indirekt auch für bauwerksbedingte ufernahe Auflandungen in Nebenarmen. Durch die Bauweise können z. B. durch Schaffung großer ungenutzter Bodenflächen mit unterschiedlichen Oberflächenniveaus auch weitere Kriterien des Zielzustandes erfüllt werden (Stoffgehalte im Hintergrundbereich, kein Düngen, Pflügen oder Dränen).

Die Gestaltung des Bauwerkes durch unterschiedliches Auftragen oder auch Abtragen der Verbringungsmaterialien beeinflusst das bodenwert bestimmende Kriterium „Überformung“, was lokal und fallspezifisch zum Herauf- oder Herabsetzen des ökologischen Bodenwertes führen kann. Das bodenwert bestimmende Kriterium „Boden als Naturkörper“ bekommt mit der Schaffung naturnaher und gegebenenfalls auch seltener Böden sowie Böden besonderer Standorteigenschaften mehr Gewicht.

#### 4.2.1.2.2.1 Ökologische Verbesserungen

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Abnahme der Wassertiefe durch den Bau von flächenhaften Bauwerken wirkt sich positiv auf den Sauerstoffaustausch mit der Atmosphäre aus, da bei gleich bleibender Oberfläche ein kleinerer Wasserkörper belüftet werden muss.

##### ➤ Boden

Die sorgfältige Wahl der Bauweise kann für das Schutzgut Boden zur Verbesserung des ökologischen Bodenwertes im Unter- und Außenelberaum führen.

##### ➤ Vegetation

Aus vegetationskundlicher Sicht können ökologische Verbesserungen erzielt werden, wenn neue, von Pflanzen besiedelbare Standorte geschaffen werden. Dies ist im limnischen Bereich bei einem Oberflächenniveau von mehr als MThw -1,5 m und im marinen Bereich bei einem Oberflächenniveau von mehr als MThw -0,4 m möglich. Dabei wirkt sich eine zunehmende Flächengröße umso positiver aus. Voraussetzung ist allerdings, dass keine wertvollen Vegetationsbestände beeinträchtigt werden. Die Parameter „Form“ und „Lage im Querprofil“ haben eine geringe Bedeutung für die ökologische Bewertung von Strombauwerken. Von großer Bedeutung ist hingegen die Neigung der Randbegrenzung, wobei gilt, dass mit flachen, unverbauten Randbegrenzungen am ehesten ökologische Verbesserungen zu erzielen sind. Die Lage im Längsprofil ist insofern von Bedeutung, als bestimmte Vegetationsbestände nur in bestimmten Abschnitten vorkommen.

##### ➤ Fauna

Für die Fauna können ökologische Verbesserungen erzielt werden, indem möglichst defizitäre Lebensräume wie Watt, Flachwasser und tidebeeinflusste Vegetation erweitert werden. Dies kann durch die Herstellung eines neuen Oberflächenniveaus, z. B. durch die „Umwandlung“ von Tiefwasserzonen außerhalb der Fahrrinne in Flachwasser und Watt, sowie durch die Förderung einer naturnahen Vegetationszonierung in geeigneter Höhenzonierung und auf flachen, unbefestigten Randbegrenzungen erreicht werden.

Bei der Neuschaffung von Flachwasserbereichen ergibt sich jedoch nur dann eine positive Auswirkung auf die Fauna, wenn ein mildes Strömungsklima mit langen Verweilzeiten des Wassers erzielt werden kann, da eine starke Durchströmung sich nachteilig auf die Bedeutung als Reproduktions- und Nahrungsgebiet für Zooplankton und Fische auswirken kann.

##### ➤ Landschaftsbild

Flächenhafte Strukturen wie ausgedehnte Vorlandbereiche, Wattflächen, Inseln und flache Sände gehören zum natürlichen Formenschatz eines Ästuars. Eine entsprechende Berücksichtigung der genannten Parameter bei der Anlage flächenhafter Strombauwerke kann somit zu einer Verbesserung des Landschaftsbildes beitragen, insbesondere in bereits stärker anthropogen überprägten Bereichen.

#### 4.2.1.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Generell führen großflächige Unterwasserablagerungen, Inseln, Ufervorspülungen zu einem Verlust an aquatischem Lebensraum.

##### ➤ Boden

Ökologische Beeinträchtigungen können durch hydromorphologische Effekte großer Bauwerke entstehen, z. B. durch Strömungskonzentration mit nachfolgendem erosionsbedingten Verlusten ufernaher Böden.

##### ➤ Vegetation

Beeinträchtigungen der Vegetation können erfolgen, wenn durch die Anlage von Strombauwerken wertvolle Vegetationsbestände überdeckt und damit zerstört werden. Dies ist bei der Anlage flächenhafter Strombauwerke auf einem Ausgangsniveau von oberhalb MThw -1,5 m möglich. Der Grad der Beeinträchtigung hängt dabei von der Wertigkeit der betroffenen Vegetationstypen und der Größe der beeinträchtigten Vegetationsbestände ab. Das neue Höheniveau oder auch die Randbegrenzung sind möglicherweise nicht mehr für die Besiedlung mit bestimmten wertvollen Vegetationstypen geeignet.

##### ➤ Fauna

Beeinträchtigungen ergeben sich prinzipiell durch Überdeckung eines Bereiches, d. h. durch die Herstellung eines neuen Oberflächenniveaus, und den damit verbundenen Verlust von Habitaten (Gewässersohle, Watt, Vegetation). Prinzipiell ist auch die „Umwandlung“ faunistisch wertvoller Biotoptypen in andere Habitate kritisch zu beurteilen (z. B. die Umwandlung von Flachwasser zu Watt oder von Watt zu Vorland). Dies gilt insbesondere bei der Schaffung terrestrischer Lebensräume bei der Inanspruchnahme von aquatischem Lebensraum.

Nachteilig für die Besiedlung von Wirbellosen und Fischen kann sich eine Überdeckung der reich strukturierten Gewässersohle (unterschiedliche Tiefen, Substrate, Strömungsgeschwindigkeiten, Riffel) und eine daraus folgende „Monotonisierung“ auswirken, da die Lebensraumqualität sich nachteilig verändert und somit die Habitatfunktion beeinträchtigt wird. Durch das Einbringen standortfremder Substrate, wie beispielsweise die Materialien für Randbegrenzungen, verschiebt sich zudem das Artenspektrum mit z. T. nachteiligen Wirkungen für einzelne Arten. Beeinträchtigungen ergeben sich auch, wenn durch das Strombauwerk möglicherweise die Strömungsgeschwindigkeiten in den Uferbereichen erhöht werden und dadurch Jungfische und Larven aus ihren Aufwuchsgebieten verdriftet werden.

##### ➤ Landschaftsbild

Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch flächenhafte Strombauwerke treten auf, wenn durch die Wahl der o.g. Parameter landschaftsuntypische Strukturen geschaffen werden bzw. die Bauweise zu einer größeren Naturferne im Vergleich zum ursprünglichen Zustand führt.

Nachfolgend werden die Wirkungen der einzelnen flächenhaften Strombauwerke - Unterwasserablagerungsflächen, Inseln, Ufervorspülungen und Übertiefenverfüllungen - beschrieben. Auswirkungen auf die Vegetation und das Landschaftsbild treten nur bei Inseln und Ufervorspülungen auf und werden dort behandelt.

## **4.2.2 Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte**

### **4.2.2.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

#### **4.2.2.1.1 Allgemeine Wirkungen**

##### ➤ Hydrologie und Morphologie

Durch die Anlage einer Unterwasserablagerungsfläche in der Strommitte erfolgt eine Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne (siehe Kapitel 3.2.1.1). Bei einer ufernahen Lage der Unterwasserablagerungsfläche kann sich gegebenenfalls eine Nebenrinne ausbilden.

Aufgrund dieser Wirkungen werden sich in der Hauptrinne die Strömungsgeschwindigkeiten und somit auch die Transportkapazität erhöhen. Besonders am Fuß einer Unterwasserablagerungsfläche kann es deshalb je nach baulicher Ausbildung zu Auskolkungen kommen. Die Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten durch die Anlage des Bauwerks kann in der Fahrrinne zu einer Vergrößerung und im direkten Umfeld des Strombauwerks je nach hydrologischen Änderungen zu einer Verfeinerung oder Vergrößerung des Sohlssubstrats führen. Weitere morphologische Wirkungen sind in Kapitel 4.2.1 beschrieben.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die wichtigsten Aussagen zur Wasserbeschaffenheit betreffen die Auswirkungen der Abnahme der Wassertiefen (siehe Kapitel 4.1.1.2.1.1 „Kronenhöhe und Höhenvarianz“ bzw. 4.2.1.2.1.2 „Oberflächenniveau“). Für die mehr randlich bzw. mehr strommittig gelegenen Unterwasserablagerungsflächen bestehen dahingehend Unterschiede, dass es bei strommittigen Bauwerken zur Nebenrinnenbildung kommt, während bei einer Anbindung der Bauwerke an das Ufer verstärkt Flachwasserbereiche bzw. Sedimentationsräume (siehe Kapitel 4.1.2.1 „Buhnen“) geschaffen werden. Weiterhin ist bei der Schaffung ufernaher Ablagerungsflächen eine Anbindung zu bestehenden (Phytobenthos)-Biozönosen besser gegeben und damit eine (Erst)-Besiedlung der Bauwerke erleichtert.

Etwaige Randsicherungen bei Unterwasserablagerungsflächen bewirken einen verminderten Stoffaustausch zwischen den Sedimenten des Bauwerks (= Bauwerkskörper) und dem umgebenden Wasserkörper und mindern damit die ökologische Funktion der Sedimente.

##### ➤ Boden

Unterwasserablagerungsflächen haben keine direkten Auswirkungen auf Böden des zugrunde gelegten Geltungsbereichs (siehe Kapitel 4 „Kriterien für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen“). Dennoch können durch hydromorphologische Effekte indirekte Wirkungen auf Böden hervorgerufen werden. Die bauwerksbedingte Strömungskonzentration auf die Hauptrinne mit einer Erhöhung des Erosionspotenzials für Bodenmaterial an der Flusssohle sowie in Randbereichen des Bauwerks können, einhergehend mit erhöhter Transportkapazität für suspendiertes Feinmaterial, zu einer Sedimentation auf ufernahen Böden führen. Watten

und Rohmarschen können durch die Auflandung in ihren Funktionen und in ihrer Genese beeinflusst werden. Die Wahl des Bodenmaterials für das Bauwerk, seine Gestaltung und auch die Anzahl der Bauwerke können diesen Prozess beeinflussen (siehe Abschnitt „Morphologie“).

➤ Fauna

Auf der in Anspruch genommenen Fläche kommt es zunächst zu direkten Auswirkungen auf die Fauna: Dezimierung durch Überschüttung, Vertreibung, reduziertes Nahrungsangebot. Nach Beendigung der Baumaßnahme erfolgt unmittelbar eine Wiederbesiedlung. Die Zusammensetzung der Wirbelosengemeinschaft wird dabei maßgeblich durch die hydrologisch-morphologischen Wirkungen sowie durch das Substrat und die Salinität geprägt.

Infolge der veränderten Strömungsgeschwindigkeiten ändern sich die Substrateigenschaften, wodurch es zu Verschiebungen im Artenspektrum kommen kann.

#### 4.2.2.1.2 Oberflächenniveau

➤ Hydrologie

Für Unterwasserablagerungsflächen gilt allgemein: Je höher das Oberflächenniveau, desto stärker ist die strombauliche Wirkung der Strömungsbündelung, d. h., mit zunehmender Höhe des Strombauwerks erhöht sich die Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne.

➤ Morphologie

Siehe Kapitel 4.2.1.2.1.2.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe Kapitel 4.2.1.2.1.2.

➤ Fauna

Infolge von hydrologisch-morphologischen Auswirkungen im Bereich der Unterwasserablagerungsfläche kann es zu Veränderungen in der Besiedlung kommen: Durch zunehmende Strömungsgeschwindigkeiten in der Hauptrinne kann eine Reduzierung der Bodenfauna nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund möglicher lokaler Strömungsverringerungen in der Nebenrinne könnte es hier tendenziell aufgrund von Änderungen in der Sedimentstruktur zu Verschiebungen im Artenspektrum kommen.

Treten durch die Höhe der Unterwasserablagerungsfläche keine wesentlichen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und damit der Sedimentzusammensetzungen auf, werden für die in Tabelle 3.2-3 aufgeführten Höhenvarianten keine wesentlichen Unterschiede in der Besiedlung der Oberfläche des Strombauwerks erwartet.

#### 4.2.2.1.3 Oberflächenstruktur

➤ Hydrologie

Die Form der Oberflächenstruktur beeinflusst vor allem die bauwerksnahen Strömungen. Generell kann gesagt werden, dass die „Regelform“ weniger Verwirbelungen hervorruft als unregelmäßige Oberflächenstrukturen oder eine terrassierte Form.

➤ Morphologie

An der Oberfläche einer Unterwasserablagerungsfläche in Strommitte herrschen meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten als über einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche. Wenn die Verdriftung des Verbringungsmaterials vermieden werden soll, wird deshalb häufig eine Abdeckung benötigt. Wird mit Hilfe der Abdeckungsmaterialien eine Struktur modelliert, muss diese ausreichend fixiert sein (z. B. durch schwere Wasserbausteine), damit sie den natürlichen morphologischen Umlagerungsvorgängen widersteht.

➤ Fauna

Durch zusätzliche Variationen der Oberfläche (siehe Tabelle 3.2-3) einer Unterwasserablagerungsfläche wird zwar lokal die Strukturvielfalt erhöht, die Auswirkungen auf die Besiedlung werden jedoch eher geringfügig und kaum nachweisbar sein. Da die unterschiedlichen Formen der Oberfläche vermutlich nur durch Fixierungen ermöglicht werden können, wird das verwendete Material die sich ansiedelnde Fauna stärker beeinflussen als die Struktur der Oberfläche.

#### 4.2.2.1.4 Form

➤ Hydrologie

Durch die Anlage einer Kette mehrerer Unterwasserablagerungsflächen können - im Vergleich zu nur einer Unterwasserablagerungsfläche - zwischen den Strombauwerken Querströmungen auftreten. Der Wasseraustausch zwischen der Hauptrinne und dem durch das Bauwerk abgeteilten Bereich kann dadurch gefördert werden.

Durch die Verlängerung der seitlichen Randlinien der Ablagerungsfläche wird die Rauheitswirkung erhöht und es kommt zu den in Kapitel 4.2.1. beschriebenen Wirbelbildungen.

➤ Fauna

Durch eine Verlängerung der Randlinien und/oder eine Kette von Ablagerungsflächen wird der zur Besiedlung verfügbare Raum vergrößert und kleinräumig aufgrund von Erosions- und Sedimentationsprozessen die Strukturvielfalt im Bereich der Gewässersohle erhöht. Aufgrund der natürlicherweise hohen Varianz in der Besiedlungsstruktur der Gewässersohle werden keine nennenswerten unterschiedlichen Auswirkungen auf die Fauna erwartet.

#### 4.2.2.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten

➤ Boden, allgemeines zu Varianten, Bewertung

*Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Unterwasserablagerungsflächen haben keinen nennenswerten direkten Einfluss auf Böden des zugrunde gelegten Geltungsbereiches.

*Zielzustand Schutzgut Boden*

Direkte Wirkungen für den Zielzustand Boden sind mit Unterwasserablagerungsflächen nicht verbunden. Auflandungen von bauwerksinduziertem suspendiertem Bodenmaterial durch ufernahe Sedimentation können indirekt zur Verbreiterung von Vordeichsländern beitragen.

#### **4.2.2.2.1 Ökologische Verbesserungen**

##### ➤ Boden

Ökologische Verbesserungen für den Boden des zugrunde gelegten Geltungsbereiches können durch die Anlage von Unterwasserablagerungsflächen nicht quantifiziert werden.

##### ➤ Fauna

Durch die Anlage einer Unterwasserablagerungsfläche in der Strommitte ist nicht mit Verbesserungen für die aquatische Fauna des Elbe-Ästuars zu rechnen.

#### **4.2.2.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen**

##### ➤ Boden

Ökologische Beeinträchtigungen für den Boden des zugrunde gelegten Geltungsbereiches können durch die Anlage von Unterwasserablagerungsflächen in der Strommitte ebenfalls nicht quantifiziert werden.

##### ➤ Fauna

Infolge der Anlage einer Unterwasserablagerungsfläche ist auf der in Anspruch genommenen Fläche zunächst mit direkten Auswirkungen auf die Fauna zu rechnen: Verlust bzw. Dezimierung bodenlebender Tiere durch Überschüttung, Vertreibung und ein reduziertes Nahrungsangebot. Die direkten Beeinträchtigungen auf die Fauna bleiben jedoch zeitlich und lokal begrenzt. Nach Beendigung der Baumaßnahme erfolgt eine Neubesiedlung der Strukturen, die nach wenigen Jahren abgeschlossen sein wird. Durch die Veränderung des ursprünglichen Sohlsubstrates, z. B. durch die Abdeckung mit Hartsubstraten, kann es zu Beeinträchtigungen einzelner Arten kommen, während andere, z. B. Hartsubstratbesiedler, davon profitieren.

Weitere Beeinträchtigungen mit indirekten Auswirkungen auf die aquatische Besiedlung können aufgrund der Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten an der Gewässersohle auftreten.

### **4.2.3 Randliche Unterwasserablagerungsflächen**

#### **4.2.3.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

##### **4.2.3.1.1 Allgemeine Wirkungen**

##### ➤ Hydrologie und Morphologie

Die grundlegende Wirkung einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche liegt ebenfalls in der Konzentration der Strömungsgeschwindigkeit in der Hauptrinne. Im Vergleich zu einer Unterwasserablagerungsfläche in der Strommitte kann - bei gleicher Flächenausdehnung - tendenziell von einer geringeren hydrologischen Wirkung ausgegangen werden.

Hydraulisch wirkt eine randliche Unterwasserablagerungsfläche also durch die „Verdrängungswirkung“ des Wassers zur Strommitte, d. h. sie reduziert den wirksamen Durchflussquerschnitt. Dadurch werden die Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne zunehmen. Wie sich die Strömungsgeschwindigkeiten über der Ablagerungsfläche verändern, hängt von den morphologischen und hydrologischen Bedingungen ab. Daher sind an der Oberfläche und im Umfeld der randlichen Unterwasserablagerungsfläche sowohl Auflandungs- als auch Ero

sionstendenzen möglich. Je nach Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten kann außerdem auch eine Änderung der Sedimentstruktur erfolgen.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe Kapitel 4.2.2.

➤ Boden

Die in Kapitel 4.2.2 dargestellten marginalen möglichen Effekte durch Unterwasserablagerungsflächen auf den Boden gelten auch für die randlichen Bauwerke. Langfristig kann die hydromorphologische Wirkung der Strömungsberuhigung bei hohem Oberflächenniveau der Ablagerungsfläche im Bereich zwischen Bauwerk und Ufer nach der Flachwasserbildung zur Entwicklung von Watten führen. Bei noch weiterer Verlandung führt die Bodengenese dann zu Rohmarschen und Marschen mit entsprechender ästuartypischer natürlicher Bodenfunktionalität.

➤ Fauna

Zur allgemeinen Beschreibung siehe Kapitel 4.2.2. Im Unterschied zu einer in der Strommitte gelegenen Unterwasserablagerungsfläche können durch randlich gelegene Unterwasserablagerungsflächen möglicherweise ufernahe Flachwasserbereiche mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten entstehen.

#### 4.2.3.1.2 Oberflächenniveau

➤ Hydrologie

Es gelten die in Kapitel 4.2.2 getroffenen Aussagen.

➤ Morphologie

Je höher das Oberflächenniveau einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche gewählt wird, umso stärker ist der strombauliche Effekt der Strömungsbündelung und daraus resultierend die Änderung der Fließgeschwindigkeiten. Befindet sich die Oberfläche einer Unterwasserablagerungsfläche zwischen KN und KN -2 m, so kann dort im angenommenen Fall einer Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeiten eine strömungsberuhigte Flachwasserzone entstehen. Das sich dort ablagernde Material wird dann gegebenenfalls einen höheren Schlickanteil aufweisen als das Substrat in stärker durchströmten Bereichen.

➤ Fauna

Im Unterschied zu einer mehr in der Strommitte gelegenen Unterwasserablagerungsfläche können durch randlich gelegene Unterwasserablagerungsflächen möglicherweise ufernahe Flachwasserbereiche mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten entstehen bzw. sich vergrößern. Durch einen höheren Schlickanteil des sich ablagernden Materials wird sich tendenziell das Artenspektrum der sich ansiedelnden Wirbellosen verschieben. Weitere Anmerkungen zum Oberflächenniveau siehe Kapitel 4.2.2. Erläuterungen zur faunistischen Bedeutung von Flachwasserbereichen erfolgten in Kapitel 4.2.1.

#### **4.2.3.1.3 Oberflächenstruktur**

##### ➤ Hydrologie

Je unregelmäßiger die Oberflächenstruktur des Strombauwerks ist, desto größer wird ihre Rauheitswirkung und die Strömung wird stärker von der Oberfläche des Strombauwerks abgelenkt. Dabei kommt es durch die Verlagerung der Strömung von raueren zu glatteren Bereichen zu einer Bündelung der Strömung und einer Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten neben dem Bauwerk. Eine rauere Oberfläche begünstigt somit das Auftreten von Sekundärströmungen. Die Ausbildung flacher Böschungen erzeugt dabei in der Regel weniger Wirbel als steile Böschungen.

##### ➤ Morphologie

Die Oberflächenstruktur wird sich je nach vorherrschenden Strömungsverhältnissen ausbilden. Sie wird - wie auch die Gewässersohle - ständigen Veränderungen unterworfen sein, die von einer Vielzahl von Faktoren abhängig sind und kaum vorhergesagt werden können. Wenn man der Oberfläche eine bestimmte Form geben möchte, ist dies nur mit Hilfe fixierender Maßnahmen möglich, z. B. durch Abböschungen mit Wasserbausteinen.

##### ➤ Fauna

Zusätzliche Variationen der Oberfläche einer randlichen Unterwasserablagerungsfläche (siehe Abbildung 3.2-12) haben die gleichen Wirkungen wie sie in Kapitel 4.2.2 bereits beschrieben wurden.

#### **4.2.3.1.4 Form**

Hinsichtlich der Form randlicher Unterwasserablagerungsflächen, z. B. auch der Ausbildung von Randlinien, gelten für die Hydrologie, Morphologie und Fauna die in Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 gemachten Ausführungen.

#### **4.2.3.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

##### ➤ Boden, allgemeines zu Varianten, Bewertung

Randliche Unterwasserablagerungsflächen sind hinsichtlich des schutzgutbezogenen Umweltziels und des Zielzustandes für den Boden analog zu den Aussagen in Kapitel 4.2.2 zu bewerten. Falls ufernahe Auflandungen wirksam werden, wird hierdurch die Entwicklung naturnaher Böden mit entsprechenden natürlichen Bodenfunktionen gefördert. Die Fläche der Vordeichsländer erhöht sich dementsprechend. Das bodenwert bestimmende Kriterium „Boden als Naturkörper“ bekommt hier mehr Gewicht.

#### **4.2.3.2.1 Ökologische Verbesserungen**

##### ➤ Boden

Mit Auflandungen zwischen Bauwerk und Ufer ist eine ökologische Aufwertung des zuvor rein aquatischen Bereichs für den Boden erzielbar.

##### ➤ Fauna

Wenn es gelingt, durch eine randliche Unterwasserablagerungsfläche Tiefwasserzonen außerhalb der Fahrrinne in Flachwasser umzuwandeln, könnte die Primär- und Sekundärproduktion sowie die Funktion als Aufwuchsgebiet von Fischen in diesem Bereich gestärkt werden und damit die Produktivität des Gesamtsystems. Verbesserungen für die Fauna ergeben sich je

doch nur, wenn Flachwasserbereiche mit einem milden Strömungsklima und langen Verweilzeiten des Wassers geschaffen werden.

#### **4.2.3.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen**

##### ➤ Boden

Ökologische Beeinträchtigungen für den Boden des zugrunde gelegten Geltungsbereiches können durch die Anlage von randlichen Unterwasserablagerungsflächen nicht quantifiziert werden.

##### ➤ Fauna

Die Einschätzung der ökologischen Beeinträchtigungen entspricht den Aussagen von Kapitel 4.2.2.

#### **4.2.4 Inseln**

##### **4.2.4.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten**

###### **4.2.4.1.1 Allgemeine Wirkungen**

###### ➤ Hydrologie und Morphologie

Durch die Anlage einer Insel erfolgt - wie bei der Anlage einer Unterwasserablagerungsfläche - eine Reduzierung des Durchflussquerschnitts und damit eine Konzentration der Strömung auf die Hauptrinne. Im Vergleich zu einer Unterwasserablagerungsfläche kann - bei gleicher Flächenausdehnung - durch das höhere Oberflächenniveau tendenziell von einer größeren hydrologischen Wirkung ausgegangen werden.

Zusätzlich erfolgt aufgrund der Aufteilung des Gewässerquerschnitts eine deutliche Veränderung der Gewässermorphologie. Je nach Form, Größe und Lage der Insel entsteht ein Nebengewässer, das deutlich von der Hauptrinne abweichende hydrologische Bedingungen aufweisen kann. Außerdem werden durch die Anlage einer Insel aquatische Bereiche in terrestrische Bereiche überführt, was je nach hydrologischen Ausgangsbedingungen unterschiedliche Auswirkungen hat.

Durch die Verkleinerung des durchflossenen Querschnitts erhöht sich in der Hauptrinne die Fließgeschwindigkeit und somit auch die Sohlschubspannung. Die Folge kann dort eine Eintiefung der Sohle oder eine Abnahme der Sedimentation sein. In der durch die Insel geschaffenen Nebenrinne können entsprechend der hydrologischen Wirkungen sowohl Erosions- als auch Sedimentationsprozesse ausgelöst werden.

Befindet sich die Insel eher randlich und wird der Bereich zwischen Insel und Ufer schwächer durchströmt, so kann es zu Auflandungstendenzen in diesem Gebiet kommen. In der möglicherweise nur schwach durchströmten Nebenrinne, die durch die Anlage einer Insel entstehen kann, kann die Fortschrittsgeschwindigkeit der Tidewelle geringer sein als in der tiefen Hauptrinne. Aufgrund der Trägheit des Wassers kentert die Strömung in den langsam durchströmten Bereichen früher als in der Hauptrinne. Das kann dazu führen, dass der Ebbestrom in der Nebenrinne früher einsetzt als in der Hauptrinne, mit der Folge, dass zu Beginn der Ebbe-phase durch den entgegenkommenden Flutstrom im seewärtigen Bereich der Nebenrinne in

folge der Stauwirkung (Geschwindigkeitsverminderung) örtlich Sedimentationen eintreten können.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Auswirkungen der unterhalb MThw liegenden Bauwerksteile sind unter Kapitel 4.2.2.1.1 und 4.2.3.1.1 „Allgemeine Wirkungen“ beschrieben. Die oberhalb MThw liegenden Bereiche sind für den Stoffhaushalt des Wasserkörpers von geringerer Bedeutung. Nur in Fällen von Hochwasser-/Sturmflutereignissen dienen diese Flächen als „Ablagerungs“-flächen für Schwebstoffe und führen so zu einer Entlastung des Stoffhaushaltes des Ästuars.

➤ Boden

Prinzipielle Wirkungen auf den Boden durch die Wahl des Verbringungsmaterials und der Bauweise sind im Kapitel 4.2.1 für die Bauwerke mit Höhenlagen oberhalb MTnw dargestellt und bewertet. Da Inseln generell über MThw liegen und damit die Einflüsse bodenbildender Faktoren und Prozesse stetig wirken können, werden die sich aus dieser Tatsache heraus ergebenden Besonderheiten für Inseln gesondert beschrieben.

Mit der Anlage von Inseln werden neue semisubhydrische, semiterrestrische und terrestrische Böden in zuvor rein aquatischem Milieu geschaffen. Von wechselfeuchten bis trockenen Standortbedingungen stellen sich entsprechende natürliche Bodenfunktionen ein, wobei vertikal wirkende terrestrische Bodenentwicklungsprozesse wie z. B. Entsalzung und Stoffverlagerung auf den Inseln vermehrt zum Tragen kommen. Über Marschenniveau gelegene Böden entwickeln dabei besondere Standortfunktionen, die im Allgemeinen allerdings nicht ästuar-typisch sind.

Die hydromorphologische Wirkung mit einer Strömungskonzentration in der Hauptrinne und Strömungsberuhigung in entstehenden Seitenarmen bzw. -rinnen ist bei Inseln hoch, da An- und Umströmung deutlich gegenüber einer Überströmung überwiegen. Die indirekten, den Boden beeinflussenden Prozesse durch die Sedimentation von erodiertem, suspendiertem und weiter transportiertem Bodenmaterial im Bauwerksumfeld oder in anderen Flussabschnitten manifestieren sich somit bei strombaulich wirksamen Inseln.

➤ Vegetation

Bei der Anlage von Inseln können neue Standorte für die Besiedlung mit Pflanzen geschaffen werden. Je nach Relief, Höhe und Substratbedingungen können sich sehr unterschiedliche Vegetationstypen auf Inseln einstellen. Vielfach dominieren auf Inseln sandige Substrate mit relativ trockenen und nährstoffarmen Bodenverhältnissen, welche die Entwicklung von lückigen Sandmagerrasen ermöglichen (Beispiel Schwarztonnensand). Durch die Entwicklung nährstoffreicher Böden können sich auch andere Vegetationstypen wie Wälder entwickeln (Beispiel Pagensand).

Eine weitere grundsätzliche Wirkung auf Pflanzen ist mit der Folge verbunden, dass sich durch die Anlage einer Insel ein vom Hauptstrom abgetrenntes Nebengerinne entwickeln kann. Im Falle von Verlandungsprozessen kann es dabei zu einer Ausbreitung der Ufervegetation, insbesondere von Röhrichten kommen (Beispiel Pagensander Nebenelbe).

➤ Fauna

Mit Anlage einer Insel wird in erster Linie aquatischer Lebensraum in terrestrischen umgewandelt. Die Auswirkungen auf die Fauna hängen in erster Linie davon ab, welche aquatischen Bereiche dabei verloren gehen (faunistisch wertvolle Bereiche wie Watt und Flachwasser oder Tiefwasserbereiche mit geringerer Wertigkeit). Die Inseln des Elbe-Ästuars, wie z. B. Pagensand oder Neßsand, wurden oftmals in Bereichen des Ästuars angelegt, in denen sich unbefestigte, von natürlicher Morphodynamik geprägte, flache Wattinseln befanden.

Der subaquatische Abschnitt bietet je nach Material/Substrat einen Siedlungsraum für aquatische Organismen und die Ufer sowie die Inselfläche stellen je nach Neigung, Substrat und Vegetationsstruktur Habitate für zahlreiche gebietstypische Tierarten (z. B. Brutraum für Vögel).

Generell sind Inseln - je nach Entfernung zum Festland und der Größe - durch eine relative Artenarmut gekennzeichnet (so genannter Inseleffekt). Das heißt, auf einer Insel leben weniger Arten als auf einer vergleichbaren Fläche des Festlandes. Typischerweise weisen größere Areale aufgrund der größeren Zahl an unterschiedlichen Habitaten mehr Arten auf und die Artenzusammensetzung wird u. a. von der Ausbreitungsfähigkeit einer Art bestimmt (z. B. Flugfähigkeit) sowie der Abhängigkeit von anderen Arten (Räuber).

Prinzipiell kann durch die Anlage einer randlich gelegenen Insel auch eine strömungsberuhigte Nebenrinne mit geschützten Uferbereichen entstehen. Infolge von Sedimentation können faunistisch wertvolle Lebensräume wie strömungsarme Flachwasserbereiche, Watt und Röhrlichtstandorte entstehen. Nachteilige Veränderungen für einige Arten ergeben sich, wenn sich die Strömungskennwerte in der Nebenrinne erhöhen und somit möglicherweise Larven und Jungfische aus ihren Aufwuchsgebieten verdriftet werden.

➤ Landschaftsbild

Im Elbe-Ästuar gehören Sande bzw. flache Inseln zu den typischen Landschaftselementen. Der in Teil 1 der ökologischen Potenzialanalyse (BFG 2002) beigefügte Plan 2 mit der Darstellung des morphologischen Zustands aus dem Jahre 1846 zeigt sehr eindrucksvoll die damalige große Strukturvielfalt für den Bereich stromab von Hamburg. Besonders im Bereich der Süderelbe sind sehr viele Aufspaltungen des Stroms und Rinnen erkennbar, die Inseln und Sande umschließen. Im eigentlichen Mündungstrichter waren über MThw aufragende Inseln selten. Hier sind im Wesentlichen die zwischen MTnw und MThw liegenden Sande und Platen bei niedrigeren Wasserständen das prägende Landschaftselement. Die landschaftliche Vielfalt im Ästuarbereich ging allerdings durch zahlreiche anthropogene Veränderungen weitgehend verloren.

Mit der Anlage von Inseln erfolgt die Aufteilung des Stroms in zwei Rinnen und damit entstehen zusätzliche landschaftlich wirksame Elemente. Die verschiedenen Parameter wie Größe, Form, Höhe sowie Entfernung einer Insel zum Ufer bestimmen die Veränderungen des Landschaftsbildes. Inseln können dazu führen, dass Blickbeziehungen für einen Betrachter neu entstehen oder vorhandene Blickbeziehungen unterbrochen werden. Zur bestmöglichen Einbindung in die Landschaft sollte sich die Planung inselförmiger Strombauwerke an den ästuartypischen landschaftlichen Gegebenheiten orientieren.

#### 4.2.4.1.2 Oberflächenniveau

##### ➤ Hydrologie

Da das Höhenniveau der in Kapitel 3.2.4 beschriebenen Inseln generell über MThw liegt, hat die Höhe der Insel für die hydrologischen Auswirkungen nur hinsichtlich möglicher Überflutungsereignisse bei Wind- und Sturmfluten eine Bedeutung. Inseln, deren Oberflächenniveau knapp oberhalb des MThw liegen, werden bei Sturmflutereignissen häufiger überflutet als höhere Inseln.

##### ➤ Morphologie

Da die Oberfläche einer Insel über MThw liegt, steht die Fläche außer bei Hochwasserereignissen als Sedimentationsraum oder als Quelle für Sediment, welches in das System eingetragen wird, nicht mehr zur Verfügung.

##### ➤ Boden

Die Höhenlage der Insel steuert das Ausmaß des Wassereinflusses auf die Bodenentwicklung und damit die Intensität redoximorpher Bodenprozesse. Unterhalb von MThw entwickeln sich dementsprechend semiterrestrische (z. B. Marschen und Rohmarschen) und semisubhydrische Böden (z. B. Watten). Je nach Bodenmaterial sind diese Böden tideperiodisch wechselseucht. Laterale Stoffflüsse sind möglich. Eine Stoffumlagerung durch Erosion und auch Sedimentation kann stattfinden. Oberhalb MThw finden sich Böden mit konstantem, überwiegend durch Regen gesteuertem Bodenwasserhaushalt, der - für Marschen untypisch - in Abhängigkeit vom verwendeten Bodenmaterial durchaus auch trocken ausgeprägt sein kann. Die bodenbildenden Prozesse sind vorwiegend vertikal orientiert. Stoffumlagerungen finden nur noch bei extremen Überflutungsereignissen statt.

##### ➤ Vegetation

Ein wesentlicher Parameter für die Besiedlung mit Pflanzen ist die Höhe der Insel. Die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen der Höhenlage und der Besiedlung mit Pflanzen sind bereits in Kapitel 4.2.1 dargestellt. Nachfolgend wird nur auf die drei in Abbildung 3.2-15 dargestellten Varianten eingegangen.

Bei einem Oberflächenniveau von KN +4 m können sich auf einer Insel (bei limnischen oder oligohalinen Bedingungen und naturnaher Bodenbildung) in erster Linie Röhrichte und Weichholzauen entwickeln. Reicht das Höhenniveau bis zu KN +6 m, besteht auf nährstoffreicheren Böden zusätzlich die Möglichkeit der Entwicklung von Hartholz-Auwäldern (Beispiel Pagensand). Noch höhere Standorte sind größtenteils vom Tidegeschehen abgekoppelt, so dass sich kaum ästuartypische Vegetationseinheiten entwickeln können.

In der Praxis wird das aus vegetationskundlicher Sicht optimale Höhenniveau einer Insel in erster Linie von deren Größe abhängig sein, da es gilt, möglichst flache Geländeneigungen zu erzielen. Die besten Voraussetzungen für die Ausbildung einer ausgeprägten naturnahen Zonierung mit ästuartypischen Vegetationseinheiten bestehen demnach bei Inseln von mehreren Hektar Größe, die ein Oberflächenniveau von maximal KN +6 m aufweisen.

##### ➤ Fauna

Mit unterschiedlichen Oberflächenniveaus entwickeln sich je nach Einfluss der Tidedynamik unterschiedliche Lebensräume. An flachen, unbefestigten, tidebeeinflussten Ufern können

nahrungsreiche Wattflächen und charakteristische Vegetationsstrukturen und somit Lebensräume für ästuartypische Fisch- und Vogelarten entstehen, die hier Brut-, Nahrungs- und Rückzugshabitate finden. Sandige, vegetationslose Abschnitte (kurz nach der Aufspülung), die einer natürlichen Morphodynamik unterliegen, können Bruthabitate für einige z. T. gefährdete Vogelarten bieten.

Bei einem Oberflächenniveau von KN +4 m bis KN +8 m können sich im limnisch-oligohalinen Abschnitt Röhrichte, Weich- und Hartholzauen entwickeln und somit Lebensraumstrukturen für z. B. gebietstypische Vogelarten. Hoch aufgespülte, vom Tidegeschehen abgekoppelte Flächen (> MThw +4 m) bieten aufgrund der fehlenden Überflutungsdynamik keinen ästuartypischen Lebensraum für Tiere.

#### ➤ Landschaftsbild

Die Anlage von Inseln entspricht dann den ästuartypischen Landschaftsstrukturen, wenn sie relativ flach ausgebildet werden. Von den in der Tabelle 3.2-5 dargestellten Varianten sind deshalb Inseln mit einer Höhe bis zu KN +6 m zu favorisieren. Inseln mit diesem Höhenniveau erlauben die Ausbildung der ästuartypischen Vegetationsgesellschaften. Damit sich auch in den Uferbereichen eine standorttypische Vegetationszonierung einstellen kann, sind möglichst flache Uferneigungen erforderlich.

#### 4.2.4.1.3 Oberflächenstruktur und Uferstruktur

##### ➤ Hydrologie

Bei entsprechendem Relief können bei Sturmfluten Geländemulden mit Wasser gespeist werden und anschließend für bestimmte Zeitabschnitte abgetrennte stehende Gewässer darstellen.

##### ➤ Morphologie

Die Oberfläche einer Insel, die gegebenenfalls nur bei Sturmflutereignissen überströmt wird, wird sowohl von Wasserströmungen als auch von Windeffekten geformt.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Bei entsprechendem Relief können nach Hochwasser-/Sturmflutereignissen ephemere (= zeitlich begrenzt existierende) Gewässer mit „eigenständigem“ Stoffhaushalt und einer vom Ästuar relativ unabhängigen Wasserbeschaffenheit entstehen.

##### ➤ Boden

**Oberflächenstruktur:** Das Muster von semisubhydrischen, semiterrestrischen und terrestrischen Böden ist durch die Gestaltung der Oberfläche konstruierbar. Flache Ufer erlauben die Ausbildung breiter Watten- und Rohmarschengürtel, die stabil gegenüber Erosion durch Strömungsangriff sind. Der durch eine heterogene Oberflächenstruktur bedingte Wechsel von trockenen, wechselfeuchten und auch permanent feuchten Böden (z. B. Senken innerhalb der Insel) bedingt eine hohe Vielfalt der Bodenfunktionen. Mit der Wahl der zur Inselkonstruktion verwendeten Bodenmaterialien ist eine zusätzliche Beeinflussung des Stoff- und Wasserhaushaltes der Böden möglich (siehe Kapitel 4.2.1.1).

**Uferstruktur:** Naturnahe Ufer ermöglichen die Entwicklung einer typischen Uferboden bildenden Bodensequenz im Ästuar mit dem Übergang von Watten zu Rohmarschen bis hin zu Marschen. Flache Neigungen stabilisieren diese Entwicklung, steilere Ufer gefährden sie

durch potenzielle Ufererosion. Das Wechselspiel von Erosion und Sedimentation ist in diesen Bereichen allerdings ästuartypisch. Je höher ein Deckwerk an das Oberflächenniveau der Insel herangezogen wird, desto geringer ist die Chance zur Ausprägung solcher natürlichen Ufer mit den entsprechenden Bodenfunktionen. Deckwerksböden besitzen dabei nur eine geringe bis gar keine (verklammerte Deckwerke) ästuartypische Bodenfunktionalität. Allerdings schützen Deckwerke vor ufernaher Erosion, so dass bei einem Verbleib natürlicher Böden oberhalb des Deckwerkes innerhalb des Tidezyklusses deren Funktionalität andauernd gesichert wird. Ein Schutz uferbildender Bodensequenzen und deren Entwicklung wird auch durch vorgelagerte Leitwerke erreicht. Die Sedimentation suspendierten Feinmaterials in diesem strömungsberuhigten Bereich kann zur Verlandung führen, wobei Rohmarschen und Marschen entstehen, welche letztlich die Bodenfläche der Insel vergrößern.

➤ Vegetation

**Oberflächenstruktur:** Durch die Gestaltung heterogener Oberflächenstrukturen können in vielfältiger Hinsicht die Standortbedingungen für naturnahe Vegetationseinheiten gefördert werden.

Ufer mit flachen Neigungen bieten Entwicklungsmöglichkeiten für ausgeprägte naturnahe Vegetationszonierungen. Durch die Schaffung flacher Senken können temporäre Wasserflächen entstehen, die als Habitate für Wasserpflanzen geeignet sein können. Zur Entwicklung einer naturnahen Substratdiversität sollen sowohl Erosions- als auch Sedimentationsprozesse auf der Insel ermöglicht werden.

**Uferstruktur:** Die in Abbildung 3.2-17 dargestellten Varianten der Uferstrukturen unterscheiden sich hinsichtlich der Vegetationsbesiedlung deutlich. Bei naturnahen Ufern kann sich eine naturnahe Vegetationszonierung mit ästuartypischen Vegetationseinheiten entwickeln. Dies gilt weitgehend auch für den Fall, dass ein Deckwerk unterhalb der Mittelwasserlinie endet und oberhalb ein flacherer, unbefestigter Uferbereich anschließt.

Im Gegensatz dazu wird sich bei einem Deckwerk, das erst über MThw endet, nur eine deutlich lückigere Vegetation mit mehr ruderal geprägten Arten einstellen (siehe Kapitel 4.1.1). An stärker wellenbelasteten Abschnitten kann mit der zusätzlichen Anlage eines Leitwerks zum Schutz vor Wellenschlag das dahinter liegende Ufer natürlicher gestaltet und die Entwicklung einer naturnäheren Ufervegetation begünstigt werden, beispielsweise von Röhrichten, die auf eine geringe hydraulische Belastung angewiesen sind.

➤ Fauna

**Oberflächenstruktur:** Mit einer heterogen gestalteten Oberflächenstruktur können vielfältige Lebensraumbedingungen geschaffen werden und somit zur Förderung gebietstypischer Tierarten beitragen. Im Gegensatz zu weitgehend einheitlichen Flächen stellen naturnahe Vegetationszonierungen, Substratdiversität und wasserführende Senken eine Diversifizierung und damit Verbesserung der Lebensraumstrukturen für die Fauna dar, indem zusätzlich z. T. tidebeeinflusste Habitate entstehen, die als Rückzugs-, Brut- und Nahrungsgebiet für Vögel dienen. Durch das Zulassen von Sedimentations- und Erosionsprozessen wird die natürliche Morphodynamik gefördert und damit die Entwicklung naturnaher Lebensräume.

**Uferstruktur:** Die Art der Uferstruktur (siehe Abbildung 3.2-17) beeinflusst maßgeblich die faunistische Besiedlung. Naturnahe Ufer mit einer ästuartypischen Vegetationszonierung bieten gebietstypischen Tierarten einen Lebensraum. Durch ein vorgelagertes Leitwerk können sich z. B. Röhrichte an einem dann stärker vor Wellenschlag geschützten Ufer ausdehnen und damit können faunistisch wertvolle Brut- und Rückzugshabitate geschaffen oder erweitert werden.

Mit einem Deckwerk verändert sich der tierische Lebensraum: Je nach den verwendeten Materialien bietet die Ufersicherung im aquatischen Bereich Siedlungsraum für benthische Wirbellose und möglicherweise ein Nahrungshabitat für Fische. In Abhängigkeit von Höhe und Ausbildung des Deckwerkes entwickelt sich eine z. T. lückige Vegetation mit anderer Artenzusammensetzung. Hier werden sich zwar Tiere ansiedeln (u. a. Insekten), für ästuartypische Arten jedoch - wie z. B. Röhrichtbrüter - die auf spezifische Vegetationsstrukturen angewiesen sind, ist diese Struktur nicht förderlich.

➤ Landschaftsbild

**Oberflächenstruktur:** Natürlicherweise vorkommende Inseln und Sände sind als Folge von Erosions- und Akkumulationsprozessen oftmals permanenten Materialumlagerungen ausgesetzt. Eine heterogene Höhenstruktur ist das Ergebnis solcher natürlicher Umlagerungsprozesse. Um eine hohe Naturnähe zu erreichen, sollten auch neu anzulegende Inseln eine heterogene Oberflächenstruktur aufweisen. Allerdings sollen Höhenübergänge nicht als abrupte Geländesprünge mit künstlichen Böschungen, sondern den natürlichen Verhältnissen entsprechend flach ausgebildet werden. Dies gilt auch für die Gestaltung der Uferböschungen. Weiterhin können unterschiedliche Substratbedingungen geschaffen werden. Sie vergrößern die Strukturvielfalt, z. B. bei Aufspülung von sandigen und bindigen Substraten im räumlichen Wechsel.

**Uferstruktur:** Bei der Anlage von Inseln ist aus Gründen des Landschaftsbildes auf die Ausbildung möglichst naturnaher Uferstrukturen Wert zu legen, weil dies auch die Ansiedlung einer ästuartypischen Vegetation begünstigt.

Das bedeutet möglichst auch einen Verzicht auf Ufersicherungen zumindest in den Bereichen über MTnw, also den „sichtbaren“ und somit landschaftlich relevanten Bereichen. Kann bei der Anlage einer Insel aus technischen Gründen auf eine Randsicherung bzw. ein Deckwerk nicht verzichtet werden, ist es so niedrig wie möglich zu halten. Randsicherungen aus Wasserbausteinen sind dabei geotextilen Containern vorzuziehen. Sofern sich ein uferparalleles Leitwerk zur Verbesserung der Ansiedlungsmöglichkeit naturnaher Vegetationszonierungen und faunistischer Lebensräume als günstig erweist, sollte es ebenfalls so niedrig wie möglich angelegt werden.

#### 4.2.4.1.4 Form

➤ Hydrologie

Die Form bestimmt neben der Lage der Insel die hydrologischen Auswirkungen im Querprofil des Gewässers. Es kann davon ausgegangen werden, dass folgende Faktoren die Ausbildung einer Nebenrinne mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten begünstigen:

- eine große Längenausdehnung der Insel,
- ein geringer Abstand zur Uferlinie,
- eine geringe Wassertiefe im Nebengewässer.

In strömungsberuhigten Nebenrinnen kann die Laufzeit der Tidewelle deutlich von der Laufzeit in der Hauptrinne abweichen. Dies kann zur Folge haben, dass in der Nebenrinne örtlich Sedimentationen eintreten können (siehe Kapitel 4.2.4.1.1 „Allgemeine Wirkungen“).

Ein unregelmäßiger Uferlinienverlauf der Insel kann durch die Entstehung von Verwirbelungen kleinräumig zu Bereichen mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten führen. Durch die Anlage von Inselketten können - im Vergleich mit einer zusammenhängenden Insel - Querströmungen zwischen Haupt- und Nebenrinne gefördert werden.

#### ➤ Morphologie

Mehrere aneinander gereihte Inseln ermöglichen den Austausch von Wasser und Feststoff zwischen Hauptstrom und dem durch das Bauwerk abgetrennten Bereich. Das kann örtlich zu Auflandung oder Erosion führen. Wenn Strombauwerke als eine Inselkette ausgeführt werden, kann es beim Auftreten von Querströmungen zu einer Bündelung der Strömung und einer Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten kommen, was zu Erosion und Kolkbildung in diesem Bereich führen kann.

#### ➤ Boden

Die Wirkungen der Formgebung auf die Böden des Bauwerkes sind im Wesentlichen in Kapitel 4.2.1 geschildert. Bei einer verlängerten Uferlinie erhöht sich die Möglichkeit zur Ausbildung von Bereichen mit Watten und Rohmarschen, wobei ein heterogenes Muster aus Sedimentations- und Erosionsbereichen auf die Böden einwirkt. Die Höhenprofilierung erlaubt die Gestaltung vielfältiger Böden und Bodenfunktionen. Die Lage der Insel oder von Teilen der Insel (z. B. Inselspitzen) im Querprofil beeinflusst die Wirkung erosiver Uferangriffe durch die Strömung im Fluss. In nicht gesicherten Bereichen, die der Strömung ausgesetzt sind, können wasserstandsabhängig uferbildende Rohmarschen und Marschen erodieren. Deren Funktionen gehen dabei zu Gunsten aquatischen Lebensraums verloren.

Durch lange Inseln, die zudem nahe am Ufer liegen, wird deren hydromorphologische Wirkung verstärkt. Verlandungen in den entstehenden Nebenrinnen mit der Bildung von Watten und Rohmarschen und langfristig auch Marschen fördern hier die Entwicklung natürlicher Böden und Bodenfunktionen im Vordeichsbereich. Eine Erhöhung der Erosions- und Transportkapazität im Hauptstrom kann dabei das Aufwachsen ufernaher Böden durch das Absetzen bauwerksbedingt suspendierter Bodenmaterialien fördern. Ein bauwerknahe Wechselspiel von Erosion und Sedimentation und der daran gebundene Einfluss auf die Bodenentwicklung von Watten und Rohmarschen werden durch Anlage von Inselketten mit entsprechenden Querströmungen und Verwirbelungen unterstützt.

#### ➤ Vegetation

Abweichungen von der „Regelform“ können die Diversität der Standortbedingungen für die Vegetation erhöhen. Durch die Verlängerung von Isolinen können strömungsberuhigte Uferbereiche entstehen, in denen eine Ausbreitung der Ufervegetation stattfinden kann. Außerdem wird durch eine Verlängerung der Uferlinie die potenziell für die Entwicklung von Ufervegetation zur Verfügung stehende Fläche vergrößert. Werden durch die Anlage lang gestreckter

Inseln mit geringem Abstand zum Ufer in Nebenelben Verlandungstendenzen gefördert, so kann auch dies zu einer Ausbreitung der Ufervegetation (im limnischen und oligohalinen Bereich in der Regel Röhrichte) führen.

➤ Fauna

Eine Gruppe von mehreren kleinen Inseln wird sich durch eine vermutlich insgesamt höhere Habitatheterogenität bei gleicher Fläche auszeichnen, als eine große Insel (siehe Kapitel 4.2.1.2.1.4 „Form“). Daher ist - ausgehend von einer gleich großen Gesamtfläche - bei einer Ansammlung kleinerer Inseln tendenziell mit einer höheren Artenvielfalt aufgrund der größeren Habitatdiversität zu rechnen als bei einer einzelnen Insel. Damit würden sich auch Randlinien verlängern. Auf die damit verbundenen Effekte wurde bereits in Kapitel 4.2.1.2.1.4 eingegangen. Gleichzeitig würde der Austausch aquatischer Organismen zwischen Haupt- und Nebenstrom gefördert werden.

Im terrestrischen Bereich kann sich der Unterschied einer großen Insel zu vielen kleineren Inseln, aufgrund der Größe bestimmter Lebensraumstrukturen (z. B. Vegetation, Strand), vermutlich selektierend auf die Besiedelung durch Arten auswirken. Einige Vogelarten, die auf bestimmte Reviergrößen angewiesen sind bzw. größere Vegetationsbestände bevorzugen (z. B. Rohrweihe - größere Schilfbestände (GNIELKA 1990)), würden von zusammenhängenden großflächigen (Vegetations-)Strukturen profitieren. Auch finden im Röhricht lebende charakteristische Insektenarten meist in ausgedehnten Beständen ideale Lebensbedingungen, wobei die Minimalareale artspezifisch sind. Sollten durch die Anlage mehrerer Inseln auch verstärkt Randsicherungen mit Wasserbausteinen notwendig werden, würden davon einige Wirbellosenarten wie z. B. Seepocken und Miesmuscheln als typische Hartsubstratbesiedler profitieren. Insgesamt profitieren jeweils einzelne Arten von der Strukturvielfalt bzw. Flächengröße bestimmter Habitate.

Mit zunehmender Länge einer Insel sowie geringem Uferabstand und geringen Wassertiefen im Nebengewässer wird die Sedimentation in der Nebenrinne möglicherweise gefördert und es könnten faunistisch wertvolle Flachwasserzonen entstehen.

➤ Landschaftsbild

Eine Insel fügt sich umso besser in die Landschaft ein, je naturnäher sie gestaltet wird. Dazu tragen - wie bereits beschrieben - möglichst flache Uferböschungen, ungesicherte Ufer mit der Möglichkeit von Veränderungen des Uferlinienverlaufs durch Sedimentations- oder Erosionsprozesse, unterschiedliche Längen und Breiten, aber auch die Anlage mehrerer kleinerer Inseln an Stelle einer großen Insel bei (siehe Abbildungen 3.2-18 und 3.2-19). Keinesfalls sollten aus Gründen des Landschaftsbildes sehr regelmäßig geformte Inseln mit gleichen Inselbreiten, gleichen Böschungsneigungen und befestigten Ufern gestaltet werden.

Die Form einer Insel hängt darüber hinaus auch von den örtlichen Gegebenheiten im Ästuar ab. Während im relativ breiten Mündungsbereich die Anlage großflächiger, flacher Inseln möglich wäre, wird sich die Form einer Insel mit zunehmender Lage stromaufwärts dahingehend ändern, dass sie schmaler und möglicherweise länger würde, da sich der zur Verfügung stehende Gewässerquerschnitt immer mehr verengt. Die Lage im Querprofil hängt ebenfalls von dem zur Verfügung stehenden Gewässerquerschnitt ab. Mit zunehmender Gewässerbreite

kann ein inselartiges Strombauwerk gegebenenfalls auch weiter vom Ufer entfernt angelegt werden und somit geringere Wirkungen auf einen Betrachter am Ufer ausüben.

#### 4.2.4.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten

➤ Boden, allgemeines zu Varianten, Bewertung

##### *Schutzgutbezogenes Umweltziel*

Die Anlage von Inseln kann durch die Entwicklung und vor allem den Erhalt natürlicher Bodenfunktionen zum Erreichen des Umweltziels für den Boden beitragen. Durch Oberflächenniveau, Oberflächen- und Uferstruktur sowie durch Inselgröße sind naturnahe und seltene Böden entwickelbar. Obwohl sich bei hohem Oberflächenniveau eher ästuaruntypische Bodenfunktionen ausprägen, stellen solche Böden besondere Lebensraumfunktionen zur Verfügung. Seltene Flusswatten können in vom Süßwasser geprägten Flussabschnitten gefördert werden. Auch in Nebenarmen ist die Entwicklung naturnaher Böden möglich.

##### *Zielzustand Schutzgut Boden*

Durch die Schaffung einer Inselfläche werden indirekt die Vordeichsländereien vergrößert. Dies kommt dem Zielzustand entgegen, ebenso wie die Watten- und Rohmarschenbildung in strömungsberuhigten Nebenarmen. Die Insel selbst kann langfristig weitere Kriterien zur Erfüllung des Zielzustandes erfüllen (z. B. Stoffgehalte verbleiben im Hintergrundbereich, kein Düngen, Pflügen oder Dränen).

Im zuvor aquatischen Bereich wird jetzt das Bodenwert bestimmende Kriterium „Überformung mit Auftrag von Bodenmaterial“ gewichtet. Gleichzeitig bekommt das Kriterium „Boden als Naturkörper“ mit der Schaffung naturnaher und gegebenenfalls auch seltener Böden sowie Böden besonderer Standorteigenschaften mehr Gewicht. Bei möglichem Uferverlust durch Strömungsangriff kann dieses Kriterium nicht mehr erfüllt werden. Auf der entstandenen Inselfläche kann das Kriterium „Landwirtschaftliche Kulturmaßnahmen“ durch eine unterbundene Nutzung zur Aufwertung des ökologischen Bodenwertes führen.

#### 4.2.4.2.1 Ökologische Verbesserungen

➤ Boden

Mit der Anlage von Inseln sind bei vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten durchaus ökologische Verbesserungen für das Schutzgut Boden verbindbar.

➤ Vegetation

Durch die Anlage von Inseln können neue Standorte für ästuaruntypische Vegetationstypen entstehen. Eine ökologische Aufwertung kann insbesondere erreicht werden, wenn

- möglichst flache, unverbaute Ufer geschaffen werden, welche die Entwicklung einer naturnahen Uferzonierung ermöglichen,
- das Höhenniveau der Insel größtenteils unterhalb von KN +6 m liegt, so dass sich vor allem tidebeeinflusste Lebensräume entwickeln können,
- verlängerte Uferlinien geschaffen werden, die zu einer höheren Standortvielfalt am Ufer beitragen.

Sofern ein Schutz der Ufer vor Erosion notwendig sein sollte, so wäre ein uferparalleles Leitwerk einem Deckwerk am Ufer vorzuziehen, da es eine ästuartypischere Vegetationsentwicklung im Uferbereich ermöglichen würde.

➤ Fauna

Durch die Anlage einer Insel im Ästuar werden (Teil-)Lebensräume neu geschaffen bzw. bestehende erweitert: Das Substrat, die Uferstruktur, die Vegetation und „neue“ Flachwasserbereiche schaffen ästuartypische Habitatstrukturen und damit Lebensraum für zahlreiche charakteristische Tierarten. Auf Inseln können wertvolle Brut- und Rastgebiete für Vögel und in der weniger durchströmten Nebenrinne wichtige Aufenthaltsräume z. B. für Fische entstehen (Beispiel Pagensand und Pagensander Nebenelbe). Im äußeren Ästuar bzw. im Wattenmeerbereich können mit einer aufgespülten Sandinsel Sandbänke, Watt und Dünen geschaffen werden, die bedeutende Brut-, Nahrungs- und Mauergebiete für zahlreiche Vogelarten (u. a. Seeschwalben, Alpenstrandläufer) bieten (Beispiel Minsener Oog).

Strandlebensräume unterliegen einer natürlich hohen Dynamik zwischen Entstehen und Vergehen. Durch die Aufspülung von (kleinen) Sandinseln kann ein unterrepräsentierter Lebensraum vorübergehend wiederhergestellt und eine natürliche Morphodynamik (Erosion unbefestigter Inseln) initiiert werden. Für einzelne, z. T. gefährdete Vogelarten, wie zum Beispiel Flusseeeschwalbe, Zwergseeeschwalbe und Seeregenpfeifer, können geeignete Brutplätze entstehen. Als Strandbrüter und Pionierbesiedler sind diese Arten auf Strandlebensräume als Bruthabitat angewiesen. Aus faunistischer Sicht sind daher Verbesserungen möglich, die jedoch an wiederkehrende Aufspülungen gebunden sind.

Im inneren Ästuar könnte z. B. durch eine Neuaufspülung von kleinen Sandinseln in unmittelbarer Nähe zu bestehenden Inseln eine Verlängerung dieser Inseln erfolgen. Damit würden sich auch die bestehenden Nebenrinnen verlängern und gegebenenfalls strömungsarme Flachwasserzonen vergrößern.

➤ Landschaftsbild

Inseln sind Bestandteile von Ästuaren. Durch eine naturnahe Gestaltung inselartiger Strombauwerke kann im Elbe-Ästuar die landschaftliche Strukturvielfalt erhöht werden. Zusätzlich werden zahlreiche weitere ästuartypische Strukturen wie z. B. Wattbereiche im Randbereich der Inseln, ästuartypische Vegetationsbestände und Nebenrinnen geschaffen.

#### 4.2.4.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Anlage von Inseln führt zu einem Verlust an aquatischem Lebensraum und ist aus Sicht der Wasserbeschaffenheit daher als starke Beeinträchtigung zu bewerten.

➤ Boden

Verschlechterungen können sich durch strömungsbündelnde Wirkung mit potenzieller Ufererosion ergeben.

➤ Vegetation

Aus vegetationskundlicher Sicht sind bei der Anlage einer Insel – da normalerweise dabei keine Vegetationsbestände beeinträchtigt werden - keine ökologischen Beeinträchtigungen zu erwarten.

➤ Fauna

Die Anlage einer Insel als Strombauwerk ist aus faunistischer Sicht als kritisch zu beurteilen, wenn dabei wertvolle Bereiche wie Flachwasser und Watt in Anspruch genommen und in terrestrischen Lebensraum umgewandelt werden. Daher ist es empfehlenswert, Inseln im Tiefwasserbereich (außerhalb der Fahrrinne) anzulegen und somit vom Hauptstrom abgetrennte Nebenelben zu schaffen.

Nicht konform mit den faunistischen Umweltzielen sind auch hoch aufgespülte Inseln (> MThw +4 m), da sich dort keine gebietstypischen, durch Überflutungen und hohen Grundwasserstand geprägten Lebensräume entwickeln können. Möglicherweise erforderlich werdende Unterhaltungsbaggerungen - beispielsweise zum Freihalten der Nebenrinnen - stellen eine Störung von aquatischen Lebensgemeinschaften dar und sind somit als Beeinträchtigung zu werten.

➤ Landschaftsbild

Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes sind zu erwarten, wenn Inseln naturfern gestaltet werden, d. h., die Ufer oder Böschungen steil angelegt und mit Deckwerken gesichert werden, die Uferlinien nicht gegliedert sind oder die Inseln eine zu große Höhe aufweisen. Beeinträchtigungen können weiterhin auftreten, sofern durch die Anlage der Inseln andere landschaftlich wertvolle Strukturen beseitigt oder besondere Sichtbeziehungen unterbrochen werden.

## 4.2.5 Ufervorspülungen

### 4.2.5.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen der Varianten

#### 4.2.5.1.1 Allgemeine Wirkungen

➤ Hydrologie und Morphologie

Durch eine Ufervorspülung wird die Uferlinie in Richtung Gewässermitte verschoben, so dass der durchflossene Querschnitt eingeengt wird. Dadurch erfolgt eine Konzentration der Strömung im verbleibenden Gewässerquerschnitt (siehe Kapitel 4.2.1). Außerdem werden aquatische Bereiche in terrestrische Bereiche überführt, was je nach hydrologischen Ausgangsbedingungen unterschiedliche Auswirkungen hat.

Die Reduzierung des durchflossenen Querschnitts durch die Anlage einer Ufervorspülung führt zu einer Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten und des Transportvermögens in der Hauptrinne. Die Sohle in der Fahrrinne wird darauf mit Eintiefung oder verminderter Sedimentation reagieren, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand eingestellt hat. Durch die Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit können sich auf einer vorher glatten Sohle aus sandigem, nicht kohäsivem Material Transportkörper bilden.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Bei Ufervorspülungen wird der Querschnitt eingengt und es geht - bezogen auf diesen Querschnitt - aquatischer Lebensraum verloren. Führt die Ufervorspülung zu einer Verflachung der Böschung, ist aufgrund einer besseren Durchlichtung und Wiederbelüftung ein positiver Effekt auf den Sauerstoffhaushalt zu erwarten. Durch eine als Folge der Ufervorspülung induzierte Eintiefung im Hauptstrom kann dieser positive Effekt der Verflachung der Uferbereiche teilweise oder ganz rückgängig gemacht werden.

Ansonsten ist das zur Ufervorspülung verwendete Material im Vergleich zu den vorhandenen Sedimenten zu betrachten (siehe Kapitel 4.1.2 „Querbauwerke“ und 4.1.2.1.1.1 „Allgemeine Wirkungen“). Wird gröberes, organikärmeres Material als das vorhandene Sediment verwendet, ist von einer Entlastung des Stoffhaushaltes auszugehen.

➤ Boden

Durch Ufervorspülungen werden in Abhängigkeit vom Oberflächenniveau semisubhydrische, semiterrestrische und terrestrische Böden geschaffen. Diese Böden ersetzen einerseits zuvor aquatisches Milieu, andererseits werden auch vormals uferbildende Watten und Rohmarschen durch den Bodenauftrag überformt. Ihre ursprüngliche Bodenfunktionalität wird verändert oder geht ganz verloren. Der Bodenauftrag bedingt eine Mehrung des Stoffbestandes am Ort der Vorspülung. Aus den aufgespülten Materialien werden sich unter dem Einfluss bodenbildender Faktoren zunächst initiale Böden entwickeln. Langfristig sind ihre Bodeneigenschaften mit denen der ursprünglichen Böden vergleichbar, sie können sich aber auch gänzlich anders darstellen. Die Eigenschaften und die Höhe des aufgespülten Materials steuern diese Entwicklung.

Wird das im Allgemeinen zur Vorspülung verwendete sandige Bodenmaterial beispielsweise auf Watten und Rohmarschen aus feinkörnigem Substrat aufgebracht, so ändern sich mit den substratbedingten stofflichen Eigenschaften auch der Bodenwasser- und Bodenlufthaushalt am Standort. Geringer ausgeprägte Filter- und Pufferfunktion mit stark wechselfeuchten bis trockenen Standortbedingungen im Vergleich zum Zustand vor der Aufspülung sind die Folge.

Langfristig können sich Böden, Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen in den aufgespülten Materialien nur bei dauerhaften Aufspülungen mit kontinuierlichem Einwirken bodenbildender Faktoren etablieren. Wiederholte Aufspülungen am gleichen Standort unterbrechen den jeweilige Fortschritt der Bodenentwicklung und führen zu immer neuen initialen Bodenbildungen wechselnder Funktionalität.

Sind die Ufer der Vorspülung flach gestaltet, stellt sich eine ästuartypische Bodensequenz von Watten über Rohmarschen bis hin zu Marschen ein. Vorspülungen mit steileren Ufern bilden ästuaruntypische starke Wechsel der Bodenformen und Bodenfunktionen im Uferbereich. Bodenverluste durch strömungsbedingte Ufererosion sind zudem möglich. Diese wird durch Randsicherungen mit Steinen oder geotextilen Containern begrenzt. Hierbei kann die Bodenentwicklung in der Aufspülung ungestört ablaufen.

Die hydromorphologische Wirkung der Vorspülungen mit Strömungskonzentration in der Hauptrinne erhöht hier die Erosions- und Transportkapazität für das Bodenmaterial. Bauwerksinduziert kann suspendiertes Feinmaterial in ufernahen strömungsberuhigten Bereichen im Umfeld der Vorspülung sedimentieren. Dortige Watten oder Rohmarschen werden in ihren Eigenschaften und Funktionen verändert. Höhe und Lage der Vorspülung im Flussquerschnitt beeinflussen das Ausmaß dieses Prozesses.

➤ **Vegetation**

Die grundlegenden Wirkungen einer Ufervorspülung auf die Vegetation lassen sich wie folgt beschreiben:

**Veränderung der Uferlinie:** Bei der ufernahen Aufspülungen von Sedimenten erfolgt eine wasserseitige Verlagerung der Uferlinie, so dass neue Standorte oberhalb von MTnw auf Kosten aquatischer Standorte entstehen. Bei entsprechendem Oberflächenniveau und entsprechenden Substraten können sich dadurch gegebenenfalls ästuartypische Pflanzengemeinschaften ausbreiten oder an neuen Standorten erst etablieren (siehe Kapitel 4.2.1.1.1.1 „Verbringungsmaterial“ und 4.2.1.2.1.2 „Oberflächenniveau“).

**Überdeckung bestehender Vegetationsbereiche:** Abhängig von der Lage und der Höhe können durch die Anlage der Ufervorspülungen bestehende Vegetationsbestände überdeckt werden. Die Auswirkungen auf die Vegetation sind dabei in erster Linie davon abhängig, in welchem Ausmaß wertvolle Vegetationsbestände betroffen sind.

**Änderung der Substratbedingungen:** Je nach Art des verwendeten Verbringungsmaterials und den Ausgangsbedingungen können sich durch die Anlage einer Ufervorspülung die Substratbedingungen deutlich verändern. Auswirkungen auf die Vegetation sind insbesondere dann zu erwarten, wenn naturnahe sandig-lehmige, schluffig-sandige oder tonige Böden durch rein sandige Böden überdeckt werden, da dabei von einer dauerhaften Änderung der Artenzusammensetzung ausgegangen werden kann (siehe Kapitel 4.2.1.1.1.1 „Verbringungsmaterial“).

**Veränderung der Uferneigung:** Zusätzlich zur allgemeinen Erhöhung des Niveaus kann durch die Anlage einer Ufervorspülung eine Veränderung der Geländeneigung und dadurch eine Änderung der Vegetationszonierung am Ufer stattfinden.

**Unterschiede zwischen Ufervorspülungen mit und ohne Erosionsschutz:** Entsprechend den Abbildungen 3.2-20 und 3.2-21 weisen Ufervorspülungen mit Erosionsschutz eine relativ steile und befestigte Randsicherung und - daran anschließend - eine relativ ebene, in der Regel ungesicherte Oberfläche auf. Bei Ufervorspülungen ohne randlichen Erosionsschutz, d. h. ohne Randsicherung, ist die gesamte Oberfläche weitgehend einheitlich geneigt. Daraus ergeben sich Unterschiede für die jeweilige Vegetationsentwicklung auf den neu geschaffenen Flächen.

Werden bei Ufervorspülungen Randsicherungen erforderlich, so hängt die Besiedlung mit höheren Pflanzen von der Wahl des Baumaterials (geotextile Container, Wasserbausteine) und der Höhenlage der Randsicherung ab. Es wird sich entweder kein oder nur ein geringer Bewuchs mit höheren Pflanzen einstellen. Auf der eigentlichen Ufervorspülung wird sich auf

grund der relativ ebenen Oberfläche eine weitgehend einheitliche Vegetation einstellen, die vom eingebrachten Substrat und der Höhenlage abhängig ist (siehe Kapitel 4.2.1.2.1.2 „Oberflächenniveau“).

Bei Uferverspülungen ohne randlichen Erosionsschutz hängt die Vegetationsbesiedlung von der Stabilität des Materials, den Substrateigenschaften, der Höhe der Aufspülung und der Häufigkeit der Aufspülungen ab. Grundsätzlich gilt, dass eine hohe Instabilität des Substrats, rein sandiges Substrat und regelmäßige Aufspülungen ungünstige Parameter für eine Vegetationsbesiedlung sind. Günstige Parameter sind dagegen hohe Stabilität des Substrats, hohe Schluff- und Ton-Anteile im Substrat und geringe Häufigkeit an Aufspülungen.

Bei Uferverspülungen ohne Erosionsschutz besteht daher die Möglichkeit, dass sich vielfältigere Standorte mit einer höheren Dynamik und einer ausgeprägteren Vegetationszonierung entwickeln können, wohingegen bei Uferverspülungen mit Erosionsschutz sich eher stabile und einheitlichere Vegetationstypen ausbilden können. Ob diese Vegetationstypen auch den an dieser Stelle vorkommenden natürlichen Vegetationstypen entsprechen, hängt von den jeweiligen Standortbedingungen ab.

#### ➤ Fauna

Durch eine Uferverspülung gehen teilweise faunistisch wertvolle Biotoptypen durch Änderung des Höhenniveaus und der wasserseitigen Ausbreitung des Ufers verloren (z. B. Flachwasser wird zu Watt, Watt wird zu Vorland). Somit geht aquatischer Lebensraum zu Gunsten von terrestrischen Habitaten verloren.

Grundsätzlich wird bei einer Uferverspülung - je nach Biotoptyp - durch Überschüttung und Vertreibung die tierische Besiedlung dezimiert. Abhängig vom Höhenniveau und den sich ansiedelnden Vegetationsstrukturen wird die Aufspülung jedoch von aquatischen und terrestrischen Tieren wiederbesiedelt werden.

Ungesicherte Uferverspülungen werden aufgrund der relativ flachen Neigung und der fehlenden Randsicherung potenziell eine gewisse ästuartypische Biotopabfolge und gegebenenfalls eine ausgeprägtere Vegetationszonierung aufweisen. Bei Uferverspülungen mit Erosionsschutz ergibt sich auf der relativ flach geneigten Fläche ein eher einförmiger Lebensraum, mit - je nach Höhenniveau - tendenziell stabilen, einheitlichen Vegetationsstrukturen. Für die Fauna ist daher tendenziell bei ungesicherten Vorspülungen mit einer höheren Vielfalt an ästuartypischen Arten zu rechnen als bei einer gesicherten. Bei ungesicherten Uferverspülungen kann es aufgrund von wiederholt erforderlich werdenden Aufspülungen zu häufigeren Störungen der angesiedelten Lebensgemeinschaft kommen.

Je nach verspültem Material können sich die standorttypischen Sedimenteigenschaften verändern, wodurch sich das ursprünglich vorhandene Artenspektrum möglicherweise verschiebt.

#### ➤ Landschaftsbild

Um eine landschaftsgerechte Anlage und Einbindung einer Uferverspülung zu ermöglichen, kommt der Standortwahl eine besonders hohe Bedeutung zu. Landschaftlich wertvolle Ab

schnitte, z. B. naturnahe Uferbereiche mit ästuartypischen Bestandsstrukturen, sollen möglichst nicht beeinträchtigt werden.

Ufervorspülungen können von Höhen unter MTnw bis einige Meter über MThw angelegt werden und haben dann aufgrund der unterschiedlichen Sichtbarkeit auch unterschiedliche Wirkungen auf das Landschaftsbild. Weiterhin wirken sich auch die unter dem Abschnitt „Vegetation“ beschriebenen Aspekte auf das Landschaftsbild aus. Die Größe der Ufervorspülung, die Form, die künftige Höhe, die Nutzung der zur Ufervorspülung vorgesehenen Fläche und die Beschaffenheit der angrenzenden Flächen sind weitere Parameter, welche die Wirkungen auf das Landschaftsbild beeinflussen.

#### **4.2.5.1.2 Oberflächenniveau**

##### ➤ Hydrologie

Für die Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten ist die Veränderung des Durchflussquerschnitts des Gewässers maßgebend. In den Abbildungen 3.2-21 und 3.2-22 liegt das Oberflächenniveau bei Ufervorspülungen mit Erosionsschutz oberhalb des MThw. Daher hängen die hydrologischen Wirkungen größtenteils von der Höhe des Ausgangsreliefs ab und es gilt: Je niedriger das Ausgangsrelief, desto stärker sind die zu erwartenden hydrologischen Auswirkungen. Ufervorspülungen, die oberhalb des MThw angelegt werden (wie die in Abbildung 3.2-22 dargestellte Variante mit einem Oberflächenniveau von KN +7 m), haben nur bei Sturmflutwasserständen Auswirkungen auf die Hydrologie.

Ufervorspülungen ohne Erosionsschutz führen aufgrund der gleichmäßig flachen Uferneigung tendenziell zu einer geringeren Einschränkung des Gewässerquerschnitts (siehe Abbildung 3.2-20). Die hydrologischen Auswirkungen hängen dabei vom Niveau des Ausgangsreliefs, von der Höhe der Ufervorspülung und von der Dauerhaftigkeit der Ufervorspülung ab.

##### ➤ Morphologie

Durch die Anlage einer Ufervorspülung, deren Oberflächenniveau über MThw liegt, geht in diesem Bereich Sedimentations- oder Erosionsraum verloren, da die Fläche nicht mehr überströmt wird. Falls die gesamte Ufervorspülung auf Flächen über MThw erfolgt, wird das Abflussgeschehen durch das Bauwerk nur im Fall einer Sturmflut oder eines Hochwassers beeinflusst. Bei mittleren Abflussbedingungen kommt es nicht zu einer Einschränkung des durchflossenen Querschnitts und somit auch nicht zu morphologischen Änderungen im Gewässer.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Ufervorspülungen oberhalb MThw sind für den Stoffhaushalt des Wasserkörpers von geringerer Bedeutung. Nur in Fällen von Hochwasser-/Sturmflutereignissen gehen dadurch Retentionsflächen für Schwebstoffe verloren.

##### ➤ Boden

Bei einem Höhenniveau oberhalb MThw werden sich in den Ufervorspülungen ähnlich wie bei der Anlage von Inseln (siehe Kapitel 4.2.4) Böden mit einem von Niederschlägen gesteuerten, eher trocken ausgeprägten Bodenwasserhaushalt mit vorwiegend vertikal orientierten bodenentwickelnden Prozessen ausbilden. Anders als im Ausgangszustand werden hier besondere Standortfunktionen (z. B. Lebensraumfunktionen) zur Verfügung gestellt, die natürli

cherweise im Ästuar allerdings nur in uferwallartigen Landschaftselementen vorkommen. Ist die Vorspülung zusätzlich klein dimensioniert, ist die hydromorphologische Wirkung nur bei Sturmflutwasserständen wirksam. Damit wird der Effekt auf Böden durch Erosion, Transport und Sedimentation von suspendiertem Feinmaterial in strömungsberuhigten ufernahen Watten vernachlässigbar.

Bei Höhenlagen zwischen MTnw bis oberhalb MThw sind vorwiegend redoximorphe bodenbildende Prozesse in der Vorspülung wirksam. Unterhalb von MThw entwickeln sich dementsprechend semiterrestrische (z. B. Marschen und Rohmarschen) und semisubhydrische Böden (z. B. Watten). In Abhängigkeit vom Tidezyklus sind ein wechselfeuchter Bodenwasserhaushalt mit hoher Wasserleitfähigkeit und geringem Wasserspeichervermögen charakteristisch. Die Abweichungen von der Bodenfunktionalität im Ausgangszustand ist gering ausgeprägt.

Bei Ufervorspülungen, die von unterhalb MTnw bis oberhalb MThw reichen, ist eine Kombination aller zuvor genannten Bodenbildungen mit den entsprechenden Bodenfunktionen möglich.

Das Ausmaß der hydromorphologischen Folgewirkung einer Ufervorspülung durch Sedimentation von in der Hauptrinne erodiertem und transportiertem Feinmaterial auf ufernahe Böden ist direkt an den Höhenunterschied zwischen Ausgangszustand und Zustand nach Vorspülung gekoppelt. Bei flach angelegten Vorspülungen ist dieser Effekt vernachlässigbar.

#### ➤ Vegetation

Die Besiedlung mit Pflanzen ist entscheidend vom Höhenniveau abhängig und richtet sich nach den grundsätzlich in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Zusammenhängen (siehe Tabelle 4.2-2). Für den limnischen Abschnitt gilt, dass erst ab einer Höhe von KN -1,5 m eine Besiedlung mit höherer Vegetation möglich ist. Für rein sandige Böden ist eine deutlich höhere untere Vegetationsgrenze zu erwarten (siehe Kapitel 4.2.1.1.1.1 „Verbringungsmaterial“). Bei einer Höhe oberhalb von MThw +2 m (etwa oberhalb von KN +5,5 m) ist aufgrund des fehlenden Tideinflusses nicht davon auszugehen, dass sich ästuartypische Vegetationstypen entwickeln können. Deshalb sollten unter vegetationskundlichen Gesichtspunkten das Oberflächenniveau von Ufervorspülungen in einem Höhenbereich zwischen etwa MThw -1,5 m und MThw +2m liegen und die Ufervorspülungen möglichst ohne Randsicherung angelegt werden.

#### ➤ Fauna

Abhängig vom Höhenniveau und der Neigung - und damit der Erfordernis, die Ufervorspülung gegebenenfalls randlich zu sichern - kann die natürliche Biotopabfolge Flachwasser, Watt, naturnahe Uferzonierung durch eine Ufervorspülung zerstört werden. Insbesondere durch eine gesicherte Ufervorspülung können aufgrund der steilen Böschung und der unmittelbaren Anhebung des Oberflächenniveaus der Sohle faunistisch wertvolle Flachwasserbereiche und Watt verloren gehen. Bei einer ungesicherten Vorspülung sind im Vergleich dazu aufgrund der flacheren Neigung weniger Biotopflächenverluste (Flachwasser und Watt) zu erwarten, da eine Zonierung zumindest ansatzweise erhalten bleibt. Zudem wird eine natürliche Morphodynamik initiiert.

Den in Abbildung 3.2-22 dargestellten Varianten ist gemeinsam, dass - abhängig vom Ist-Zustand - durch die Ufervorpülung vorhandene wertvolle Biotoptypen überschüttet und die natürliche Biotopabfolge verändert werden können. Aufgrund des Lebensraumverlustes muss teilweise mit Beeinträchtigungen ästuariner Tierarten gerechnet werden. Die natürlicherweise vorhandene Abfolge der Biotoptypen Flachwasser, Watt und tidebeeinflusste Vegetation wird durch die Anhebung auf ein anderes Oberflächenniveau weitgehend zerstört und damit eine vormals durch verschiedene Oberflächenniveaus gekennzeichnete Fläche auf ein weitgehend einheitliches Höhenniveau vergleichförmigt.

Bei der Variante Oberflächenniveau auf KN +7 m wird terrestrischer Lebensraum mit einer gegebenenfalls naturnahen Vegetationszonierung und einem Mosaik aus wertvollen Lebensraumstrukturen in eine Fläche mit eher einheitlichen Vegetationstypen umgewandelt. Dadurch ist hier mit einem tendenziellen Rückgang der faunistischen Artenvielfalt zu rechnen. Sollten weniger wertvolle Flächen betroffen sein, wäre mit weniger nachteiligen Auswirkungen auf die Fauna zu rechnen.

In der Variante KN +3 m bis KN +4 m gehen Wattflächen zugunsten von höher gelegenem Watt und Vorland verloren. Bei Variante KN +4 m wird Flachwasser und Watt in Vorland umgewandelt. Hierdurch können zwar möglicherweise Röhrlichtstandorte entstehen, jedoch werden gleichzeitig charakteristische Lebensräume im aquatischen Bereich dezimiert. Für die aquatische Fauna ist daher mit Beeinträchtigungen zu rechnen, während terrestrische Arten profitieren.

Zusammenfassend betrachtet können bei einer Ufervorspülung - je nach Höhenniveau und Neigung - Biotoptypen, wie z. B. Watt oder Röhrlicht entstehen, die ästuartypischen Tierarten ein Nahrungs-, Aufenthalts- und Bruthabitat bieten. Dies geschieht jedoch meist auf Kosten von faunistisch wertvollen aquatischen Lebensräumen.

#### ➤ Landschaftsbild

Dem Oberflächenniveau kommt als Parameter eine zentrale Bedeutung bei der Anlage einer Ufervorspülung zu. Grundsätzlich sollte, damit eine Ufervorspülung das Landschaftsbild möglichst wenig beeinträchtigt, die Höhenlage dem umliegenden Gelände angepasst werden. Unnatürliche Überhöhungen des Reliefs sollen vermieden werden. Das Oberflächenniveau sollte so konzipiert werden, dass sich möglichst ästuartypische Vegetationsabfolgen einstellen können.

#### **4.2.5.1.3 Oberflächenstruktur**

##### ➤ Hydrologie

Bei Ufervorspülungen mit Erosionsschutz, deren Höhe oberhalb des MThw liegt, hat die Struktur der Oberfläche lediglich geringe hydrologische Auswirkungen, da die Ufervorspülung nur bei Wind- und Sturmfluten überflutet wird.

##### ➤ Morphologie

Da das vorliegende Material in Tideästuaren in den Randbereichen meist feinkörniger ist als das Material, welches der Fahrrinne entnommen und in Form von Ufervorspülungen verbracht wird, kann es dadurch im Uferbereich zu einer Vergröberung des Materials kommen.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Siehe Aussagen zu Sedimenten in Kapitel 4.2.5.1.1 „Allgemeine Wirkungen“.

➤ Boden

Durch die Gestaltung der Oberfläche ist wie bei der Anlage von Inseln (siehe Kapitel 4.2.4) direkt die Bodenentwicklung und die nachfolgende Ausprägung entsprechender Bodenfunktionen steuerbar. Flache Böschungen ermöglichen breite Rohmarschen- und Wattengürtel. Eine heterogene Höhenstruktur erlaubt die Ausprägung eines Musters semisubhydrischer, semiterrestrischer und auch terrestrischer Böden. Die Substratwahl an der Oberfläche beeinflusst vorwiegend den Bodenwasser- und Bodenstoffhaushalt der entstehenden Böden.

➤ Vegetation

Ähnlich wie bei der Gestaltung von Inseln können auch bei der Anlage von Ufervorspülungen durch die Gestaltung heterogener Oberflächenstrukturen die Standortbedingungen für naturnahe Vegetationseinheiten gefördert werden, insbesondere durch flache Neigungen und die Schaffung flacher Geländesenken (siehe Kapitel 4.2.4).

➤ Fauna

Die in Abbildung 3.2-23 dargestellten Varianten in der Oberflächenstruktur werden vermutlich Auswirkungen auf die faunistische Besiedlung haben. Durch die Variante mit einer „Regelform“ wird eine gleichförmige Fläche geschaffen, die je nach Höhenniveau zwar einigen Arten ein Habitat bietet - gegenüber dem Ist-Zustand wird sich die Artenvielfalt jedoch verringern. Es werden zudem terrestrische Arten gegenüber aquatischen Arten begünstigt.

Bei einer terrassierten Form werden - wenn auch vom aquatischen zum terrestrischen Bereich hin verschoben - unterschiedliche Oberflächenniveaus und somit verschiedene Habitate geschaffen. Mit einer heterogen gestalteten Oberflächenstruktur kann die lokale Strukturvielfalt erhöht werden. Bei einer flachen Neigung ohne Randsicherung können möglicherweise entstehende Röhrichtflächen beispielsweise als Bruthabitat für gebietstypische Vogelarten dienen. Je nach den zur Randsicherung verwendeten Materialien (Wasserbausteine, Geotextile Container) werden auch diese von Wirbellosen besiedelt werden (zur Besiedlung von verschiedenen Materialien siehe Kapitel 4.1.1.1). Durch eine vielgestaltige Oberfläche können die Standortbedingungen für eine naturnahe Vegetation gefördert werden, wovon auch charakteristische Tierarten profitieren. In einer ansonsten gleichartig gestalteten Fläche stellen naturnahe Vegetationszonierungen, Substratdiversität und wasserführende Senken eine Diversifizierung und damit Verbesserungen der Lebensraumstrukturen für die Fauna dar, indem zusätzlich z. T. tidebeeinflusste Habitate entstehen, die als Rückzugs-, Brut- und Nahrungsgebiet für Fische und Vögel dienen. Durch Zulassen von Sedimentations- und Erosionsprozessen wird die natürliche Morphodynamik gefördert und damit die Entwicklung naturnaher Lebensräume.

➤ Landschaftsbild

Die Oberfläche einer Ufervorspülung, die z. B. durch die Anlage kleiner Senken und Erhöhungen zusätzlich gestaltet wird, weist im Vergleich zu einer einheitlich ausgeformten Oberfläche eine größere landschaftliche Strukturvielfalt auf. Diese Oberflächenstrukturen müssen aber typischen Landschaftsstrukturen entsprechen. Reliefunterschiede sollen möglichst flach

ausgebildet werden, damit sie sich den insgesamt geringen Höhenunterschieden des Außen-  
deichsbereichs anpassen.

#### 4.2.5.1.4 Form

Die Wirkungen, die von der Form einer Ufervorspülung ausgehen, unterscheiden sich nur unwesentlich von den Wirkungen, die bereits mehrfach an anderer Stelle, z. B. in Kapitel 4.2.1.2.1.4 und 4.2.2.1.4 beschrieben wurden. Dabei geht es insbesondere um die Ausbildung verlängerter Randlinien bei erforderlich werdenden Randsicherungen. Die Form hat lediglich geringe Wirkungen auf die hydrologischen und morphologischen Prozesse, auf die Vegetation und die Fauna.

##### ➤ Boden

Mit Veränderung der wasserseitigen Uferlinie ist kein direkter Effekt auf die Böden des hier betrachteten Geltungsbereiches verbunden. Wird diese Linie allerdings durch Randsicherungen erlangt, ist ein Schutz vor Erosion und damit eine ungestörte Bodenentwicklung in der Ufervorspülung gewährleistet. Variation in der landseitigen Randbegrenzung ermöglicht eine bessere Anpassung an die anschließenden ursprünglichen Böden und deren Funktionalität.

Mehrere nebeneinander liegende Ufervorspülungen fördern Querströmungen und Wirbelbildungen mit einem nachfolgenden kleinräumigen Muster von Erosion und Sedimentation in ufernahen Bereichen. Für die Bodenentwicklung im Uferbereich ist dieser Effekt ästuar-  
typisch.

##### ➤ Landschaftsbild

Zu bevorzugen sind natürlich wirkende Formen. Von den in der Tabelle 3.2-6 dargestellten Varianten sind die Formen mit verlängerten Randlinien oder eine Kette von Ufervorspülungen einer „Regelform“ vorzuziehen.

#### 4.2.5.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen der Varianten

##### ➤ Boden, allgemeines zu Varianten, Bewertung

###### *Schutzgutbezogenes Umweltziel*

In Ufervorspülungen können natürliche Bodenfunktionen entwickelt und auch erhalten werden, was zum Erreichen des Umweltziels für den Boden beiträgt. Mit der Gestaltung von Oberflächenniveau, -struktur und Form der Vorspülung ist die Ausprägung naturnaher Böden beeinflussbar. Eher ästuaruntypische, gleichzeitig aber Böden besonderer Standorteigenschaften sind bei hohem Oberflächenniveau entwickelbar. Seltene Böden entstehen mit Flusswatten bei flachen Ufern in vom Süßwasser geprägten Abschnitten des Elbverlaufs.

###### *Zielzustand Schutzgut Boden*

Flache und breite Ufervorspülungen vergrößern die Vordeichsländer, was dem Zielzustand für das Schutzgut Boden entgegenkommt. Indem sandiges Bodenmaterial vorgespült wird, liegen die Stoffgehalte der betroffenen Uferbereiche im Hintergrundbereich, was auch dem Zielzustand entspricht.

Hierdurch kommt auch das bodenwert bestimmende Kriterium „Stoffanreicherung“ am Ort der Vorspülung bei niedrigen Gesamtgehalten im sandigen Vorspülmaterial zum Tragen,

womit lokal der ökologische Bodenwert steigen kann. Gleichzeitig bekommt aber auch das Kriterium „Überformung mit Auftrag natürlicher Substrate“ mehr Gewicht. Bei zuvor naturnahen Ufern kann dies hier zur Minderung des ökologischen Bodenwertes beitragen. Gleichwohl kann das Bodenwert bestimmende Kriterium „Boden als Naturkörper“ mit der Entwicklung naturnaher und seltener Böden wie auch von Böden besonderer Standorteigenschaften mehr gewichtet werden. In der Kombination dieser positiv wie auch negativ wirkenden Kriterien ergibt sich der künftige ökologische Bodenwert am Ort der Vorspülung.

#### 4.2.5.2.1 Ökologische Verbesserungen

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Ufervorspülungen ohne Erosionsschutz haben aufgrund der gleichmäßig flachen Uferneigung günstigere Bedingungen für den Sauerstoffhaushalt des Ästuars.

##### ➤ Boden

Mit sorgfältiger Wahl des Höhenniveaus, des Vorspülmaterials und der Strukturgebung kann durch Ufervorspülungen eine ökologische Verbesserung für den Boden erzielt werden, die je nach bodenökologischem Wert des Vorspülungsbereichs vor der Durchführung der Maßnahme an dieser Stelle jedoch nicht zwingend erforderlich ist.

##### ➤ Vegetation

Aus vegetationskundlicher Sicht können dann ökologische Verbesserungen durch Ufervorspülungen erzielt werden, wenn neue Vegetationsstandorte geschaffen werden, ohne dass dies zu einer Beeinträchtigung bestehender Vegetationsstandorte führt. Dies kann am ehesten durch flache Ufervorspülungen ohne Erosionsschutz und mit naturnahen Substratbedingungen auf vegetationsfreien Standorten oder Standorten mit einer nur geringwertigen Vegetation geschehen. Bei rein sandigem Substrat sind die Entwicklungsmöglichkeiten für ästuartypische Vegetationstypen wesentlich geringer als auf bindigen Substraten.

##### ➤ Fauna

Ökologische Verbesserungen durch Ufervorspülungen können möglicherweise für einzelne ästuartypische Arten erreicht werden. So können neu geschaffene unbefestigte Strandbereiche verbesserte Lebensbedingungen z. B. für ästuartypische Laufkäfer oder Seeschwalben bieten. Durch die Entwicklung von Röhrichten werden verbesserte Bedingungen für Röhrichtbrüter geschaffen. Verbesserungen sind zu erwarten, wenn die neuen Lebensräume für die Fauna hochwertiger sind als die ursprünglich vorhandenen.

##### ➤ Landschaftsbild

Eine Ufervorspülung kann - je nach Ausgangssituation des Geländes auf dem sie angelegt wird, ihrer Ausführung und ihrer Einbindung in angrenzende Vorlandflächen - z. B. neue Standorte für ästuartypische Ufervegetation schaffen und zu einer Aufwertung des Landschaftsbildes beitragen.

#### 4.2.5.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Ufervorspülungen verringern den Wasserkörper und damit den aquatischen Lebensraum.

➤ Boden

Zu mächtige Vorspülungen bzw. unsachgemäße Vorspülungen (z. B. nicht erosionsicher) können auch ökologische Beeinträchtigungen mit sich bringen. Flächen mit zuvor hohem bodenökologischem Wert können dadurch ihre Funktion verlieren.

➤ Vegetation

Ökologische Beeinträchtigungen sind aus vegetationskundlicher Sicht dann zu erwarten, wenn durch die Ufervorspülungen bestehende wertvolle Vegetationsstandorte überdeckt werden. Durch die Veränderung des Höhenniveaus und der Bodeneigenschaften ist nicht zu erwarten, dass sich die ursprüngliche Vegetation nach Beendigung der Baumaßnahmen wieder einstellen kann. Die Entwicklung von typischen Vegetationsformen sandiger Böden wie Ruderalvegetation trockener Standorte, Sandmagerrasen oder lückige Schilf-Röhrichte ist im Vergleich zu ästuartypischen Vegetationsformen wie Röhrichten und Weichholzaunen von geringerer Wertigkeit.

➤ Fauna

Teilweise werden durch Ufervorspülungen wertvolle faunistische Lebensräume (u. a. Röhricht, Watt) überspült bzw. gehen verloren. Für einige Arten, die auf diese Strukturen als Brut- oder Nahrungsgebiet angewiesen sind, ist daher mit Beeinträchtigungen zu rechnen. Insbesondere die Flächenabnahme charakteristischer Lebensräume im aquatischen Bereich ist als Defizit zu werten, da in erster Linie die an diese Lebensräume gebundenen Arten beeinträchtigt werden.

Hoch aufgespülte Bereiche ( $> M_{Thw} +4$  m) entsprechen nicht den faunistischen Umweltzielen, da hier vormals tidebeeinflusste Lebensräume in trockene Standorte umgewandelt werden.

➤ Landschaftsbild

Ufernah finden sich teilweise hochwertige Bestandsstrukturen wie z. B. Watt- oder Röhrichtflächen, die durch die Anlage einer Ufervorspülung verlorengehen können. Ufervorspülungen, die sowohl von der Größe als auch der Höhe überdimensioniert oder in naturnahen Bereichen angelegt werden, sind ebenfalls als landschaftliche Beeinträchtigungen zu werten.

## 4.2.6 Übertiefenverfüllungen

### 4.2.6.1 Beschreibung der ökologischen Wirkungen

#### 4.2.6.1.1 Allgemeine Wirkungen

➤ Hydrologie und Morphologie

Übertiefen sind in der Regel Stromabschnitte mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten, so dass sich bei ihrer Verfüllung hydraulische und morphologische Wirkungen ergeben können.

Übertiefenverfüllungen erhöhen das Niveau der Gewässersohle in einem Bereich, wo das Gewässer eine hohe Räumkraft mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten besitzt. Durch die Reduzierung des Querschnitts und die Erhöhung der Rauheitswirkung kann es zu einer Reduzierung der Verwirbelungen und zu einer Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten

kommen. Wie sich die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten ändern, hängt in hohem Maße von den hydraulischen, hydrologischen und morphologischen Ausgangsbedingungen ab.

In Krümmungen ist aufgrund von Sekundärströmungen mit einer Anlandung am Innenufer zu rechnen. Eine wirksame Maßnahme zur Beseitigung der dadurch verursachten Mindertiefen in der Fahrrinne ist die Verfüllung von Kolken, die sich in der Außenkurve gebildet haben. Dabei wird der Kolkquerschnitt reduziert, wodurch am Innenufer größere Strömungsgeschwindigkeiten mit entsprechender Räumkraft hervorgerufen werden. Diese ist umso größer, je rauer die Sohle im Verbaubereich ausgeführt wird. Beim Verbau durch Verfüllen und anschließendes Abdecken mit Wasserbausteinen oder Felsmaterial wird eine kombinierte Wirkung aus Querschnittsreduktion und Rauheitswirkung erreicht, wodurch es zu einem Wasserspiegelanstieg kommen kann. Dabei kann es wegen Verlagerung der Strömung von rauen (Verbaubereich) zu glatteren (Gleithang) Sohlpartien zu einem Ausräumen der Sohle, nicht nur wie gewünscht am Innenufer, sondern bereits an der Grenze vom verbauten zum unverbauten Bereich kommen, wodurch die Standsicherheit des Bauwerks gefährdet wird. Weiterhin wird die Sekundärströmung am Gleithang verstärkt. (BMV 1997).

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch Übertiefenverfüllungen wird eine Abnahme der mittleren Wassertiefen bezogen auf das Querprofil erreicht. Damit ist eine verbesserte Wiederbelüftung sowie biogene Belüftung des Wasserkörpers und somit ein positiver Effekt auf den Sauerstoffhaushalt gegeben. Die gleichzeitig bewirkte Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit mindert den positiven Effekt auf die Wiederbelüftung leicht ab.

➤ Boden

Das komplexe Wechselspiel hydromorphologischer Wirkungen am Ort der Übertiefenverfüllung sowie in seinem Umfeld kann die Erosion von Bodenmaterial und dessen Weitertransport zur Folge haben. Suspendiertes Feinmaterial kann dabei unter Umständen auf ufernahen strömungsberuhigten Bereichen im Umfeld der Verfüllung sedimentieren. Auflandungen mit einer Beeinflussung der Wattenbereiche können die Folge sein.

➤ Fauna

Prinzipiell sind Übertiefen nicht durch spezielle Artengemeinschaften charakterisiert. Da hier jedoch meist starke Strömungen vorherrschen und daher eher gröbere Sedimente anzutreffen sind, wird die Gemeinschaft eher von sandliebenden Arten (z. B. *Bathyporeia*, *Propappus volki*) oder bei Vorkommen von Hartsubstraten auch von Hartsubstratsiedlern (z. B. Balaniden, *Mytilus*) dominiert werden. Kolke hingegen zeichnen sich meist durch vermehrtes Vorkommen von Hartsubstraten aus, mit entsprechend charakteristischer Besiedlung durch Hartsubstratbesiedler. Entlang des Salinitätsgradienten finden sich jeweils charakteristische Besiedlungsstrukturen. Beschreibungen dazu siehe Kapitel 4.1.1 und 4.2.1.

Die Auswirkungen einer Übertiefenverfüllung sind einer Verklappung vergleichbar: Verlust bzw. Dezimierung bodenlebender Wirbelloser und Fische, Vertreibung und möglicherweise reduziertes Nahrungsangebot für Fische und Garnelen auf der betroffenen Fläche. Aufgrund des vermehrten Vorkommens sessiler Spezies reagieren die benthischen Lebensgemeinschaften von Kolken sensibler auf Überschüttungen. Nach beendigter Baumaßnahme wird eine

Wiederbesiedlung erfolgen. Die Struktur der Biozönose wird dabei u. a. von dem Oberflächenmaterial (Geotextil, Sedimentzusammensetzung) beeinflusst werden (die Auswirkungen verschiedener Materialien auf die Besiedlung wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben).

#### **4.2.6.2 Bewertung der ökologischen Wirkungen**

##### ➤ Boden, allgemeines zu Bewertung

Da der dargestellte Effekt eher marginal ist, gleichzeitig an dieser Stelle nicht ausreichend quantifiziert werden kann, wird hier auf eine Bewertung für den Boden verzichtet.

#### **4.2.6.2.1 Ökologische Verbesserungen**

##### ➤ Fauna

Prinzipiell ist durch eine Übertiefenverfüllung lokal nicht mit Verbesserungen der Lebensbedingungen für die Fauna zu rechnen.

#### **4.2.6.2.2 Ökologische Beeinträchtigungen**

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Mit dem Einbau von geotextilen Containern sind Beeinträchtigungen verbunden, da insbesondere das Material der tiefliegenden Schichten bzw. Geocontainer dann nur sehr eingeschränkt mit dem Wasserkörper in Kontakt steht. Geringe Mengen organischen Materials könnten dann zu stark anaeroben Bedingungen in diesen Schichten führen. Zudem wird die Menge der verwendeten künstlichen Materialien, also Geotextilien, erhöht.

##### ➤ Fauna

Auf der betroffenen Fläche ist durch die Überschüttung mit der Vernichtung bzw. Dezimierung und Vertreibung bodenlebender Arten zu rechnen. Je nach Flächengröße sind infolge des reduzierten Nährtierangebotes vorübergehend eingeschränkte Wachstumsraten und Bestandsrückgänge von Fischen und Garnelen nicht auszuschließen. Nach Beendigung der Baumaßnahme erfolgt eine Neubesiedlung der Strukturen, die nach wenigen Jahren abgeschlossen sein wird.

### **4.3 Hinweise zur ökologischen Optimierung**

Nachfolgend werden Hinweise zur ökologischen Optimierung von Strombauwerken - aufbauend auf der Beschreibung und der Bewertung der ökologischen Verbesserungen und Beeinträchtigungen der Strombauwerke in den Kapiteln 4.1 und 4.2 - schutzgutübergreifend dargestellt. Es handelt sich um eine Zusammenstellung der wesentlichen Hinweise, wie durch die Anlage von Strombauwerken ökologische Verbesserungen erzielt bzw. mögliche ökologische Beeinträchtigungen reduziert werden können.

Dargestellt werden in erster Linie Hinweise zur ökologischen Optimierung von Strombauwerken, die gleichzeitig aus der Sicht mehrerer Schutzgüter gelten. Außerdem werden auch mögliche Konflikte zwischen verschiedenen Schutzgütern dargestellt (in Kursivschrift am Ende des Abschnittes). Nach jedem Absatz sind die jeweiligen zugrunde gelegten Schutzgüter aufgeführt (H: Hydrologie, M: Morphologie, S: Schadstoffe in Schwebstoffen und Sedimen

ten, WS: Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, B: Boden, V: Vegetation, F: Fauna, LB: Landschaftsbild).

Prinzipiell ist es erforderlich, in jedem Einzelfall zu prüfen, ob durch die Errichtung von Strombauwerken eine ökologische Verbesserung für das betreffende Schutzgut erzielt werden kann. Bei den nachfolgenden Hinweisen zur ökologischen Optimierung ist zu beachten, dass möglicherweise eine Verbesserung an der geplanten Stelle auch zu einer Beeinträchtigung an anderer Stelle führen kann.

#### 4.3.1 Linienhafte Strombauwerke

##### *Material*

**Natursteine verwenden:** Natursteine sind aus ökologischer Sicht gegenüber Schlackensteinen zu bevorzugen. Dadurch werden derzeit nicht auszuschließende Beeinträchtigungen durch die Freisetzung von Schwermetallen und deren Anreicherung in der Nahrungskette minimiert. Außerdem können Natursteine eher mit Elbtalmoosen besiedelt werden als Schlackensteine. (WS,B,V,F)

**Wasserbausteine mit kleineren Größenklassen verwenden:** Durch die Verwendung eher kleinklassiger Wasserbausteine im Bauwerkskörper der Strombauwerke kann langfristig die natürliche Bodenfunktionalität gefördert werden, was sich auch positiv für die Vegetationsbesiedlung auswirken kann. Zudem erscheinen sie hinsichtlich des Landschaftsbildes eher naturnah als größere Wasserbausteine. (B,V,LB)

**Auf eine Vollverklammerung verzichten:** Bei der Vollverklammerung des Bauwerkskörpers sind durch die Füllung der Hohlräume keine Bodenfunktionen entwickelbar und die Besiedlungsmöglichkeiten für Biofilme, Wirbellose, Fische und höhere Pflanzen reduziert. Daher ist eine Teilverklammerung aus ökologischer Sicht zu bevorzugen. (WS,B,V,F)

**Bevorzugt Zement/Beton als Verklammerungsmasse verwenden:** Um die Ansiedlung und Entwicklung eines biologischen Rasens zu fördern, ist es empfehlenswert, Zementmörtel anstelle von Bitumen zu verwenden. (WS,F)

**Geotextile Behälter abdecken:** Geotextilien bieten aufgrund der Oberfläche und des fehlenden makroskaligen Lückensystems ein weniger geeignetes Habitat für Organismen als Steine. Durch Abdecken der geotextilen Oberfläche mit Wasserbausteinen können günstigere Bedingungen für Wirbellose und Fische geschaffen werden, welche die Steine und die Lückensysteme als Besiedlungssubstrat, Nahrungs- und Schutzraum nutzen. Im Bereich oberhalb MTnw sind zudem auch aus Gründen des Landschaftsbildes Wasserbausteine gegenüber offenen liegenden geotextilen Behältern zu bevorzugen. (F,LB)

*Geotextile Behälter haben gegenüber Steinen für die Besiedlung mit Biofilmen ein vielfach größeres mikroskaliges Lückensystem und eine größere Oberfläche. (WS)*

##### *Bauweise*

**Strombauwerke mit heterogener Oberflächenstruktur gestalten:** Durch eine heterogene Oberflächengestaltung (Formvielfalt in Höhe und Breite, „unterbrochene“ Bauweise, unterschiedliche, insbesondere flache Neigungen) werden auf dem Bauwerk sowie im direkten Umfeld des Bauwerks Bereiche mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und somit auch unterschiedlichem Erosions- und Sedimentationsverhalten und unterschiedlichen Bodenbildungsprozessen geschaffen. Zudem wirken von Regelausbildungen abweichende Formen eher naturnah auf das Landschaftsbild. (M,B,F,LB)

**Strömungsberuhigte Flachwasserzonen schaffen oder erweitern:** Sofern durch den Bau von linienhaften Strombauwerken Flachwasserbereiche geschaffen oder erweitert werden (beispielsweise durch den Einbau von Sohlschwellen in Nebenrinnen oder die Anlage von Leitwerken), kann das eine Zunahme der morphologischen Strukturvielfalt bedeuten, wenn es sich zuvor um Tiefwasserbereiche handelte. Weisen die Flachwasserzonen ein mildes Strömungsklima mit langen Verweilzeiten des Wassers auf, so können damit für den Sauerstoffhaushalt und gleichzeitig für die Fauna wertvolle Bereiche (bevorzugt im limnisch-oligohalinen Bereich) geschaffen werden. (M,WS,F)

**Hydraulische Belastung am Ufer senken:** Durch den Bau von Leitwerken können vor Schiffswellen geschützte Nebenrinnen entstehen. Uferdeckwerke können möglicherweise entfernt werden, wodurch die Ausbildung naturnaher Uferstrukturen sowie eine naturnahe Vegetationszonierung gefördert wird und somit wertvolle Brut- und Aufenthaltsräume für ästuartypische Tierarten erweitert werden. (WS,V,F)

**Schmale Deichvorländer durch Förderung ufernaher Sedimentation verbreitern:** Sowohl Buhnen als auch ufernah angelegte Leitwerke können Sedimentationsprozesse am Ufer auslösen und dadurch zu einer Ausdehnung der Ufervegetation führen. Wesentliche ökologische Verbesserungen lassen sich aus der Sicht der Schutzgüter Boden und Vegetation erzielen, wenn dadurch besonders schmal ausgeprägte Vorlandbereiche verbreitert und damit wirksame Biotopverbundstrukturen aufgebaut werden können. (B,V)

*Da gleichzeitig aquatischer Lebensraum verloren geht, ist dies aus Sicht der Wasserbeschaffenheit und des Stoffhaushalts sowie der Fauna abzulehnen. (WS,F)*

**Wertvolle Vegetationsbestände schonen:** Beim Bau der Strombauwerke sollte darauf geachtet werden, wertvolle Vegetationsbestände zu schonen und nicht durch Steinschüttungen oder Geotextilien zu überdecken. (V,F)

**Sichtbarkeit von Strombauwerken verringern:** Minimierungen der Beeinträchtigungen sind möglich durch die Wahl geeigneter Formparameter wie z. B. niedrige Kronenhöhen oder die Anlage der Leitwerke in ausreichender Distanz zum Ufer, so dass die Sichtbarkeit der Strombauwerke gering ist. (LB)

### 4.3.2 Flächenhafte Strombauwerke

#### *Material*

**Ästuartypische Substrate verwenden:** Durch die Wahl ästuartypischer Materialien (feinkörnige, insbesondere bindige Substrate, z. B. Schluff, Lehm; z. T. sandige Substrate) können sich Sedimente und Böden mit wertvollen Lebensraumfunktionen entwickeln, mit positiven Auswirkungen besonders für Röhricht-Bestände und die darauf angewiesene Fauna. Dies wirkt sich auch auf das Landschaftsbild positiv aus. (B,V,F, LB)

*Aus Sicht der Wasserbeschaffenheit und des Stoffhaushalts ist aufgrund des Sauerstoffhaushalts eher sandiges, organikarmes Material zu bevorzugen. (WS)*

**Randsicherungen und Abdeckungen möglichst naturnah gestalten:** Sind Randsicherungen oder Abdeckungen zur Sicherung des Strombauwerks notwendig, so sollten bei der Verwendung von Wasserbausteinen und geotextilen Behältern die bereits bei den linienhaften Strombauwerken genannten Hinweise zur Minimierung ökologischer Beeinträchtigungen berücksichtigt werden. (B,V,F,LB)

#### *Bauweise*

**Randsicherungen und Abdeckungen vermeiden:** Sofern möglich, sollte bei der Anlage flächenhafter Strombauwerke im Bereich oberhalb MTnw auf befestigte Randsicherungen und Abdeckungen verzichtet werden. Stattdessen sollten naturnahe Ufer und Böschungen angelegt werden. Dadurch können morphologische Umlagerungsvorgänge stattfinden. Soll das Ufer vor Erosion geschützt werden, sollte geprüft werden, ob dies auch durch standortgerechte Bepflanzungen möglich ist. Positive Wirkungen ergeben sich dadurch für die Morphologie, den Boden, die Vegetation, die Fauna und das Landschaftsbild. (WS,M,B,V,F,LB)

**Strombauwerke mit heterogener Oberflächenstruktur gestalten:** Durch eine heterogene Oberflächengestaltung (Formvielfalt in Höhe und Breite, z. B. durch eine abgesenkte Bauweise, unterschiedliche Neigungen) des Strombauwerks werden auf dem Bauwerk und in seinem direktem Umfeld Bereiche mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten und somit auch unterschiedlichem Erosions- und Sedimentationsverhalten geschaffen. Dadurch können die Strömungsvielfalt und die morphologische Strukturvielfalt zunehmen sowie vielfältige Lebensraumstrukturen (naturnahe Ufervegetation, wasserführende Senken, Substratdiversität) entstehen. (H,M,B,V,F,LB)

**Strombauwerke mit verlängerten Randlinien gestalten:** Ein flächenhaftes Strombauwerk mit verlängerten Randlinien zeichnet sich im Vergleich zu einem Strombauwerk mit „Regelform“ durch eine höhere lokale Strömungsvielfalt aus. Zur Minimierung ökologischer Beeinträchtigungen sollte daher beim Bau flächenhafter Strombauwerke - sofern möglich - auf eine „Regelform“ verzichtet werden. Dies wirkt sich auf die morphologische Strukturvielfalt, die Bodenvielfalt, die Fauna sowie auf das Landschaftsbild positiv aus. (H,M,B,F,LB)

*Verlängerte Randlinien haben zum Teil zur Folge, dass mehr künstliches oder ästuarfremdes Material eingesetzt wird, mit möglicherweise negativen Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit und den Stoffhaushalt sowie die Vegetation. (WS,V)*

**Flächenhafte Strombauwerke nicht auf hoch belasteten Bereichen anlegen:** Es ist darauf zu achten, dass Unterwasserablagerungsflächen bzw. Inseln und Ufervorspülungen nicht auf hoch belasteten feinkörnigen Bereichen gebaut werden. (S)

**Durchflussquerschnitt möglichst gering einschränken:** Die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in der Hauptrinne stellt eine ökologische Beeinträchtigung dar. Eine Minimierung dieser Beeinträchtigung ist dadurch möglich, dass die Strombauwerke den Durchflussquerschnitt möglichst gering einschränken. Unterwasserablagerungsflächen und Inseln sollten daher aus hydrologischer Sicht möglichst mit geringer Höhe und Breite gebaut werden. (H)

**Nebengewässer mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten schaffen bzw. erweitern:** Strombauwerke können dann zu wirksamen ökologischen Verbesserungen beitragen, wenn dadurch die Strömungsvielfalt im Elbe-Ästuar gefördert wird. Erreicht werden kann dies beispielsweise durch die Anlage oder die Verlängerung von Inseln und die damit verbundene Entstehung von Nebengewässern mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten, die aus hydrologischer, morphologischer und faunistischer Sicht als defizitäre Bereiche anzusehen sind. Wenn dabei eine naturnahe, ästuartypische Biotopabfolge von Flachwasser, Watt und tidebeeinflusster Vegetationsstruktur geschaffen wird, können Brut-, Aufwuchs- und Aufenthaltsräume ästuartypischer Fisch- und Vogelarten erweitert werden. Welche Form und Lage die Insel aufweisen muss, um die gewünschten hydrologischen Bedingungen im Nebengewässer zu erzielen, kann nur mit Hilfe von Modellrechnungen am konkreten Beispiel ermittelt werden. (H,M,WS,F)

**Neue Vegetationsstandorte schaffen.** Sowohl durch Inseln als auch durch Ufervorspülungen lassen sich neue Standorte zwischen MThw  $-1,5$  m und MThw schaffen, auf denen sich ästuartypische Böden entwickeln können, die für gebietstypische Tier- und Pflanzenarten geeignete Lebensräume bieten können. Die günstigsten Entwicklungsmöglichkeiten bieten sich bei flachen, möglichst unverbauten Ufern mit naturnahen Substratbedingungen und geringer Belastung durch Wellenschlag. (B,V,F)

*Da gleichzeitig aquatischer Lebensraum verloren geht, ist dies aus Sicht der Wasserbeschaffenheit und des Stoffhaushalts sowie der Fauna abzulehnen. (WS,F)*

**Nebnelben offen halten:** Verlandungsprozesse führen zu einem Verlust an aquatischem Lebensraum in den Nebnelben, langfristig eventuell zum völligen Verlust einzelner Nebnelben. Deshalb ist für die Hydrologie, Morphologie, Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt, Fauna sowie das Landschaftsbild ein Offenhalten der Nebnelben, d. h., eine Vermeidung von Verlandungsprozessen, als sehr positiv zu bewerten. (H,M,WS,F,LB)

*Im Gegensatz dazu können Verlandungsprozesse in Nebnelben – z. B. durch die Anlage oder Verlängerung von Inseln - zu einer Ausbreitung der Ufervegetation sowie von Watten und Rohmarschen führen können. (B,V)*

**Von natürlicher Morphodynamik geprägte Lebensräume schaffen:** Durch die Aufspülung von Sandinseln können Bruthabitate für ästuartypische Vogelarten entstehen. Um beispie-

weise eine natürliche Morphodynamik zu initiieren, sollten Sandinseln ungesichert bleiben und durch regelmäßige Aufspülungen erhalten werden. (F)

**Wertvolle Lebensräume schonen:** Beim Bau von Strombauwerken (z. B. Ufervorspülungen) sollten hochwertige Böden sowie bestehende Vegetationsstrukturen, die wertvolle Pflanzenbestände aufweisen oder bedeutende Brut- oder Nahrungshabitate für ästuartypische Tierarten bieten, geschont werden. Ferner sollten zur Minimierung von Beeinträchtigungen faunistisch wertvolle Bereiche wie Flachwasser mit mildem Strömungsklima und Watt geschont werden. (B,V,F)

**Aufspülhöhe begrenzen:** Um gleichwertige Bodenfunktionen und Lebensräume wie vor der Aufspülung wieder herstellen zu können, sollte die Höhe der Aufspülung begrenzt und gleichartiges Bodenmaterial verwendet werden. (B)

## 5 Beschreibung und Bewertung der großräumigen Wirkungen hydrologischer und morphologischer Änderungen

### 5.1 Allgemeines zu großräumigen Wirkungen

Im Kapitel 4 wurden die lokalen Wirkungen von Strombauwerken beschrieben und bewertet. Die Wirkungen gehen jedoch oft über das eigentliche Bauwerk und seine unmittelbare Umgebung hinaus und sind großräumig wirksam. Dies kann z. B. durch hydrologische und morphologische Veränderungen bewirkt werden, die beispielsweise zu einem Sedimenttransport und einer Ablagerung des mitgeführten Materials in weiter entfernten Uferbereichen führen. In Kapitel 4 wurde erkennbar, dass sich die lokalen hydrologischen und morphologischen Wirkungen nur sehr schwer beschreiben lassen, wenn dies losgelöst von der konkreten Lage und Gestaltung eines Strombauwerks erfolgen soll. Noch mehr gilt dies für die großräumigen Wirkungen.

Deshalb werden nachfolgend Änderungen hydrologischer und morphologischer Parameter vorgegeben, die mit dem Bau von Strombauwerken verbunden sein können. Diese Veränderungen betreffen den Tidehub und die Niveaulächenverteilung, d. h., die Verteilung verschiedener morphologischer Strukturflächen. Sie werden in unterschiedlichen Fallbeispielen mit jeweils variierenden Größen und unterschiedlichen Entwicklungsmöglichkeiten betrachtet. Wesentlich dabei ist:

- Es variiert jeweils nur der im einzelnen Fallbeispiel betrachtete Parameter – also die Änderung des Tidehubs oder der Niveaulächenverteilung um ein bestimmtes Maß.
- Alle anderen Parameter werden als konstant angenommen.
- Es werden in den Fallbeispielen keine Wirkungsketten betrachtet, die sich aus der Veränderung eines Parameters im System ergeben.
- Der marine Bereich wird ausgeklammert.

Die ökologischen Wirkungen dieser Einzel-Änderungen werden für die verschiedenen Schutzgüter beschrieben und bewertet.

Künftige Planungen von Strombauwerken lassen sich hinsichtlich ihrer dann im konkreten Fall ermittelten Wirkungen mit diesen Fallbeispielen vergleichen und in Bezug auf ihre ökologischen Wirkungen einschätzen. Entsprechend der zu erwartenden Wirkungen können Strombauwerke unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse aus ökologischer Sicht gegebenenfalls optimiert werden und es lassen sich möglicherweise ökologische Aufwertungen des Lebensraums Unter- und Außenelbe erzielen.

## 5.2 Änderung des Tidehubs

### 5.2.1 Beschreibung der Tidehubänderungen

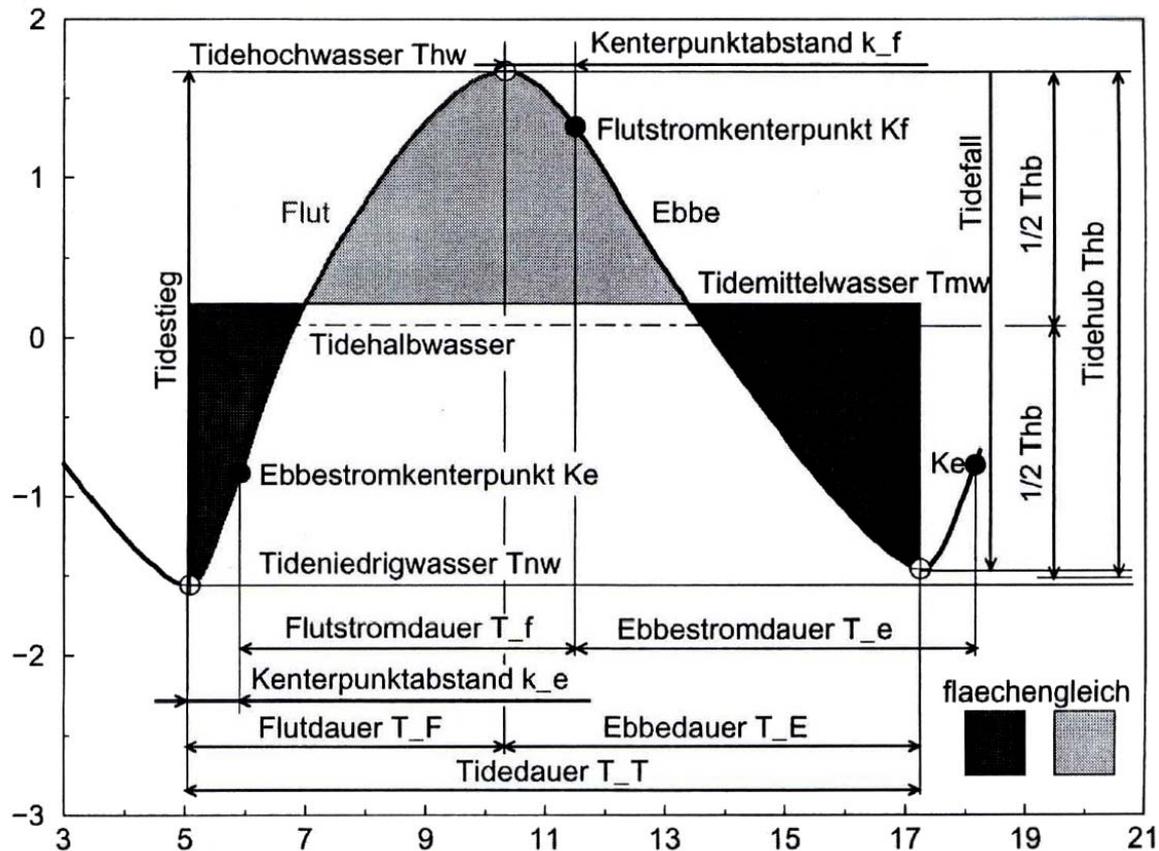
#### Vorbemerkungen

Während die Wasserstände an der Küste im Wesentlichen durch die Gezeiten beeinflusst werden, sind bei Flüssen im Binnenland die Abflüsse von oberstrom maßgebend. Im Tidegebiet von Ästuaren kommt es zu einer Überlagerung dieser beiden Faktoren. Wichtig dabei ist, dass das Tidevolumen, das in ein Ästuar einläuft, anders als der Oberwasserabfluss, von jeder baulichen Maßnahme mehr oder weniger stark beeinflusst wird. Daneben sind noch weitere äußere Faktoren wie z. B. die Verteilung der Salinität (horizontal und vertikal) und die jeweils herrschende Windrichtung und -stärke wirksam, die ebenfalls Einfluss auf die Wasserstände haben..

Die Topographie der Tideelbe ist sehr heterogen. Auf der ca. 20 km langen Strecke vom Wehr Geesthacht bis etwa Bunthaus ist die Elbe zwischen 200 und 500 m breit. In dem bei Bunthaus beginnenden Stromspaltungsgebiet teilt sich die Elbe in die Norder- und Süderelbe. Kurz vor ihrem Zusammentreffen sind sie ca. 400 m und 300 m breit. Ungefähr 7 km stromab des Stromspaltungsgebietes weitet sich die Elbe dann am Mühlenberger Loch abrupt von ca. 500 m auf ca. 2,5 km Breite auf. Die bestehende Fahrrinne wird von Inseln mit Nebenelben begleitet. Bei Niedrigwasser treten teilweise sichtbare Sande als formende Elemente hervor. Unterhalb von Brunsbüttel weitet sich die Elbe zu einem Mündungstrichter auf. Dieser hat in Höhe von Cuxhaven eine Breite von über 17 km.

#### Beschreibung der historischen Tidehubänderung

Die wesentlichen Tidekennwerte sind in der nachfolgenden Abbildung 5.2-1 dargestellt. Typisch für ein Ästuar ist die verkürzte Flutstromdauer.

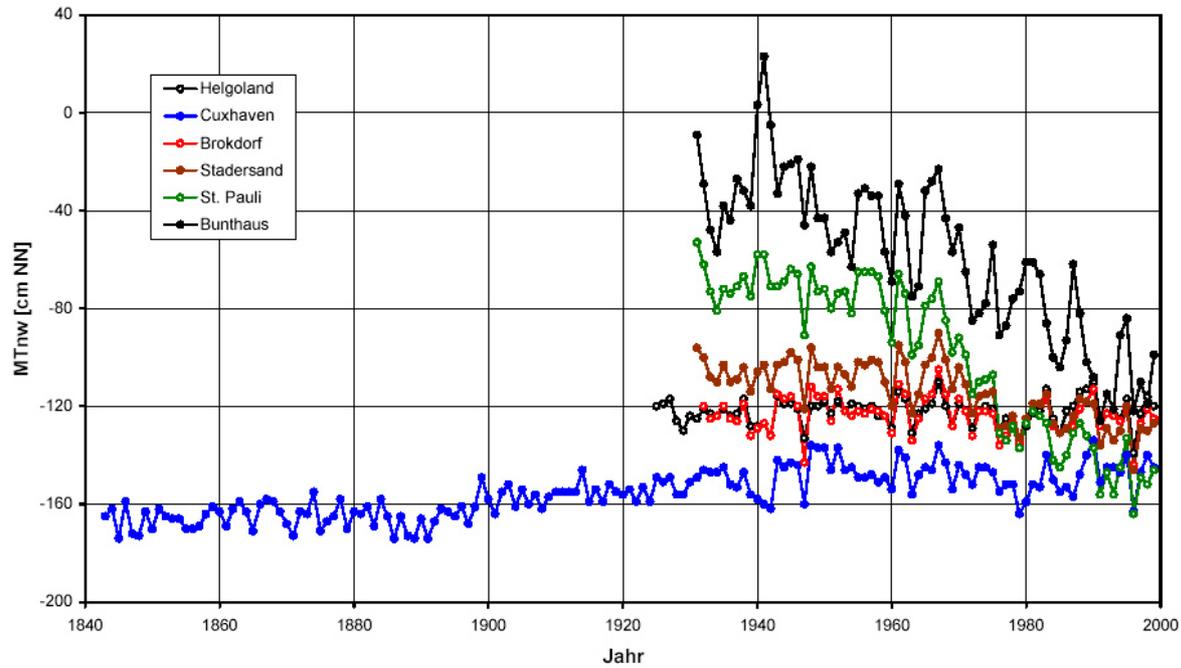


**Abbildung 5.2-1: Darstellung der wesentlichen Tidekennwerte (nach DIN 4049-3, Dezember 1992)**

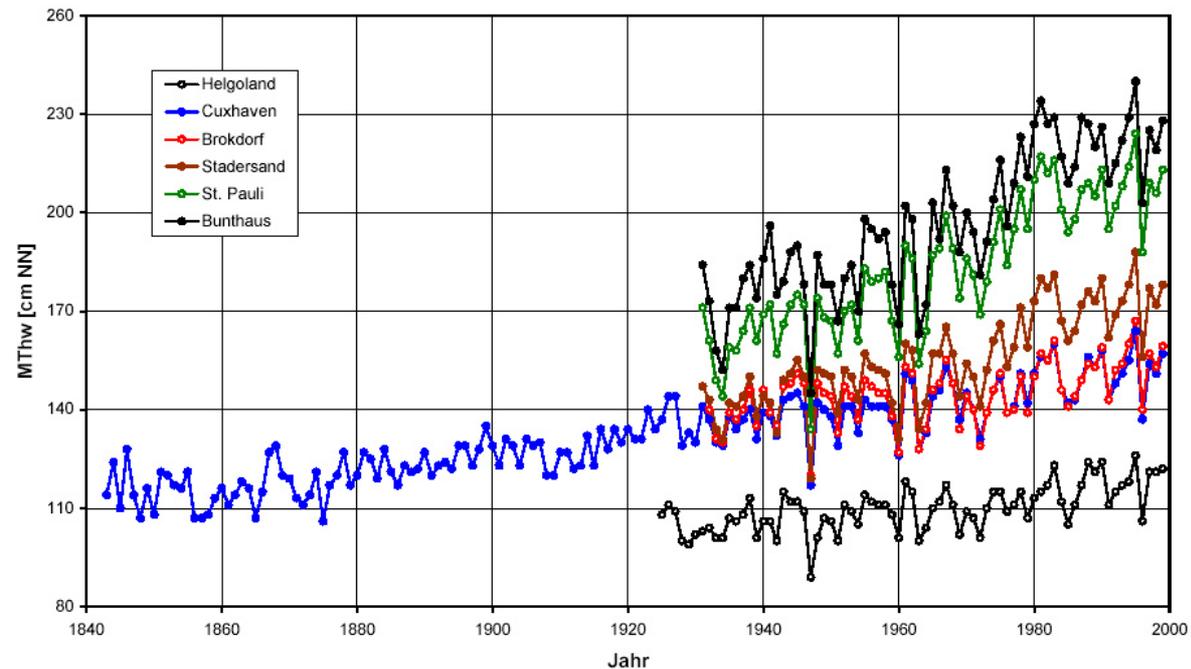
Die Entwicklung der Wasserstände lässt sich am besten an den Jahresmittelwerten des Tidehoch- und Tideniedrigwassers (MThw, MTnw) sowie des dazugehörigen Tidehubs (MThb) beschreiben. Zur Frage der Wasserstandsentwicklung wird der Zeitabschnitt von 1930 bis 1995/99 herangezogen. Für die Pegel St. Pauli, Stadersand und Cuxhaven beschreiben SIEFERT & JENSEN (1993) in ihrer Untersuchung zur Fahrrinnenvertiefung und den Tidewasserständen in der Elbe auf der Basis von Jahresmittelwerten der genannten Zeitreihen ein Ansteigen des MThw und eine Zunahme des MThb. Diese sind um so deutlicher, je weiter flussaufwärts die Pegel gelegen sind.

In den Abbildungen 5.2-2, 5.2-3 und 5.2-4 (nach Beweissicherung WSA HAMBURG) sind die zeitlichen Entwicklungen der Jahreswerte MThw, MThb und MTnw für verschiedene Pegel der Elbe dargestellt. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die MTnw-Zeitreihe für den Pegel Cuxhaven eine gegenläufige Entwicklung im Vergleich zu den weiter stromaufwärts gelegenen Pegel aufweist. Während für die weiter stromaufwärts gelegenen Pegel seit Beginn der Aufzeichnungen das MTnw kontinuierlich abgesunken ist, erfolgte am Pegel Cuxhaven ein leichtes Ansteigen des MTnw. Dieser unterschiedlichen Entwicklung des MTnw liegen jeweils verschiedene Ursachen zugrunde. Während der Absink des MTnw im Bereich der stromauf gelegenen Pegel auf unterschiedliche Maßnahmen im Elbe-Ästuar zurückzuführen ist, wird der Anstieg des MTnw am Pegel Cuxhaven auf Veränderungen zurückgeführt, die

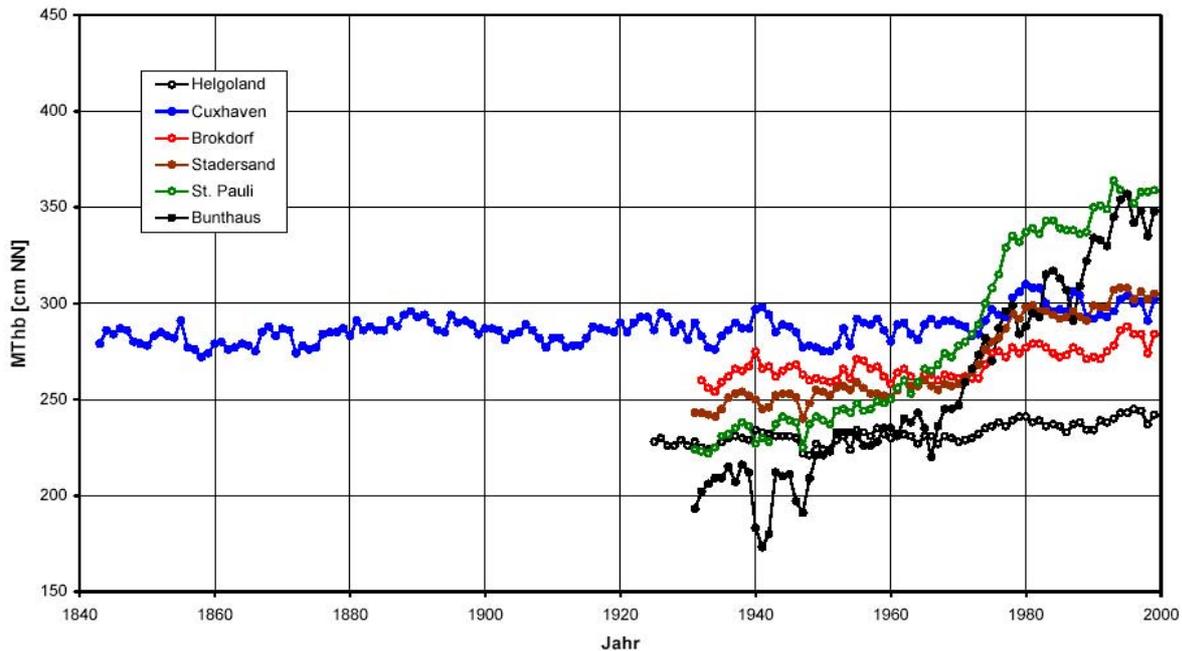
von See her auf das Elbe-Ästuar einwirken sein. Bei der nachfolgenden Untersuchung der Fallbeispiele (siehe Kapitel 5.2.3) werden diese Zusammenhänge berücksichtigt und der Bereich von See her bis etwa zur Oste-Mündung nicht in die Betrachtung der Tidehubänderung mit einbezogen.



**Abbildung 5.2-2: MTnw-Zeitreihen ausgewählter Elbe-Pegel sowie des Pegel Helgoland**



**Abbildung 5.2-3: MThw-Zeitreihen ausgewählter Elbe-Pegel sowie des Pegel Helgoland**



**Abbildung 5.2-4: MThb–Zeitreihen ausgewählter Elbe-Pegel sowie des Pegel Helgoland**

Mit speziellen Analyseverfahren, in denen die meteorologischen Einflüsse, der Oberwassereinfluss und der Tideeinfluss für die verschiedenen Ausbaumaßnahmen berücksichtigt, d. h., aus den Daten eliminiert werden, kommen SIEFERT & JENSEN (1993) zu folgenden Aussagen: Die MThw–Werte in Hamburg haben sich von 1950 bis etwa 1964 nicht signifikant verändert. In dieser Zeit wurde die Fahrrinne auf 11 m vertieft und Strombaumaßnahmen durchgeführt. Im Zeitabschnitt von ca. 1964 bis 1978 (Fahrinnenausbau auf 12 m und dann auf 13,5 m; Durchführung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen) stiegen die MThw–Werte um etwa 25 cm an. Jüngere Untersuchungen von JENSEN (2000) zeigen, dass sich nach Ende des 13,5 m-Ausbaus die MThw-Werte nicht mehr signifikant geändert haben.

Die MTnw-Werte in Hamburg haben vom Ende der 1950er Jahre (11 m-Ausbau) bis etwa 1964 fast gleichmäßig abgenommen. Danach haben die MTnw-Werte bis zum Ende des 13,5 m-Ausbaus (1978) beschleunigt abgenommen. Eine MTnw-Absenkung um 25 cm folgte bis 1992, danach eine weitere um etwa 8 cm. Diese weitere Absenkung kann als hydrologische Langzeitwirkung früherer Anpassungsmaßnahmen angesehen werden, wobei sie allerdings auch Effekte der Anpassungsmaßnahmen Mitte der 1980er Jahre enthalten kann (SIEFERT & JENSEN 1993). Die genannten Aussagen basieren auf normierten Zeitreihen, in denen der Oberwassereinfluss, der Tideeinfluss und die verschiedenen Ausbaumaßnahmen berücksichtigt wurden.

Bei der Betrachtung der MThb-Zeitreihen der Pegel Helgoland, Cuxhaven, Brokdorf, Stadersand, St. Pauli und Bunthaus lassen sich die Zunahmen des mittleren Tidehubs deutlich erkennen, je weiter stromaufwärts der Pegel gelegen ist (Abbildung 5.2-4). Für den Pegel Cuxhaven zeigt sich nur eine leichte Zunahme des MThb, während bei Bunthaus der Tidehub in der Zeitspanne 1949 bis 1980 um rund 1,0 m angestiegen ist. Am Pegel St. Pauli ist der An

stieg des Tidehubs innerhalb der gleichen Zeitspanne sogar noch etwas größer (rund 1,2 m). Die Schwankungen innerhalb der einzelnen Zeitreihen sind auf den Oberwassereinfluss und anthropogene Einflüsse zurückzuführen (JENSEN 2000).

### Fallbeispiele

Ausgehend von der oben beschriebenen historischen Entwicklung wurden die nachfolgend dargestellten 4 Fallbeispiele in Bezug auf den Tidehub festgelegt. Dabei wird angenommen, dass sich einerseits die Entwicklung der Wasserstände entsprechend dem bisherigen Trend fortsetzt, d. h. der Tidehub sich weiter vergrößert, und dass sich andererseits die bisherige Entwicklung umkehrt und der Tidehub sich verringert. Dafür wurden jeweils zwei unterschiedliche Größen der Veränderung vorgegeben. Zum einen eine deutliche Zunahme/Abnahme um etwa 10% gegenüber dem jetzigen Tidehub, zum anderen eine geringere Zunahme/Abnahme von etwa 2%.

- **Fallbeispiel 1:** Die Entwicklungstendenz des Tidehubs verläuft weiterhin wie bisher, mit großen Änderungen. Es wird davon ausgegangen, dass der Tidehub sich gegenüber dem Ist-Zustand um 10% vergrößert (Zunahme Tidehub 10%)
- **Fallbeispiel 2:** Die Entwicklungstendenz des Tidehubs verläuft weiterhin wie bisher, mit geringen Änderungen. Es wird davon ausgegangen, dass der Tidehub sich gegenüber dem Ist-Zustand um 2% vergrößert (Zunahme Tidehub 2%)
- **Fallbeispiel 3:** Die Entwicklungstendenz des Tidehubs kehrt sich um, mit großen Änderungen. Es wird davon ausgegangen, dass der Tidehub sich gegenüber dem Ist-Zustand um 10% reduziert (Abnahme Tidehub 10%)
- **Fallbeispiel 4:** Die Entwicklungstendenz des Tidehubs kehrt sich um, mit geringen Änderungen. Es wird davon ausgegangen, dass der Tidehub sich gegenüber dem Ist-Zustand um 2% reduziert (Abnahme Tidehub 2%)

Dabei wird für die nachfolgenden Betrachtungen davon ausgegangen, dass entsprechend der bisherigen Entwicklung der Tidewasserstände die Änderung des MThw etwa 1/3 und die Änderung des MTnw etwa 2/3 der Gesamtänderung des Tidehubs ausmachen. Eine Zunahme/Abnahme von 10% entsprechen etwa 30 cm Tidehubänderung, 2% entsprechen etwa 6 cm Tidehubänderung.

Die Änderungen sind vereinfachend jeweils für den limnischen, den oligo- und mesohalinen Bereich und für Hauptrinne, Randbereiche/Uferbereiche sowie die Nebenelben gleich anzunehmen. Das zu betrachtende Gebiet umfasst den Bereich zwischen Bunthaus und der Oste-Mündung. Der Bereich seewärts der Oste-Mündung wird bei den vier Fallbeispielen nicht betrachtet, da hier - wie bereits dargestellt - die Entwicklung der Tidekennwerte deutlich von den übrigen Abschnitten abweicht.

### 5.2.2 Ökologische Bedeutung der Tidehubänderung

#### ➤ Hydrologische und morphologische Bedeutung der Tidehubänderung

Wie im vorstehenden Kapitel erläutert wurde, werden die Tidewasserstände hauptsächlich durch die von See her einlaufende Tidewelle, dem Oberwasser und der Morphologie des Ästuars beeinflusst. Die von der Deutschen Bucht her einlaufende Tide ist durch ein sehr heterogenes Gezeitenmuster (FLÜGGE 2002) gekennzeichnet. Mit der aus Westen fortschreiten

den Gezeitenwelle und den vorherrschenden westlichen Winden findet in der Deutschen Bucht ein Transport von Sedimenten von West nach Ost statt und somit auch in die Ästuar. Neben den genannten Randbedingungen hat die Gerinnegeometrie einen entscheidenden Einfluss auf Wasserstände und Strömungsverhältnisse in der Tideelbe. Die hydrologischen Randbedingungen haben alle eine große natürliche Variabilität. Die Gerinnegeometrie der Tideelbe ist geprägt durch unterschiedliche Wassertiefen, Querschnittsprofile und Fluträume. Die Veränderungen in der Gerinnegeometrie, z. B. durch Fahrinnenausbau oder Flutraumveränderungen, haben hydraulische Wirkungen auf die Wasserstände. So ist z. B. der mittlere Tidehub am Pegel St. Pauli in den vergangenen 150 Jahren von ca. 180 cm auf ca. 360 cm angestiegen. Des Weiteren hat sich besonders das durch Gezeiten geprägte Mündungsgebiet infolge von strömungsbedingten Formänderungen wie Veränderungen der morphologischen Struktur durch Sedimenttransport gewandelt. Neben den oben kurz beschriebenen und sehr komplexen Gezeitenprozessen in der Nordsee kommen zusätzlich Veränderungen in den Partialtiden entlang des Ästuars zum Tragen.

Zwischen den natürlichen hydrologischen und morphologischen Entwicklungen und den anthropogenen Veränderungen bestehen nicht nur Überlagerungen sondern gegenseitige Wechselwirkungen, die sehr komplex sind und durch die natürliche Variabilität beeinflusst werden.

Die dabei ablaufenden Prozesse einschließlich der sehr komplexen Wirkungen auf Wasserstände und Strömungen sind annähernd nur mit Hilfe von mathematischen Modellen darstellbar. Partielle Differenzialgleichungen beschreiben die ablaufenden physikalischen Prozesse. Die Lösung dieser Gleichungen ist nur numerisch möglich, wobei an die Eingangsdaten hohe Anforderungen zu stellen sind.

Für die nachfolgenden Darstellungen konnten solche numerischen Modellrechnungen jedoch nicht durchgeführt werden. Generell kann jedoch festgestellt werden, dass sich mit der Veränderung des Tidehubs das Tidevolumen und somit der Energieeintrag und die gesamte Tidedynamik (Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten) innerhalb des Ästuars ändert. Somit ergeben sich Änderungen bei allen Parametern, welche zur Beschreibung der Tidekurve herangezogen werden, z. B. Flut- und Ebbestromgeschwindigkeiten, Flut- und Ebbedauer, . Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Parameter einerseits nicht linear, andererseits aber sowohl orts- als auch zeitabhängig sind.

Eine Zunahme des Tidehubs kann die Folge einer Vertiefung der Fahrrinne sein. Dadurch kommt es zu einer hydraulisch wirksamen Änderung der Gerinnegeometrie. Die Wirkung der Bodenreibung und die rauheitsabhängige Energiedissipation wird gemindert. Der Energieeintrag der einschwingende Tide vergrößert sich und führt zu einer Verstärkung der Tideamplitude und durch die Reflexion an der Tidegrenze zu einer Zunahme des Tidehochwassers und einem Absinken des Tideniedrigwassers. Die damit verbundene Zunahme des Tidevolumens führt zu einer Änderung der gemittelten Durchflüsse sowie zur Verschiebung der Tidelaufzeiten und der Kenterpunkte. Die Veränderung der Tidedynamik führt auch zu einer Beeinflussung der Strömungs- und Transportprozesse. Die durch die Vertiefung erzeugte höhere hydraulische Leistungsfähigkeit der Fahrrinne führt zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in der Hauptrinne und zu einer Minderung der Geschwindigkeiten in den Randbereichen. Diese Beeinflussung hat Auswirkungen auf die morphologische Entwicklung

des gesamten Ästuars. Des Weiteren kommen je nach Ausbaumaßnahmen wie Vertiefung und Krümmungsänderungen Flachwassereffekte und damit Veränderungen in den Partiaaltiden hinzu. Die bei einer Vertiefung entstehenden Veränderungen sind über die Länge des Ästuars nicht konstant, sondern variieren bzw. verstärken sich landeinwärts (siehe Abbildung 5.2-6)

Beim Einlaufen einer Flachwasserwelle im Tidefluss wird die Form, die Amplitude und die Höhenlage der Welle verändert. Aus physikalischer Sicht sind dafür Reibung und Reflexion verantwortlich. Neben der Veränderung der Tidewelle durch die Reibung kommen die Reflexionen durch die Topographie und das Oberwasser hinzu.

Wenn eine künstliche Tidegrenze, z. B. ein Wehr, vorliegt, wird die Tidewelle, die von der See her einläuft, an ihr reflektiert. Doch schon während des Fortschreitens der Welle nach oberstrom kommt es an den Ufern und in den Flachwasserbereichen von Kurven zu Teilreflexionen, so dass die an der Sperrstelle reflektierte Welle nicht mehr mit der Ursprungstide identisch ist. Werden durch strombauliche Maßnahmen die geometriebedingten Teilreflexionen verringert, wird ein größeres Tidevolumen an der Tidegrenze reflektiert und es kommt zu einem Anstieg des MThbs. Ist die Wassertiefe sehr groß, dann sind die Anhebung des MThws und das Absinken des MTnws etwa gleich. In flacheren Gewässern ist jedoch die Absenkung des MTnws deutlich höher. Bei einer Zunahme des Tidehubs wird somit der Einfluss der Sohlreibung auf das verringerte MTnw stärker, wohingegen die Zunahme der Wassertiefe beim angestiegenen MThw den Einfluss der Reibung verringert.

Dieser Einfluss der Sohlreibung führt zu einer Verformung der Tidekurve von der Mündung flussaufwärts. Die Flutstromgeschwindigkeiten nehmen zu und die Flutdauer verkürzt sich, die Ebbestromgeschwindigkeiten verringern sich und entsprechend steigt die Ebbdauer. Durch eine Zunahme des MThbs kann also die Verformung der Tidewelle verstärkt werden. Der stärker wirksame Einfluss der Sohlreibung und die längere Ebbestromdauer sind also zwei Effekte, die eine Abnahme der Ebbestromgeschwindigkeiten hervorrufen können.

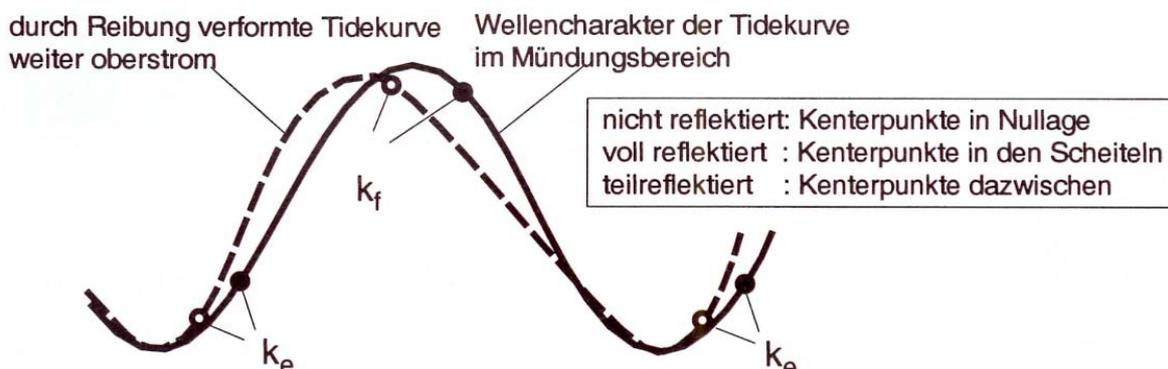


Abbildung 5.2-5: Verformung der Tidekurve nach oberstrom und reflexionsbedingte Verschiebung der Kenterpunkte (aus ZANKE 2002)

Andererseits muss aber auch berücksichtigt werden, dass durch strombauliche Maßnahmen oder durch eine Veränderungen der Gerinnegeometrie ein vergrößertes Tidevolumen einschwingen kann, wodurch es zu einem Anstieg des MThbs im Bereich der Tidegrenze kommen kann. Durch die Zunahme des ein- und ausschwingenden Tidevolumens kann es sowohl bei Flut- als auch bei Ebbestrom zu einer Zunahme der maximalen als auch der mittleren Strömungsgeschwindigkeiten kommen. Des Weiteren sind die Wasserstände und die Strömungsgeschwindigkeiten in hohem Maße von weiteren Einflussfaktoren wie z. B. Oberwasser, Windeinflüssen, Gerinnegeometrie, astronomischen Einflüssen und Lage im Längsprofil abhängig, so dass pauschale Aussagen über die Änderung der hydrologischen Kenngrößen durch eine Änderung des MThbs nicht möglich sind. Aus diesem Grund kann eine Beschreibung der morphologischen Entwicklung (morphologischer Nachlauf) durch eine Änderung des MThbs nur auf der Grundlage von hypothetischen Annahmen bezüglich der Änderungen der hydrologischen Kennwerte stattfinden. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass eine Zu- oder Abnahme des MThbs je nach Art und Ort der verursachenden Maßnahme nicht gleichmäßig entlang eines Ästuars verlaufen wird. So kann z. B. eine strombauliche Regelung im Bereich einer Ausbaumaßnahme zu einer Abnahme des MThbs führen, wohingegen stromauf mit einem Anstieg gerechnet werden muss (siehe Abbildung 5.2-6).

### Änderung des Tidehubes durch Abdämmung und Regelung eines Tideflusses

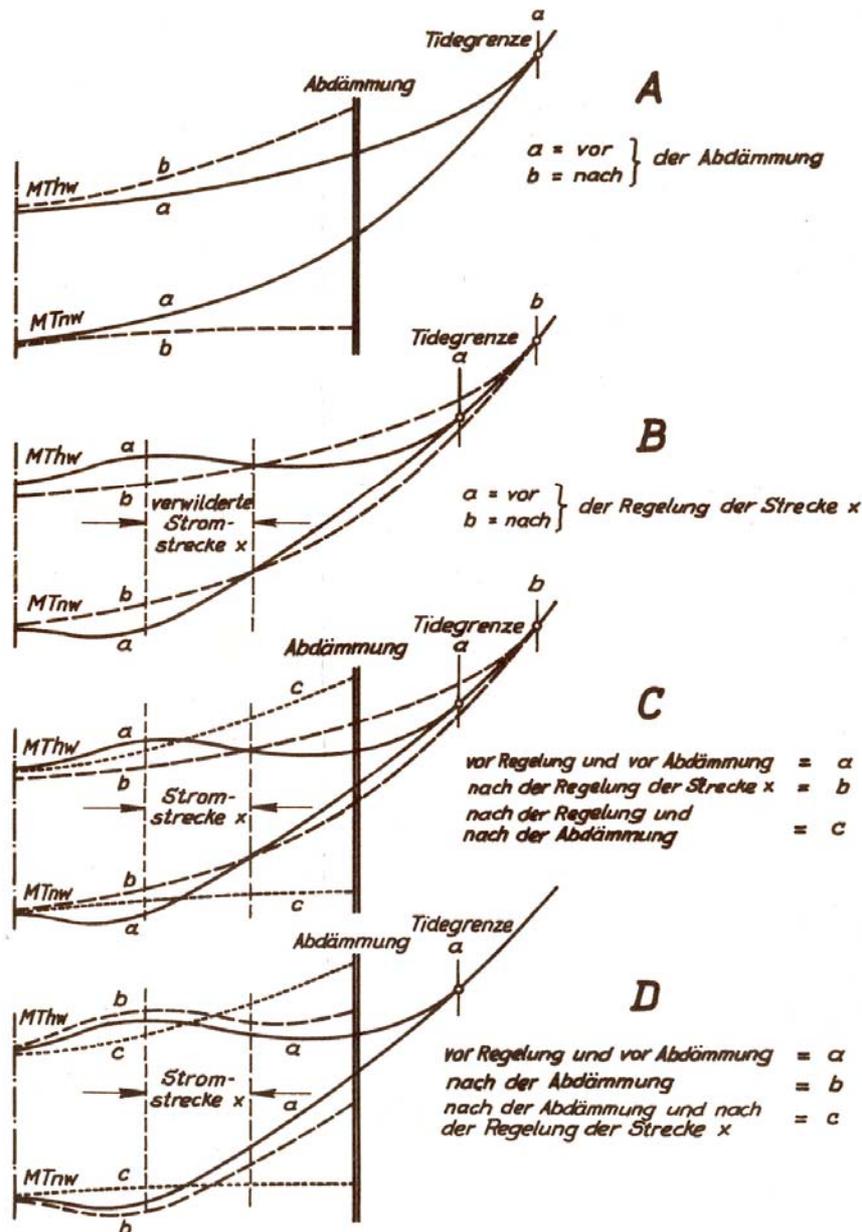


Abbildung 5.2-6: Änderung des Tidehubes durch Abdämmung und Regelung (aus HENSEN 1959)

Die Veränderungen der Tidedynamik, insbesondere die Änderungen der Strömungsverhältnisse, haben einen entscheidenden Einfluss auf den Sedimenttransport.

Sohlmateriale kann nur in Suspension gebracht werden, wenn die vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten eine bestimmte kritische Geschwindigkeit überschreiten, die von den Sedimenteigenschaften abhängig ist (siehe Kapitel 4.2). Sobald die Strömungsgeschwindigkeit zur Erhaltung des Suspensionszustandes nicht mehr ausreicht, sinken die Schwebstoffteilchen zu Boden und bilden (temporäre) Ablagerungen an der Gewässersohle oder bei Überflutungen auch auf Vorländern. Der aus den Fließgeschwindigkeitsverhältnissen und der Fließdauer ableitbare resultierende Schwebstofftransport kann sich durch eine Erhöhung des MThbs verändern. So wird durch die oben beschriebene Verformung der Tidekurve der Flutstromast gestaucht und die Flutstromgeschwindigkeiten steigen an, andererseits wird aber auch das Zeitfenster kleiner, in dem Schwebstofftransport stromauf stattfinden kann. Bei Ebbestrom stellt sich der gegenteilige Effekt ein. Dadurch kann in Abhängigkeit von der Ausprägung der beiden beschriebenen Effekte entweder der resultierende stromaufwärtige Transport oder der resultierende stromabwärtige Transport gestärkt werden.

Die Verformung der Tidekurve durch die Sohlreibung führt zu einer verkürzten Flut- und einer verlängerten Ebbdauer, was sich in Richtung der Tidegrenze fortsetzt. Dies kann zu einem weiteren Effekt führen, der als „Tidal Pumping“ bezeichnet wird. Durch die verkürzte Flutstromdauer kommt es zu einer Zunahme der Flutstromgeschwindigkeiten, was zu einem verstärkten Transport von Sedimenten stromaufwärts führt. Die geringeren Ebbestromgeschwindigkeiten reichen nicht aus, das abgelagerte Sediment wieder in Suspension zu bringen und es kann zu einer Zunahme der Nettosedimentation in diesem Bereich kommen. Das „Tidal Pumping“ macht jedoch nur einen Teileffekt innerhalb des gesamten Sedimenttransports in der Elbe aus. Der überwiegende Teil der Gesamtfracht wird stromab in die Nordsee transportiert. Die residuelle Transportrichtung kann lokal und temporär stärkeren Schwankungen unterliegen.

Der Bereich erhöhter Schwebstoffführung in Ästuarien wird als Trübungszone bezeichnet und für den Abschnitt mit der höchsten Schwebstoffkonzentration in der Trübungszone wird der Begriff Trübungsmaximum verwendet. Dieser Bereich befindet sich am binnenseitigen Rand der Brackwasserzone (meso/oligohaliner Bereich) und pendelt in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren mit den Stromwegen. Wenn es durch eine Zunahme des MThbs zu Änderungen der Salzgehaltsverteilung innerhalb des Ästuars kommt und z. B. durch das erhöhte einschwingende Tidevolumen der Salzkeil weiter nach Oberstrom vordringen kann, kann sich dadurch auch die mittlere Lage des Trübungsmaximums stromaufwärts verschieben. Aufgrund des erhöhten Dargebotes an suspendiertem Feinstmaterial ist im Bereich des Trübungsmaximums mit erhöhter Sedimentation zu rechnen. Durch eine Verlagerung der Trübungszone könnten sich somit Ablagerungsschwerpunkte innerhalb des Ästuars verschieben, möglicherweise könnte auch der Anteil von feinem und schlickhaltigem Sohlmaterial in diesen Bereichen ansteigen. Das kann wiederum zu einer Glättung der Sohle führen. Da sich Dünen nur auf einer sandigen Sohle ausbilden, kann das Auftreten von Transportkörpern erschwert oder verhindert werden, wenn der Anteil an kohäsivem Sediment am bettbildenden Material zu- und die Sohlrauheit in diesem Bereich abnimmt.

Ein Anstieg des MThbs hat Auswirkungen auf die Niveauflächenverteilung in einem Ästuar. Sowohl durch das erhöhte MThw als auch durch die Abnahme des MTnws kann es zu einer Vergrößerung der Wattgebiete auf Kosten von Vorlandbereichen und Gebieten, die zuvor

dem Flachwasser zuzuordnen waren, kommen. Da eine Änderung des MThbs Änderungen der Ebb- und Flutdauer und der Strömungsgeschwindigkeiten zur Folge haben kann, werden sich auch Erosions- und Sedimentationstendenzen innerhalb des Ästuars ändern. In Bereichen, die durch die mittlere Tidehubzunahme länger überstaut werden, kann es bei ausreichendem Schwebstoffdargebot zu erhöhter Sedimentation kommen, andererseits kann es durch möglicherweise angestiegene Flutstromgeschwindigkeiten in einzelnen Abschnitten auch zu erhöhten Erosionstendenzen kommen. Ehemalige Vorlandflächen, die durch die Zunahme des MThws nun im Wasserwechselbereich liegen, stehen damit vorübergehend als Sedimentations- oder Erosionsraum zur Verfügung. Diese Flächen können allmählich wieder „aufwachsen“ und stehen somit langfristig als Sedimentationsraum nicht zur Verfügung (siehe auch Abschnitt „Boden“).

Alle zuvor beschriebenen Effekte beziehen sich auf eine Zunahme des MThbs, wobei das MThw um 1/3 zunimmt und das MTnw um 2/3 reduziert wird. Aufgrund der vielfältigen äußeren Einflüsse und Randbedingungen im Ästuargebiet ist es nicht möglich, pauschal die Auswirkungen einer Tidehubänderung auf morphologische Entwicklungen quantitativ zu bestimmen. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass eine stärkere Zunahme des MThbs größere morphologische Reaktionen nach sich ziehen wird. Weiterhin ist davon auszugehen, dass eine Abnahme des MThbs den zuvor beschriebenen Effekten entgegenwirken kann bzw. diese auch umkehren kann. Da die Wirkungsketten zu komplex sind, erfolgen nachfolgend aus Sicht der Morphologie keine Angaben zu den einzelnen Fallbeispielen.

Nach Strombaumaßnahmen oder Maßnahmen, die Tidehubänderungen nach sich ziehen, kommt es zu einem morphologischen Nachlauf. Das heißt, solange morphologische Umlageungsvorgänge im System stattfinden, können diese wiederum hydrologische Änderungen verursachen, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand eingestellt hat. Diese Entwicklung beeinflusst auch die natürlicherweise stattfindenden Materialumlagerungsprozesse in einem Tidengewässer und ist deshalb kaum getrennt davon zu betrachten. Auch sind Änderungen des hydrologischen Kennwertes MThb häufig nicht monokausal bzw. nicht direkt einer Maßnahme zuzuordnen, andererseits können aber nur Aussagen über die morphologischen Änderungen getroffen werden, wenn der Grund für die Änderung des MThbs bekannt ist. So wird z. B. eine Verfüllung von Flutraum andere morphologische Entwicklungen nach sich ziehen als eine Vertiefung der Fahrrinne, auch wenn beide Maßnahmen zu einer Anhebung des MThbs in einem bestimmten Abschnitt des Ästuars führen können.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Eine Veränderung des Tidehubs führt über eine komplexe Wirkungskette von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen zu veränderten Abläufen im Stoffhaushalt eines Ästuars. Dabei kommt es in der Regel nicht zu neuen, d. h. im bisherigen Zustand des Ökosystems nicht aufgetretenen Prozessen, sondern die Bedeutung einzelner Prozesse wird verstärkt oder geschwächt. Hinzu kommt, dass auf Grund der starken Verflechtung und Rückkopplung vieler Prozesse untereinander, die Wirkungsketten sehr vielfältig sind und bestimmte Prozesse über verschiedene Wirkungsketten gefördert und gleichzeitig auch gehemmt werden können.

Die Beschreibung der Auswirkungen einer Tidehubänderung kann nur qualitativ erfolgen, und kann so leider auch zu nicht eindeutigen Aussagen führen. Eine quantitative Beschreibung der

Auswirkungen ist nur mit Hilfe eines Gewässergütemodells möglich. Für Ökosysteme, die mit eindimensionalen hydraulischen Modellen zu beschreiben sind, etwa Fließgewässer im Binnenland, sind mit dem Gewässergütemodell QSim der BfG solche quantitativen Aussagen zu den Auswirkungen einer veränderten Hydrologie und Morphologie eines Gewässers zu erhalten (KIRSCHESCH & SCHÖL, 1999; BFG, 1999). Mit einer Übertragung von QSim auf mehrdimensionale HN-Modelle wären auch für Ästuarien die Auswirkungen von Ausbau- oder Strombaumaßnahmen auf den Sauerstoffhaushalt quantifizierbar.

Bei der Betrachtung der Auswirkungen einer Änderung des Tidehubs sind unterschiedliche Zeiträume zu bedenken. So gibt es kurzzeitige Auswirkungen, d. h. bei jeder Tide tritt ein verändertes Strömungsmuster auf und der Wasserkörper wird stärker bewegt. Als mittelfristige Auswirkungen sind Veränderungen im Spring-Nipp-Zyklus und als langfristige Auswirkungen ist z. B. ein Verlust an Flachwasserbereichen und eine Zunahme von Wattbereichen zu beachten.

Damit sind durch eine Tidehubänderung hydrodynamisch-morphologische Prozesse entlang einer Zeitskala von Sekunden über Stunden bis Jahre betroffen.

### **Veränderung des mittleren Tidehubs**

#### *Veränderung der Wassertiefe*

Durch eine Tidehubänderung wird die über eine Tide gemittelte Wassertiefe an einem Ort verändert. In Abhängigkeit der an diesem Ort herrschenden Flutdauer bzw. Ebbedauer kommt es zu einer Beeinflussung der tidal gemittelten Wassertiefe.

In einem Modellansatz untersuchten LUCAS & CLOERN (2002) die Abhängigkeit des Phytoplanktonwachstums vom Tidehub unter Berücksichtigung der Faktoren Trübung und benthischer Wegfraß (=Verluste). Die beschriebenen Prozesse sind alle in nicht linearer Weise von der Wassertiefe abhängig. Wenn der Tidehub im Verhältnis zur Wassertiefe gering ist, ist das Phytoplanktonwachstum wenig sensitiv gegenüber einer Veränderung des Tidehubs. Umgekehrt hat in Bereichen, in denen der Tidehub im Verhältnis zur Wassertiefe groß ( $> 0,6$ ) ist, der Tidehub und dessen Veränderung einen nennenswerten Einfluss auf das Phytoplanktonwachstum. Ferner zeigten die Modellergebnisse (LUCAS & CLOERN 2002), dass unter den gewählten Randbedingungen eines trüben und flachen Wasserkörpers mit geringen benthischen Fraßverlusten das Phytoplanktonwachstum mit einer Tidehuberhöhung zunehmen kann.

Generell betrachtet fördert eine Zunahme der Wassertiefen die Bedeutung der im Wasserkörper ablaufenden Prozesse gegenüber den am bzw. im Sediment ablaufenden Prozessen. So nimmt der benthische Umsatz an Kohlenstoff/Stickstoff relativ gesehen, d. h. bezogen auf den Gesamtumsatz in einem Wasservolumen, mit steigender Wassertiefe ab. Das Gleiche gilt auch für das Wachstum der Phytoplankter. Hier bedeutet eine Zunahme der Wassertiefe, dass die Fraßverluste durch benthische Organismen weniger bedeutsam für die Wachstumsbilanz der Phytoplankter werden. Weitere Ausführungen zum Einfluss der Wassertiefe auf den Stoffhaushalt finden sich in Kapitel 5.3.2.

## **Absinken des MTnw und Zunahme des MThw**

### *Verlust an Flachwasserbereichen*

Das Absinken des MTnw hat eine stromseitige Ausdehnung der Wattflächen zur Folge. Damit geht ein Verlust an Flachwasserbereichen einher. Flachwasserbereiche stützen auf Grund ihrer gegenüber den tieferen Strombereichen positiveren O<sub>2</sub>-Bilanz den Sauerstoffhaushalt der Elbe. Dies ist durch die günstigere physikalische Wiederbelüftung und auch durch das günstigere Verhältnis von durchlichteter zu undurchlichteter Wasserschicht und dem damit verbundenen günstigeren biogenen Sauerstoffeintrag durch das Phytoplankton bedingt.

Große Bedeutung kommt auch der Verweilzeit des Wasserkörpers bzw. der Planktonorganismen zu. Durch die räumliche Verringerung der Flachwasserbereiche und durch den verstärkten lateralen Austausch (aufgrund erhöhter Fließgeschwindigkeiten) verbleibt das Phytoplankton nun kürzer in dem „bevorzugten“ Lebensraum, dem Flachwasser. Damit wird der Aufbau und/oder der Erhalt von Phytoplanktonpopulationen erschwert.

Auch die planktischen Fraßfeinde des Phytoplanktons, das Zooplankton und die Jungfische, sind stark von den Wasseraustauschraten und den daraus resultierenden Verweilzeiten in bestimmten Elbebereichen abhängig. Ebenso waren die ehemals im limnischen Flachwasser (erwähnt in LADIGES (1935) für das Mühlenberger Loch vor Abdeichung) vorkommenden Bestände an submersen Makrophyten auf strömungsberuhigte Bereiche angewiesen.

### *Zunahme der Wattflächen*

Die infolge der Tidehuberhöhung zunehmenden Wattflächen weisen gegenüber den Flachwasserbereichen feinkörnigere und organikreichere Sedimente auf, so dass bei Überflutung die Sauerstoffzehrung der Wattsedimente im Vergleich zu den Flachwassersedimenten höher ist. Eine Zunahme der Wattflächen bedingt somit einen stärkeren Beitrag der Sedimentzehrung am Sauerstoffhaushalt der Elbe. Für den Stoffhaushalt der Watten ist die Sedimentationsrate, d. h. die Nachlieferung organikreicher Partikel aus der Wassersäule von erheblicher Bedeutung.

### *Sedimentation*

Über den Wattflächen kann, besonders bei gleichzeitiger Zunahme der Überstauungszeiten, eine erhöhte Sedimentation auftreten. Die Zunahme der Sedimentationsrate bewirkt eine Zunahme der heterotrophen Prozesse in den Wattsedimenten und damit eine erhöhte Sauerstoffzehrung.

Einen wesentlichen Beitrag zum Sauerstoffeintrag leistet der *physikalische* Sauerstoffeintrag insbesondere beim Auf- und Abfließen des Wassers auf die bzw. von den Wattflächen. Dieser Prozess dürfte durch eine Zunahme des Tidehubs gestärkt werden.

### *Resuspension*

Die Resuspension, d. h. das Aufwirbeln insbesondere von Wattsedimenten dürfte infolge der erhöhten Fließgeschwindigkeiten und damit auch der erhöhten Schubspannungen zunehmen. Damit kann es durch vermehrten Eintrag von organikreichen Sedimenten zu einem erhöhtem Sauerstoffverbrauch im Wasserkörper kommen. Gleichzeitig ist eine Zunahme der Trübung zu erwarten. Die Auswirkung der Resuspension muss nicht lokal auf die Wattbereiche be

schränkt bleiben. Eine Beeinflussung der sich in Richtung Hauptstrom anschließenden Flachwasserbereiche ist wahrscheinlich.

#### *Zunahme der benthischen Primärproduktion (Phytobenthos)*

Die Phytobenthosbesiedlung der Watten bedingt einen biogenen Sauerstoffeintrag, der im Wesentlichen beim Trockenfallen der Watten stattfindet. Durch ihre Photosyntheseaktivität beeinflussen die benthischen Mikroalgen maßgeblich die Vorgänge in der obersten Sedimentschicht. Daher trägt die Sauerstoffproduktion der Algen eher zur Oxidation der Wattsedimente bei Ebbe als zur Anreicherung des bei Flut über den Watten stehenden Wasserkörpers bei. Als Folge einer Tidehuberhöhung und mit Zunahme der Wattflächen und Expositionszeiten dürfte der Beitrag des Phytobenthos für den Sauerstoffhaushalt der Elbe an Bedeutung zunehmen. Dies um so mehr, wenn gleichzeitig infolge einer hohen Wassertrübung die Entwicklung des Phytoplanktons eingeschränkt ist.

Durch eine Veränderung der Überströmungsverhältnisse (Fließgeschwindigkeiten, Expositionszeiten) kann auch eine Verschiebung der Artenzusammensetzung der Phytobenthosgemeinschaft bewirkt werden.

Die quantitative Zunahme der Lebensräume für das Phytobenthos und eine etwaige Verschiebung in der Artenzusammensetzung hat einen Einfluss auf das nachfolgende Nahrungsnetz. Die auf den Watten lebenden Konsumenten (Meiobenthos, Makrozoobenthos) der benthischen Algen finden ausgedehntere Lebensräume.

#### *Denitrifikation*

Ein weiterer Aspekt betrifft die Stickstoffumsetzungen im Sediment. Hierbei ist der Prozess der Denitrifikation von besonderem Interesse, bei dem überwiegend im Sediment gebildetes Nitrat zu Stickstoffgas ( $N_2$ ) reduziert und so dem aquatischen System entzogen wird. Nach Angaben der ARGE ELBE (1990) werden bis zu 10 % der Stickstoff-Gesamtfracht durch die Denitrifikation in die Atmosphäre verbracht. Flachwasserbereiche und Watten mit feineren und organikhaltigen Sedimenten sind die aktivsten Orte der Denitrifikation, so dass deren Flächenanteil einen wesentlichen Einfluss auf die Funktion des Ästuars als Stickstoff-Senke ausübt.

#### **Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten**

Der tidebedingte Wasseraustausch und die Strömungen verändern sich bei einer Tidehuberhöhung, u. a. da die Flutwelle schneller und weiter stromaufwärts läuft. Dabei werden neben den Austausch- und Transportvorgängen zwischen Meer- und Flusswasser auch die lateralen Austauschvorgänge im Ästuar zwischen Hauptstromrinne, Nebenrinnen, Flachwasserzonen und Watten auf komplexe Art verändert.

Generell ist die Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne stärker als in den Seitenbereichen. Unter der Annahme gleich bleibender Schwebstoffgehalte führen die veränderten Strömungsverhältnisse zu einem erhöhten Sedimentationsdruck in den Seitenbereichen. Der Schwebstoffeintrag auf die Watten wird beschleunigt und ein Aufwachsen der Watten kann die Folge sein. Für den Stoffhaushalt der Watten ist die Sedimentationsrate, d. h. die

Nachlieferung organikreicher Partikel aus der Wassersäule, von erheblicher Bedeutung. Die Zunahme der Sedimentationsrate bewirkt eine Zunahme der heterotrophen Prozesse in den Wattsedimenten und damit eine erhöhte Sauerstoffzehrung durch die Sedimente.

Erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten können darüber hinaus stärkere Uferbefestigungen erforderlich machen. Ein Verlust an natürlichen Substraten ist nachteilig.

### **Veränderung der Aufenthaltszeiten**

Wird durch Tidehuberhöhung die Verweilzeit in bestimmten Ästuarbereichen verlängert, so kann hier eine Intensivierung des Sauerstoff zehrenden Abbaus organischer und anorganischer Belastungen bewirkt werden. Im und unterhalb des Hamburger Hafenbereichs führt dieser Zusammenhang in der Elbe zu sommerlichen „Sauerstofftälern“. Die starke Depression des Sauerstoffgehaltes entsteht durch die hohe Stoffwechselaktivität der Kohlenstoff und Ammonium oxidierenden Bakterien. Zusätzlich ist in diesem Bereich aufgrund der großen Wassertiefen der atmosphärische O<sub>2</sub>-Eintrag und aufgrund der hohen Trübung der biogene O<sub>2</sub>-Eintrag gering. Die mikrobiellen Aktivitäten sind eng mit der Höhe der Schwebstoffgehalte und dem Schwebstofftransport verknüpft.

### **Verstärktes Transportgeschehen (und längere Tidewege) aufgrund vermehrter Tideenergie**

Durch die Zunahme der Tidekennwerte der Strömungen ist ein intensiviertes Transportgeschehen im Elbe-Ästuar zu erwarten. Als mögliche Folge, insbesondere wenn die Flutstromgeschwindigkeiten die Ebbestromgeschwindigkeiten als Kompensation einer längeren Ebbe-phase übertreffen, gibt es einen residualen Transport von grobem Material stromaufwärts. Die Relation von Ebbe- zu Flutstromgeschwindigkeit reagiert also empfindlich auf Änderungen des Querschnitts und des Tidehubs.

Die erhöhten Tideenergien könnten auch ein verstärktes physikalisches Einfangen und damit eine Anreicherung und längere Aufenthaltszeiten von Schwebstoffen in bestimmten Abschnitten der Elbe bewirken, dies würde besonders für den Bereich des Trübungsmaximums gelten. Erhöhte Schwebstoffgehalte können mittelbar eine Intensivierung der Sauerstoffzehrung im Wasserkörper bewirken und stellen somit eine Belastung für den O<sub>2</sub>-Haushalt in der Elbe dar. Zum Beispiel liegt für den Prozess der Nitrifikation eine enge Verknüpfung mit dem Schwebstoffhaushalt vor. Maximale Nitrifikationsraten wurden in der Elbe im Bereich des Hamburger Hafens in bodennahen extrem schwebstoffhaltigen Wasserproben bestimmt (SCHÖL & KAUSCH 1987). Die hohen Schwebstoffdichten bilden eine große Aufwuchsfläche für die Bakterien. Zudem haben auf Partikeln sitzende Bakterien bessere Wachstumsbedingungen, da Partikel längere Aufenthaltszeiten im Ästuar aufweisen als Wasserteilchen. Kommt es infolge einer Tidehubveränderung zu einer Veränderung von Partikel-Aufenthaltszeiten und Schwebstoffdichten, so kann auch die Intensität und räumliche Verteilung des Nitrifikationsprozesses verändert werden.

In diesem Zusammenhang sei auf die Entstehung einer sohlennahen extrem schwebstoffhaltigen Schicht, dem „fluid mud“ hingewiesen. Im Bereich von „fluid mud“-Schichten können sauerstofffreie Bedingungen mit hohen Gehalten an stark reduzierten Stoffen auftreten. Werden diese reduzierten Verbindungen (Ammonium, Mn, H<sub>2</sub>S) in den Wasserkörper einge

mischt, so können schlagartig große Mengen Sauerstoff gezehrt und damit die Sauerstoffgehalte großräumig vermindert werden. Zudem wird die Trübung des Wassers erhöht und damit der biogene Sauerstoffeintrag auf Grund der Lichtlimitierung des Phytoplanktons geschwächt.

Die Wirkungszusammenhänge, die zwischen Tidehuberhöhung und Schwebstoffhaushalt bestehen, sind von zentraler Bedeutung für den gesamten Stoffhaushalt des Elbe-Ästuars.

### **Verlagerung des Salzgradienten**

Die veränderten Tideenergien können eine Stromaufverlagerung des Salzgehaltsgradienten in die Elbe hinein verursachen. Gleichzeitig würde der für gelöste Nährstoffe, z. B. für Ammonium und Nitrat, bestehende Gradient ebenfalls stromauf verlagert werden.

Für an Partikel gebundene Nährstofffraktionen, die insbesondere beim Phosphorhaushalt entscheidend sind, sind die Auswirkungen der veränderten Tideenergien an die Veränderungen im Schwebstoffhaushalt gekoppelt. So würde eine etwaige Erhöhung der Schwebstoffkonzentrationen auch eine Erhöhung der Gesamtposphorgehalte zur Folge haben.

#### ➤ Boden

Auswirkungen durch Änderung im Tidehub auf die Böden des Unter- und Außenelberaums ergeben sich durch die reinen Wasserstandsänderungen, durch die an diese Veränderung gekoppelte Änderung der Strömungsverhältnisse sowie durch die Kombination beider Effekte. Darüber hinaus erzeugen die mit der Änderung von Tidekennwerten einhergehenden Auswirkungen auf die uferbegleitende Vegetation indirekte Effekte auf den Boden.

Bei einer Zunahme des Tidehubs hat ein Anstieg des MThw eine vermehrte Überflutung von bisher nur bei Ereignissen oberhalb  $MThw_{\text{aktuell}}$  überfluteten Vorlandsflächen zur Folge. Die Böden dieser Flächen werden in ihrem Bodenwasserhaushalt verändert. Das Ausmaß der Änderung wird durch die Bodenart und die Art der Entwässerung beeinflusst. Betroffene Böden werden nun längeren Feuchtphasen ausgesetzt, wodurch gleichzeitig die Belüftung eingeschränkt wird. Luftmangelsituationen können vor allem in lehmigen bis tonigen Böden auftreten, wodurch die Lebensraumfunktion für Vegetation verändert wird. An diese Situation angepasste Arten werden bislang vorkommende Arten oder Artengruppen verdrängen können. In eher sandig ausgeprägten Böden wird aufgrund ihrer hohen Wasserleitfähigkeit der beschriebene Effekt weniger zum Tragen kommen. Gleiches gilt für Bodenflächen mit Entwässerungssystemen wie Gräben oder Gräben.

Auf die zunehmend überfluteten Flächen können nunmehr auch vermehrt flussbürtige Schwebstoffe sedimentieren. Erhöhung des Stoffbestandes am Standort sind die Folge (z. B. Nährstoffe). Je nach lokalen Sedimentationsbedingungen können die betroffenen Marschen des Deichvorlandes geringfügig aufwachsen. Langfristig stehen sie in geringerem Umfang als Retentionsraum zur Verfügung. Damit verbleibt suspendiertes Feinmaterial im aquatischen System, wird mit dem Fluss weiter transportiert und kann erst in morphologisch geeigneten Räumen mit Sedimentationspotenzial zur Ablagerung kommen.

Bei einer Vergrößerung des Tidehubs hat das Absinken des MTnw wiederum ein Ausdehnen von Flächen zur Folge, deren Oberbodenschichten bei Ebbe nunmehr belüftbar sind. Das hy

draulische Gefälle vom Grundwasser zum Vorfluter Elbe steigt bei Ebbe, womit die Grundwasserflurabstände ufernaher Böden marginal absinken. Entwässerungen in Vordeichsböden (z. B. Grüppen) verstärken diesen Effekt. Stoffumsetzungsprozesse im Boden passen sich an den veränderten Wasser- und Lufthaushalt an, wobei mit Stoffmobilisierungen durch längere Belüftungsphasen gerechnet werden kann. Diese Prozesse begünstigen das Fortschreiten der Bodenentwicklung. Ufernahe Watten können sich in Richtung Rohmarschen entwickeln. Gleichzeitig dehnen sich Watten mit einer tiefer liegenden MTnw-Linie fluss- bzw. seewärts aus.

Die sich durch den Anstieg von MThw und das Absinken des MTnw letztlich ergebende Erhöhung des MThb führt generell zu einer stärkeren Ausprägung redoximorpher Bodenprozesse in den Vordeichsböden durch einen markanteren Wechsel von Feucht- und Trockenphasen. Die Aktivität der Stoffumsetzungsprozess wird dadurch erhöht, die ursprüngliche Bodenfunktionalität leicht verändert, die Weiterentwicklung der Böden gefördert.

Die Erhöhung des Thb führt damit vor allem zu einer Vergrößerung der Wattgebiete und zu einer Verschiebung im Bodenwasserhaushalt und in der Bodenfunktionalität der Marschen.

Die im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Thb-Anstieg gekoppelten hydraulischen und morphologischen Wirkungen haben weitere Auswirkungen auf die Böden im Unter- und Außenelberaum.

Die Konzentration der Strömung in der Hauptrinne mit einer Strömungsminderung in den Seitenbereichen führen hier zu vermehrter Sedimentation flussbürtigen suspendierten Feinmaterials (Schwebstoffe). Ein Aufwachsen der Flachwasserbereiche mit nachfolgender Bildung von Watten ist hier die Folge, wobei der Stoffbestand am Ort der Sedimentation erhöht wird. Langfristig können nach einer möglicher Besiedlung durch höhere Vegetation auch Rohmarschen und Marschen entstehen. Die Vorlandbereiche werden dadurch vergrößert und eine ästuartypische Bodenfunktionalität zur Verfügung gestellt.

Die Tendenz zur Watten- und Rohmarschenbildung wird auch durch erhöhte Ebbedauern zusammen mit geringeren Ebbestromgeschwindigkeiten gestützt. Die mit erhöhten Flutstromgeschwindigkeiten stromauf transportierten Schwebstoffe werden mit dem Ebbestrom in gleichem Maße nicht mehr aus dem System ausgetragen und haben die Möglichkeit zur Sedimentation in strömungsberuhigten Bereichen oder bei Überflutung auch auf Marschenflächen. Verlängerte Ebbezeiten manifestieren dabei die Integration dieses Bodenmaterials in die bodenbildende Prozesse.

Als nachfolgender Effekt steht in den aufgelandeten Bereichen weniger Retentionsraum für eine Schwebstoffsedimentation zur Verfügung. Schwebstoffe werden zunehmend im Fluss verbleiben und mit dem Flutstrom verstärkt stromauf geführt. Die eingetragene Schwebstoffmenge kann hier bei Überflutungen auf den Deichvorländern abgelagert werden, womit als langfristiger Effekt mit einem Aufwachsen der Marschen in den Vordeichsbereichen mit den entsprechenden stofflichen Einträgen zu rechnen ist.

Mit einem vergrößerten einschwingenden Tidevolumen kann sich die Brackwasserzone stromaufwärts verschieben. Damit sind bisher süßwassergeprägte Böden vermehrt dem Sal

zeinfluss ausgesetzt, womit sich deren Bodengenese verschiebt. Flusswatten, -rohmarschen und Flussmarschen werden langfristig durch Brackwatten, -rohmarschen und Brackmarschen ersetzt. Im Verlauf dieses Bodenentwicklungsprozesses kann es zu Stofffreisetzungen aus den bestehenden Böden durch salzeintragsbedingten Ionenaustausch kommen. Da das Potenzial zur Schwebstoffsedimentation im Bereich des Trübungsmaximums und leicht stromauf besonders hoch ist, können die bereits dargestellten hydromorphologischen Effekte einer Auflandung hier besonders zum Tragen kommen.

Bodenverluste sind potenziell durch erhöhte Flutstromgeschwindigkeiten möglich. Dies betrifft ungesicherte exponierte Uferbereiche, in denen Rohmarschen und gegebenenfalls Watten durch mechanischen Strömungsangriff verloren gehen können.

Mit einem Anstieg des MThw geht eine landseitige Verschiebung der Vegetationszonierung einher (siehe Beitrag Vegetation). Dies kann bei einer Behinderung der landseitigen Verschiebung durch Barrieren im Vorland (z. B. Deiche) einen Verlust uferbegleitender Vegetation nach sich ziehen. Hierdurch können uferbildende junge Rohmarschen erodiert werden. Im Wasserwechselbereich zwischen Watt und Rohmarsch kann keine Bodenbildung mehr stattfinden. Der Verlust an vegetationsbedingter Rauheit des Flussufers verhindert ein "Festhalten" und eine Sedimentation von suspendiertem Bodenmaterial (Schwebstoffe) und damit eine Neubildung von Böden. Das mögliche Nachwachsen von Queller in salinen Bereichen kann dabei allein die Watten sichern.

Ein Anstieg des Tidehubs durch einen Anstieg des MThw und ein Absinken des MTnw bedingt zusammenfassend folgende Wirkungen auf die Böden des Unter- und Außenelberaums:

- Vergrößerung der Wattgebiete,
- Aufwachsen vorhandener Watten,
- Aufwachsen von Deichvorländern,
- Zunahme von Watten und Rohmarschen durch Verlandungstendenzen in Nebenarmen,
- Verbreiterung der Vorlandbereiche,
- Verlust an Retentionsraum mit nachfolgend begünstigtem, stromauf gerichteten Schwebstofftransport und potenziellem Aufwachsen von Vordeichsböden in oberstromigen Elbeabschnitten,
- veränderter Bodenwasserhaushalt mit verstärkter Redoximorphose, dadurch Aktivierung der Stoffumsetzung und Beeinflussung der Bodengenese,
- Verlust von Flusswatten zugunsten von Brackwatten durch stromauf gerichtete Verschiebung der Brackwasserzone,
- Verlust ufernaher Rohmarschen durch eine potenziell mögliche Verschiebung der Vegetationszonierung aufgrund des Anstieges des MThw,
- Verlust ufernaher Rohmarschen-Böden durch Strömungsangriff.

Eine Abnahme des Tidehubs mit einem Absinken des MThw und einem Ansteigen des MTnw hat prinzipiell die umgekehrten Effekte wie ein Tidehubanstieg zur Folge.

Mit absinkendem MThw werden zuvor überflutete Bereiche nunmehr weniger häufig überflutet. Eine häufigere Belüftung des Oberbodens und eine Anregung vertikal gerichteter Stoff-

umsetzungs- und Verlagerungsprozesse sind die Folge. Damit wird die Weiterentwicklung der Böden gefördert. In salzgeprägten oder brackigen Böden schreitet die Entsalzung voran, die Marschenbildung wird gefördert. In Ufernähe kann die Entwicklung von Watten zu Rohmarschen begünstigt werden. Eine Besiedlung mit Pioniervegetation und eine wasserseitige Verschiebung der Vegetationszonierung unterstützt diesen Vorgang.

Bei gleichzeitig ansteigendem MT<sub>nw</sub> wird der belüftbare Bodenbereich in Watten und ufernahen Rohmarschen eingeschränkt. Wasser- und Lufthaushalt werden zu leicht feuchteren Bedingungen verändert, wobei sich Stoffumsetzungsprozesse mit verringerter Redoximorphose im Boden an die geänderten Bedingungen anpassen. Ein ähnlicher Effekt wird durch das geringere hydraulische Gefälle vom Grundwasser zum Vorfluter erzeugt, wobei auch Marschen der Vorländer betroffen sein können. Bodenart und Entwässerungssysteme beeinflussen das Ausmaß dieses Effektes. Watten gehen zu Gunsten von Flachwasserbereichen verloren.

In hydraulischer Hinsicht wird das System „träger“, womit die beschriebenen Effekte eines Thb-Anstieges hier in umgekehrter Richtung erfolgen: keine zusätzliche Wattenbildung und Verlandung, kein zusätzliches Aufwachsen von Vordeichsböden, Schwebstoffe aus unterstromigen Bereichen werden nicht auf stromauf gelegenen Vordeichsböden sedimentiert, keine Gefahr von Ufererosion, die Brackwasserzone verlagert sich stromab mit einem Zugewinn von Flusswatten und -rohmarshen.

Eine Verringerung des Tidehubs mit absinkendem MThw und ansteigendem MT<sub>nw</sub> bedingt damit folgende wesentliche Wirkungen auf die Böden des Unter- und Außenelberaums:

- Verlust von Watten durch Weiterentwicklung zu Rohmarschen,
- Verlust von Watten zu Gunsten des aquatischen Milieus,
- Erhalt des Retentionsraums auf Marschen oberhalb MThw,
- veränderter Bodenwasserhaushalt mit verringerter Redoximorphose,
- Verlust von Brackwatten zugunsten von Flusswatten durch stromab gerichtete Verschiebung der Brackwasserzone.

#### ➤ Vegetation

Die Höhe des Wasserstandes ist als Standortfaktor von besonderer Bedeutung für die Vegetation des Elbe-Ästuars. Zusammen mit den Standortfaktoren „Substratzusammensetzung“, „Wellenschlag“ und „Salinität“ wird dadurch die Vegetationszonierung an den Ufern der Unter- und Außenelbe maßgeblich bestimmt. Von ausschlaggebender Bedeutung ist in erster Linie die Höhe des MThw, da die Vegetationstypen der Ufervegetation an eine spezifische Überflutungsdauer und -höhe angepasst sind (OERTLING 1992), was insbesondere unmittelbare Auswirkungen auf die Untergrenze der Artvorkommen entlang des Höhengradienten hat. Tabelle 5.2-1 stellt verschiedene Untergrenzen typischer Arten des Elbe-Ästuars in Bezug zum MThw zusammen. Da es sich hier um Extremwerte einzelner Pflanzenstandorte handelt, unterscheiden sich diese Werte etwas von den Angaben zur Höhenzonierung der Vegetationsbestände in Kapitel 4, die mehr auf durchschnittlichen Angaben beruhen.

**Tabelle 5.2-1: Untergrenze der Verbreitung charakteristischer Pflanzenarten des Elbe-Ästuars**

Pflanzenart	Untergrenze der Verbreitung im Elbe-Ästuar
Einspelzige Sumpfsimse ( <i>Eleocharis uniglumis</i> )	MThw –175 cm <sup>1)</sup>
Salz-Teichsimse ( <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> )	MThw –167 cm <sup>1)</sup>
Strandsimse ( <i>Bolboschoenus maritimus</i> )	MThw –167 cm <sup>1)</sup>
Wibels-Schmiele ( <i>Deschampsia wibeliana</i> )	MThw –120 cm <sup>2)</sup>
Schilf ( <i>Phragmites australis</i> )	MThw –114 cm <sup>3)</sup>

Quellen: <sup>1)</sup> OERTLING (1992); <sup>2)</sup> PREISINGER (1991), <sup>3)</sup> RIED (1982), zit. in OERTLING (1992)

Die Einspelzige Sumpfsimse kommt im Elbe-Ästuar maximal bis zu einer Tiefe von MThw – 175 cm vor und ist damit die Pflanzenart, welche die tiefsten Standorte am Ufer besiedeln kann. Salz-Teichsimse und Strandsimse erreichen etwas geringere Tiefen, deutlich darüber liegen die Vorkommen von Wibels-Schmiele und Schilf. Die hydrologisch bedingte Untergrenzen der Artvorkommen bestimmen weitgehend die Verteilung der Pflanzengesellschaften entlang des Höhengradienten (siehe Tabelle 4.2-2 für den limnischen Bereich und Tabelle 4.2-3 für den polyhalinen Bereich des Elbe-Ästuars).

Im Vergleich zum MThw hat das MTnw insgesamt eine wesentlich geringere Bedeutung für die Vegetationszonierung des Elbe-Ästuars, da das MTnw die Vegetation nur indirekt, nämlich über eine mögliche Änderung des Grundwasserstandes beeinflussen kann. Die Veränderung des Grundwasserstands wird stärker durch das MTnw als durch das MThw bestimmt. Diese Veränderungen wirken sich allerdings erst in einem größeren Abstand vom Ufer aus.

Für die weiteren Betrachtungen kann also davon ausgegangen werden, dass vor allem ein direkter Zusammenhang zwischen der Änderung des MThw und dem Vorkommen von Pflanzen besteht, so dass sich eine Änderung der Tidekennwerte direkt auf die Vegetation des Ufers auswirkt. Die Wirkungen von Wasserstandsveränderungen können dabei allerdings durch weitere Effekte überlagert werden, z. B. durch Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten oder des Salzgehaltsgradienten, durch Konkurrenzphänomene zwischen verschiedenen Röhrichtarten, Änderungen der Überstauungszeiten, vor allem aber durch morphologische Veränderungen wie Sedimentations- oder Erosionsprozesse. Ungeachtet dessen werden bei den nachfolgenden Betrachtungen der Fallbeispiele nur die Veränderungen der Vegetation als direkte Folge von Wasserstandsänderungen beschrieben (siehe Vorgaben in Kapitel 5.1). **Wie aktuelle Ergebnisse der Beweissicherung zeigen, können morphologische Wirkungen die Wirkungen von Wasserstandsänderungen vollständig kompensieren.**

**Veränderung des MThw:** Bei einer *Erhöhung des MThw* kann davon ausgegangen werden, dass eine Verschiebung der Vegetationszonen in landseitiger Richtung stattfindet. Das Ausmaß der Verschiebung ist dabei einerseits abhängig vom Grad der Änderung des MThw und andererseits von der Neigung der Außendeichsflächen. Je flacher die Außendeichsflächen geneigt sind, desto stärker fällt die Verschiebung der Vegetationszonen aus. Bei einer gleichmäßigen Neigung und ohne Ausbreitungsbarrieren finden dabei geringe Flächenänderungen der

ufernahen Vegetationsbestände statt, da sich sowohl die Untergrenzen als auch die Obergrenzen der Vegetationszonen (z. B. Salzwiesen, Röhrichte und Uferstauden, Auengehölze) verschieben können.

Im Grünland der Vorländer können sich z. B. durch häufigere Überflutungsereignisse (als Folge des MThw-Anstiegs können sich auch Springtidehochwässer ändern) überflutungstolerantere Vegetationstypen ausbreiten. So können sich Feuchtgrünländer zu Nassgrünländern entwickeln. Die Nassgrünländer werden aus der Nutzung gehen und sich möglicherweise in Schilf-Röhricht verwandeln. Dabei können sich Gefährdungen bestimmter Arten oder Pflanzengesellschaften der Grünländer einstellen, weil diese Standorte dann zu nass für sie werden (z. B. für die Schachblume) oder einzelne Arten lange Zeit benötigen, um in den neuen Standort einzuwandern (z. B. Seggen).

Bei einer *Reduzierung des MThw* kann davon ausgegangen werden, dass dies zu einem wasserseitigen Vorrücken der Ufervegetation, vor allem der Röhrichte, führen wird. Demnach findet hierbei eine Verschiebung der Vegetationszonen in wasserseitiger Richtung statt, wobei – vergleichbar mit den Wirkungen einer Erhöhung des MThw - gilt, dass bei gleichmäßiger Uferneigung und ohne Begrenzungen nur geringe Flächenänderungen der Ufervegetation zu erwarten sind.

Grünländer können nun durch die zu erwartenden selteneren Überflutungsereignisse trockener fallen und dadurch intensiver genutzt werden. Dies kann sich ebenfalls nachteilig auf die Artenzusammensetzung auswirken, d. h., auch hier zu einer Abnahme seltener Arten führen.

Seltener Überflutungen können auch bei den krautartigen Pflanzengesellschaften der Weich- und Hartholzaue zu Verschiebungen führen und möglicherweise im Grenzbereich (obere Ansiedlungshöhen) Veränderungen von Pflanzengesellschaften der Hartholzaue hin zu Pflanzengesellschaften erfolgen, die nicht mehr von Überflutungen geprägt sind.

Die Überlegungen, dass sich bei einer Veränderung des MThw die Vegetationszonen mit nur geringen Flächenänderungen verschieben gelten jedoch nur, solange keine Begrenzungen oder Barrieren (z. B. anthropogene Nutzungen) das Verschieben der Vegetationszonen erschweren.

In Abbildung 5.2-7 ist ein Uferdeckwerk abgebildet, das als landseitige Begrenzung für das angrenzende Strandsimsen-Röhricht wirkt. Bei einer Erhöhung des MThw ist in dieser Situation ein Rückgang der Röhricht-Bestände zu erwarten, da sich nur die Untergrenze, jedoch nicht die Obergrenze der Vegetationszone in landseitiger Richtung verschieben kann. Im umgekehrten Fall – bei einer Reduzierung des MThw – könnte es zu einer deutlichen Erweiterung der Röhrichtfläche kommen, da sich die Untergrenze in wasserseitiger Richtung verlagert, während die landseitige Grenze sehr wahrscheinlich in ihrer Lage verbleiben würde.



**Abbildung 5.2-7: Uferdeckwerk als landseitige Begrenzung eines Strandsimsen-Röhrichts (Nordkehdingen, ca. Elbe-km 683)**

In Abbildung 5.2-8 ist eine wasserseitige Ausbreitungsbarriere für ein Schilf-Röhricht dargestellt. In diesem Fall könnte eine Erhöhung des MThw zu einer Ausbreitung der Schilf-Bestände führen, wenn landseitig keine weiteren Begrenzungen dies verhindern.

Bei einer Reduzierung des MThw ist dagegen eine Reduzierung der Schilf-Bestände zu erwarten, da eine Verschiebung der Vegetationszone in wasserseitiger Richtung nicht möglich ist. Dies kann insbesondere dazu führen, dass die Standorte der Röhricht-Vegetation im Durchschnitt trockener werden und Teilbereiche des Röhrichts einem stärkeren Nutzungsdruck unterliegen.



**Abbildung 5.2-8: Uferdeckwerk als wasserseitige Begrenzung eines Schilf-Röhrichts (Uferdeckwerk bei Eschschallen, Elbe-km 664)**

Für die Ufervegetation des Elbe-Ästuars treten die Mehrzahl der Ausbreitungsbarrieren in landseitiger Richtung auf, da hier neben Uferdeckwerken auch die Nutzungsgrenze sowie Hochwasserschutzdeiche eine Rolle spielen, während die wasserseitige Grenze in der Regel durch die hydrologischen Bedingungen und nicht anthropogen bestimmt ist.

Die durchgehende Begrenzung des Vorlands mit Hochwasserschutzdeichen führt dazu, dass eine Verschiebung der wasserseitigen Vegetationsgrenze zudem direkte Auswirkungen auf die Größe der Vordeichsfläche oberhalb MThw hat. Das bedeutet, dass bei einer Verschiebung der Vegetationsgrenze in wasserseitiger Richtung eine Vergrößerung, bei einer Verschiebung in landseitiger Richtung eine Reduzierung dieser Vordeichsfläche stattfindet. Welche Vegetationstypen dabei Flächenänderungen erfahren, hängt im Wesentlichen von der Lage des Deichs und von den Neigungen im Deichvorland ab.

**Veränderung des MTnw:** Eine Veränderung des MTnw wird im allgemeinen keine direkten Auswirkungen auf die Vegetationszonierung am Ufer haben, da sich die Veränderungen in Bereichen abspielen, die nicht mit höheren Pflanzen bewachsen sind. Denkbar sind allenfalls mehr „indirekte“ Auswirkungen durch die Veränderung im Bereich der Böden und Veränderungen von Grundwasserständen im angrenzenden Vorlandbereich. Bei relativ rasch erfolgenden Änderungen der Grundwasserstände – vor allem bei einem raschen Anstieg - könnten Veränderungen in der Sauerstoffversorgung des Wurzelbereichs zu Schädigungen bei alten

Bäumen führen. Diese möglichen Auswirkungen sind jedoch so gering, dass sie bei den nachfolgenden Fallbeispielen nicht ausgeführt werden.

**Veränderung des Tidehubs:** Unabhängig von den Änderungen der Tidewasserstände hat auch die Höhe des Tidehubs selbst Auswirkungen auf die Vegetation. Insbesondere einige historische Änderungen der Vegetation des Elbe-Ästuars sind wesentlich durch die Erhöhung des Tidehubs verursacht.

So ist der nahezu vollständige Verlust der Wasserpflanzenvegetation im Elbe-Ästuar in den letzten hundert Jahren neben anderen Faktoren auch auf die deutliche Erhöhung des Tidehubs im limnischen Bereich der Unterelbe zurückzuführen. Die Erhöhung des Tidehubs führte außerdem zu einer Abschwächung des Oberwassereinflusses im Elbe-Ästuar und dadurch zu einem ausgeglicheneren Jahresgang hinsichtlich der hydrologischen Verhältnisse. Dadurch gingen insbesondere Standorte verloren, die im Frühjahr langsam trockenfallen und im Sommer nicht täglich überflutet werden. Nach SEELIG (1992) können sich auf diesen vegetations- und konkurrenzlosen Standorten Zweizahnfluren (*Bidention*) mit sommerannuellen Therophyten etablieren. Diese Standorte sind derzeit weitgehend auf den östlichen Bereich der Unterelbe - zwischen Geesthacht und Altengamme - beschränkt.

Sowohl Wasserpflanzen-Gesellschaften als auch Zweizahnfluren kommen im Bereich stromab von Hamburg derzeit nur in geringen Restbeständen vor, so dass die oben dargestellten Auswirkungen von Tidehubänderungen zurzeit von geringer Relevanz für diesen Bereich sind.

#### ➤ Fauna

Aufgrund der Änderung des Tidehubs und der daraus folgenden komplexen Wirkungskette von hydrodynamischen und morphologischen Prozessen sowie veränderten Abläufen im Stoffhaushalt eines Ästuars, verändert sich die Qualität sowie die Ausdehnung verschiedener Lebensräume. Die Auswirkungen sind dabei je nach Art unterschiedlich.

**Veränderte Ausdehnung von Lebensräumen:** Infolge des veränderten Tidehubs kommt es zu Verschiebungen in der flächenmäßigen Ausdehnung von wertvollen Biotoptypen und somit aufgrund von Lebensraumverlusten oder -erweiterungen zu Auswirkungen auf ästuarine Tierarten. Beschreibungen der verschiedenen Lebensräume und ihre Bedeutung für ästuarine Tierarten sind in Kapitel 4 und 5.2.3 dargestellt.

Je nach Bereich treten aufgrund von Veränderungen des Tidehubs Flächenverluste faunistisch wertvoller Biotoptypen bei teilweise gleichzeitiger Erweiterung von Lebensräumen mit hoher ökologischer Relevanz auf. Beispielsweise können durch eine Erhöhung des Tidehubs Flachwasserbereiche zunehmend trockenfallen - bei gleichzeitiger Ausdehnung von Wattflächen. Artspezifisch sind, je nachdem ob Lebensräume erweitert oder dezimiert werden, positiv oder negativ zu wertende Auswirkungen zu erwarten.

**Veränderte Strömungsgeschwindigkeiten:** Durch Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit werden bodenlebenden Tieren vermehrt Nahrungspartikel zugespült, wodurch eine positive Wirkung auf Wachstumsraten und Siedlungsdichten zu erwarten ist. Gleichzeitig werden fei

ne Sedimentbestandteile ausgespült, wodurch sich das Nahrungsangebot für Sedimentfresser verringert. Entgegengesetzte Effekte stellen sich für die Strömungsabnahmen ein. Die Strömung wirkt zudem auf die Substratzusammensetzung und –stabilität, die wiederum strukturierende Faktoren für die Besiedlung darstellen. Insgesamt werden lokale Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten lokale Auswirkungen auf die Fauna haben, wobei diese je nach Art als positiv oder negativ einzustufen sind.

**Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt:** Als eine Folge einer Tidehuberhöhung kann der Sauerstoffhaushalt beeinträchtigt werden (siehe "Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt"). Beeinträchtigungen von sauerstoffbedürftigen Arten sind daher möglich, während robustere Arten profitieren würden. In bestimmten Abschnitten der Tideelbe kann es, insbesondere in den Sommermonaten, zu niedrigen O<sub>2</sub>-Konzentrationen kommen, was zu Beeinträchtigungen für einige Arten (u. a. Fische, fischfressende Vögel) führen kann.

**Verändertes Transportgeschehen:** Infolge von Tidehubänderungen verändert sich das Transportgeschehen von festen und gelösten Stoffen sowie planktischer Organismen. Wasser- und Stoffaustausch bzw. das Transportgeschehen tragen wesentlich zur Produktivität des Gesamtgebietes bei. Geringe Veränderungen wirken sich großräumig aus und sind daher von hoher ökologischer Relevanz für das Nahrungsgefüge im Gesamtsystem Ästuar.

**Zunahme der benthischen Primärproduktion:** Infolge einer Tidehuberhöhung und mit Zunahme der Wattflächen und Expositionszeiten nimmt der Lebensraum für Phytobenthos zu. Damit ergeben sich Konsequenzen für das ästuarine Nahrungsnetz. Profitieren würden z. B. auf den Watten lebende Konsumenten sowie Arten (Fische, Vögel), die hier ihre Nahrungsgründe haben.

**Verschiebung der Brackwasserzone/ Verlagerung des Salzgradienten:** Mit den veränderten Tideenergien kann eine Stromaufverlagerung des Salzgradienten bzw. eine Verlagerung der oberen Brackwassergrenze einhergehen. Durch die Verschiebung verändern sich die Lebensräume und das Flächenverhältnis der Biotoptypen untereinander. Der Lebensraum für Meeres- und Brackwasserarten verschiebt sich stromauf bei gleichzeitiger Zurückdrängung von Süßwasserarten aus dem vormals limnischen Bereich. Dadurch würde der Trend der Verkleinerung des durch das Wehr Geesthacht nach stromauf begrenzten limnischen Bereiches der Tideelbe fortgesetzt. Je nach Art resultieren daraus positive oder negative Konsequenzen. Profitieren würden z.B. Brackwasserarten bei einer Erweiterung des Lebensraumes während stenöke Süßwasserarten zurückgedrängt würden.

#### ➤ Landschaftsbild

Der Tidehub hat eine große Bedeutung für die Ausprägung des Landschaftsbilds der Unter- und Außenelbe. Im Wechsel der Gezeiten verändert sich auch das Landschaftsbild ständig, wobei bei Tidehochwasserständen die ausgedehnten Wasserflächen nur durch einen meist relativ schmalen Uferstreifen von den Vordeichsländern getrennt sind. Wassergefüllte Priele durchziehen an verschiedenen Stellen die Vorländer. Inseln teilen die Elbe in den Hauptstrom und in mehr oder weniger breite Nebenelben. In Bereichen, in denen die Ufer mit Deckwerken gesichert sind, sind diese Deckwerke bei Tidehochwasser nur wenig sichtbar.

Mit fallenden Wasserständen verändert sich das Landschaftsbild immer mehr. Bei Tideniedrigwasserständen ist das Elbe-Ästuar durch teilweise sehr ausgedehnte Wattflächen geprägt, insbesondere im Mündungstrichter. Dann sind vielfältige Strukturen sichtbar wie z. B. Rinnensysteme, Sandbänke, trockenengefallene Priele. Auch die Ufersicherungen werden verstärkt sichtbar.

Eine Veränderung des Tidehubs führt insbesondere zu einer Veränderung der Wattflächen. Da die Veränderungen bei MTnw dabei größer sind als die Veränderungen bei MThw, werden die Veränderungen im Übergangsbereich von Watt zu Flachwasser größer sein als vom Watt zum oberhalb anschließenden Vorland mit seinen teilweise stark landschaftsbildprägenden Vegetationsformen der Ufer.

Bei einem Absinken des MTnw können vor allem in den flacheren Gewässerabschnitten nun weitere Bereiche trockenfallen, die bisher bei Tideniedrigwasserständen noch vom Wasser bedeckt waren. Somit verringert sich die sichtbare Wasserfläche und in ungünstigen Fällen können bestimmte - bisher bei Niedrigwasser noch durchströmte Nebenelben und -rinnen oder Priele - stellenweise gar nicht mehr durchströmt werden. Bei Niedrigwasserständen nicht mehr durchströmte Bereiche würden einen zeitweisen Verlust wertvoller landschaftlicher Strukturen bedeuten.

Bei einem Ansteigen des MThw könnten sich – wie dies bereits unter „Vegetation“ beschrieben wurde – landschaftsbildprägende Vegetationsbestände entlang der Ufer teilweise verschmälern oder ganz verloren gehen, wenn z. B. eine landseitige Verschiebung der Röhrichtzone durch einen Deich oder die angrenzende Nutzung verhindert wird.

Eine Reduzierung des Tidehubs würde diese Verhältnisse umkehren, d. h., es könnte eine Zunahme der Vegetationsbestände im Uferbereich möglich sein und bei Niedrigwasser auch eine Reduzierung der trockenfallenden Bereiche.

### 5.2.3 Fortsetzung der bisherigen Entwicklung des Tidehubs

#### Fallbeispiel 1: Zunahme des Tidehubs um 10%

##### ➤ Hydrologie

Unter der Annahme, dass die Zunahme des Tidehubs durch Vertiefung der Hauptrinne entstanden ist, hat dies Auswirkungen auf die Tidedynamik des Ästuars. Die Auswirkungen auf die Tidedynamik ist sichtbar an den Wasserständen und der Strömung, sowie in den davon abgeleiteten Parametern und Einflussgrößen. Eine Zunahme des Tidehubs um 10% würde zu einer Anhebung des Tidehochwassers um ca. 10 cm und einem Absinken des Tideniedrigwassers um ca. 20 cm führen. Einhergehend mit dieser Veränderung wird sich die Flutdauer verkürzen und die Ebbdauer entsprechend verlängern. Mit dieser Veränderung kommt es auch zu Verschiebungen der Ebbe- und Flutstromkenterpunkte und der jeweils damit verbundenen Flut- und Ebbestromdauer (siehe Kapitel 5.2.1 „Beschreibung der historischen Tidehubänderung“). Mit der Veränderung dieser Parameter wird sich ebenfalls das gesamte Strömungsbild verändern. Da diese Veränderungen sehr komplex sind und in Wechselwirkung mit hydrolo

gischen und morphologischen Parametern stehen, kann hier nur eine grobe Einschätzung der Auswirkungen auf die Strömungsverhältnisse gegeben werden.

Unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Annahmen, d. h. der angegebenen Wasserstandsänderungen, werden sich die querschnittsgemittelten Strömungsgeschwindigkeiten während der Flut- und Ebephase in der Hauptrinne erhöhen und in den flachen Randbereichen verringern. Die Verteilung der Geschwindigkeiten über den wasserstandabhängigen Durchflussquerschnitt ist wiederum von der Form des Querschnittes und weiteren Randbedingungen abhängig. Es wird aber unter Berücksichtigung der Veränderungen der oben beschriebenen Flut- und Ebbedauer in der Hauptrinne zu einem schnellen Anstieg des Flutastes kommen. Die maximale Flutstromgeschwindigkeit wird kurz nach der Ebbestromkenterung erreicht, welche dann rasch abfällt und nach der Flutstromkenterung erneut schnell zur maximalen Ebbestromgeschwindigkeit ansteigt um danach über die verlängerte Ebbestromdauer abzusinken. Auch hier ist die vorangegangene und eventuell noch andauernde Interaktion mit den morphologischen und hydrologischen Prozessen zu berücksichtigen. Diese Wirkungen sind nachfolgend jedoch nicht weiter zu berücksichtigen, da in Kapitel 5.2.1 die Vorgabe gemacht wurde, dass die Wasserstandsänderungen für den gesamten Bereich gleichbleibend angenommen werden. Des Weiteren werden sich die ohnehin komplexen Gezeiten mit ihrer Variation in den Partialtiden durch die Zunahme des Tidehubs verändern.

Die theoretisch beschriebenen Auswirkungen können jedoch nur an einem exakten Beispiel quantifiziert werden.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch eine 10 %-ige Tidehuberhöhung wird eine deutliche Abnahme der Flachwasserbereiche zugunsten der Zunahme von Wattbereichen stattfinden. Die Größe der Flachwasserbereiche und Watten und besonders das Verhältnis zu den tiefen Bereichen des Ästuars ist von großer Bedeutung für die biogene Sauerstoffproduktion.

Durch den Wegfall von Flachwasserbereichen wird insbesondere die planktische Primärproduktion und damit der biogene Sauerstoffeintrag sowie der Lebensraum für Fische (hauptsächlich Jungfische) beeinträchtigt.

Die benthische Primärproduktion im Ästuar wird bei einer Zunahme der Watten gesteigert. Aufgrund der erhöhten Sedimentation dürfte die Stoffretention und damit die „Filterwirkung“ des Ästuars positiv beeinflusst werden. Ein verbesserter Rückhalt bedeutet einen verminderten Austrag u. a. an Nährstoffen in die Nordsee. Mit Zunahme des Tidehubs sind erhöhte Wasseraufenthaltszeiten bei stärkerer Durchmischung im Ästuar zu erwarten. Die Stoffgradienten vom limnischen zum marinen Bereich werden kürzer und steiler.

Die Wirkungszusammenhänge, die zwischen Tidehuberhöhung und einer möglichen Erhöhung der Schwebstoffgehalte bestehen, sind von zentraler Bedeutung für den gesamten Stoffhaushalt des Elbe-Ästuars.

### ➤ Boden

Nimmt entsprechend der historischen Entwicklung im Elbe-Ästuar der Tidehub weiterhin zu, so unterliegen die elbbegleitenden Böden bei Veränderungen von 10% gegenüber den derzeitigen Tidekennwerten weiteren Änderungen, die zu beachtlicher Entfernung vom Zielzustand für den Boden führen. Die bestehenden Trends in einem durch anthropogene Eingriffe manipuliertem tidebeeinflussten Strom setzen sich dabei fort.

Die Auswirkungsprognose gilt für die Annahme, dass bis auf Veränderung der Tidekennwerte keine weiteren Eingriffe im Flusssystem stattfinden, welche die Wirkung der Tidehubänderungen auf die Böden überlagern. Dazu gehören z. B. Deichverlegungen, Schaffen von Inseln und Bänken oder Änderung der Uferbefestigung.

Die prinzipiellen Effekte eines Anstiegs des MThw und einer Abnahme des MTnw auf die Böden im Elbe-Ästuar sind bereits in Kapitel 5.2.2 dargelegt.

Veränderungen im Bodenwasserhaushalt mit verstärkter Redoximorphose, Aktivierung von Stoffumsetzungen und die Beeinflussung der Bodengesehe betreffen dabei alle Böden des Elbe-Ästuars. Im Elblängsverlauf wird das Ausmaß der Auswirkungen durch den lokalen Änderungsbetrag der Tidekennwerte gesteuert, wobei dieser in Richtung Hamburg zunimmt. Die Entfernung vom Fluss, die Bodenart sowie Entwässerungssysteme haben Einfluss auf die Intensität der Auswirkungen.

Die Zunahme von Wattgebieten sowie der Zuwachs von Watten und Rohmarschen in Nebenarmen wirken primär in Bereichen mit der Ausbildung natürlicher oder naturnaher flacher Uferstrukturen, die aufgrund ihrer hydromorphologischen Lage für diesen Effekt prädestiniert sind. Gleiches gilt für das Aufwachsen von Watten und Vorländern und dem damit verbundenen Effekt des Verlustes von Retentionsraum. Gleichwohl reagieren andere Bereiche im Elbverlauf, z. B. mit Uferbefestigungen oder steileren Ufern, in ähnlicher Art und Weise.

Verluste ufernaher Rohmarschen durch Strömungsangriff finden vorwiegend an exponierten Ufern wie z. B. Prallhängen oder Inselspitzen statt.

Die Erosion von Rohmarschen durch eine Verschiebung der Vegetationszonierung wird in denjenigen Uferbereichen begünstigt, in denen das landseitige Wandern der Vegetation durch Barrieren (z. B. Steinschüttungen) oder durch nur schmale Vorländer behindert ist.

Zusammenfassend führt eine Zunahme des Tidehubs um 10% qualitativ zu einer Änderung der Bodeneigenschaften im Elbe-Ästuar mit Veränderungen der Bodengesehe und -funktionen. Quantitativ tritt bei einer tendenziellen Verbreiterung der Vorlandbereiche die Marschenfläche gegenüber der Wattfläche zurück, womit ein für die Funktionalität der Stoffkreisläufe im Ästuar unausgewogenes Verhältnis von semisubhydrischen und semiterrestrischen Böden entsteht. Das Bild des Elbe-Ästuar wird langfristig durch eine hohe Marsch mit intensiven redoximorphen Bodenprozessen und einer im Verhältnis zur Marschenoberfläche eingetiefter und wenig verzweigter Elbe geprägt sein. Eine detaillierte Quantifizierung wird erst nach einer ebenso detaillierten hydraulischen und hydromorphologischen Analyse des Systems möglich sein.

➤ Vegetation

Maßgeblich für die Vegetationsveränderungen ist die Erhöhung des MThw um ca. 10 cm. Als Auswirkung dieses Anstiegs ist eine deutliche Verschiebung der Vegetationszonen des Ufers in landseitiger Richtung zu erwarten. Davon betroffen sind in erster Linie die verschiedenen Röhricht-Typen (Teichsimsen-Röhricht, Strandsimsen-Röhricht, Schilf-Röhricht) der Elbeufer. Die Vegetationszonierung hängt dabei von der Substratzusammensetzung, dem Wellenschlag und der Salinität ab (siehe Kapitel 4.2). Bei Ufern, die durch Uferdeckwerke gesichert sind, werden - sofern die Deckwerke einen Pflanzenbewuchs aufweisen - vorwiegend ruderale Vegetationstypen betroffen sein (siehe Kapitel 4.1).

Nennenswerte Flächenverluste können im Fall von Ausbreitungsbarrieren entstehen, die hauptsächlich in Form von Uferdeckwerken und Nutzungsgrenzen auftreten. Da derartige landseitige Barrieren über weite Strecken im Elbe-Ästuar vorhanden sind, ist im Fallbeispiel 1 von deutlichen Flächenverlusten der Ufervegetation auszugehen. Welche Vegetationstypen dabei betroffen sind und in welchem Umfang dabei Flächen verloren gehen, kann nur durch eine detaillierte Analyse der Ist-Situation - insbesondere der Uferneigungen - ermittelt werden. Wie bereits in Kapitel 5.2.2 beschrieben wurde, sind Bereiche mit flachen Uferneigungen dabei stärker betroffen als steiler geneigte Ufer. Lokal können in den Nebeneibe durch weiter zunehmende Verlandungstendenzen Röhrichtflächen auch zunehmen.

Bei einer MThw-Erhöhung um 10 cm ist davon auszugehen, dass sich auch andere Hochwasserstände ändern und die Deichvorländer häufiger überflutet werden. Die häufigeren Überflutungsereignisse können zur Ausbreitung überflutungstoleranter Vegetationstypen und zu einer verminderten Nutzungsintensität führen. Feuchtgrünländer können sich zu Nassgrünländern entwickeln. Auf Flächen, auf denen eine Nutzung nicht mehr möglich ist, können sich möglicherweise Schilf-Röhrichte einstellen. Grünland-Arten oder Pflanzengesellschaften der Grünländer, die bestimmte Feuchtigkeitsansprüche an den Standort haben, können gefährdet sein, weil diese Standorte dann zu nass für sie sind (z. B. für die Schachblume) oder sie lange Zeit benötigen, um in den neuen Standort wieder einzuwandern (z. B. Seggen).

Veränderungen sind auch bei den Pflanzengesellschaften der Weich- und Hartholzauen möglich, wobei die Artverschiebungen im Wesentlichen den krautigen Unterwuchs betreffen.

➤ Fauna

Bei einer gleichbleibenden Entwicklungstendenz, d. h. ausgehend von einer Erhöhung des MThw um ca. 10 cm und einem Absinken des MTnw um ca. 20 cm kann mit Flächenverlusten von faunistisch wertvollen Flachwasserzonen, insbesondere in flachen Nebeneiben bei gleichzeitigem Zugewinn an Wattflächen gerechnet werden. Für die aquatischen Lebensgemeinschaften ergeben sich insbesondere dann nachteilige Auswirkungen, wenn Verluste von Flachwasser- zu Gunsten von Tiefwasserbereichen erfolgen. Aufgrund von Verlusten wertvoller Vegetationsstrukturen kann es zu Lebensraumverlusten für ästuartypische Brutvogelarten kommen.

**Dezimierung von Flachwasserzonen:** Durch das absinkende MTnw können Flachwasserzonen flächenmäßig reduziert werden. Infolge der Dezimierung der durchlichteten Zone mit guten Wachstumsbedingungen für planktische und benthische Algen wird der Elbestrom weniger mit Sauerstoff angereichert und nachteilige Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt

der Elbe sind nicht auszuschließen. Beeinträchtigungen für das ästuarine Nahrungsnetz ergeben sich gegebenenfalls aufgrund einer verringerten Primärproduktion und einer reduzierten Sekundärproduktion, wodurch sich das Nahrungsangebot für Fische und Vögel möglicherweise vermindert.

Insbesondere im limnisch-oligohalinen Abschnitt der Tideelbe bieten die strömungsberuhigten, nährtierreichen Flachwasserbereiche wichtige Aufwuchs-, Rückzugs- und Nahrungsgebiete für Elbfische. Infolge des absinkenden Tnw gehen (Teil-)Lebensräume für Fische verloren, indem Aufenthalts- und Nahrungsgebiete für Jungfische dezimiert werden und möglicherweise Fischlaich und -brut eher trockenfallen und absterben. Aufgrund von Flächenverlusten von Flachwasserzonen speziell im limnisch-oligohalinen Abschnitt der Unterelbe ist mit Beeinträchtigungen des Fischbestandes der Elbe zu rechnen.

Für die wirbellose Bodenfauna sind Flächenveränderungen von Watt- und Flachwassergebieten von untergeordneter Bedeutung, da die Sedimentzusammensetzung einen wesentlicheren Faktor für die Besiedlungsstruktur darstellt als die vertikale Zonierung.

**Zunahme an Wattflächen:** Infolge der Tidehuberhöhung werden Wattflächen flächenmäßig zunehmen. Während sich durch die Erhöhung des MThw möglicherweise neue Nahrungsquellen für Fische im überschwemmten Uferbereich erschließen, führt der Absink des MTnw zu einem vermehrten Trockenfallen flacher Bereiche, wodurch Beeinträchtigungen der Fischfauna wahrscheinlich sind (s. o.).

Watvögel würden von einer Erweiterung nahrungsreicher Wattflächen profitieren. Nachteilig für Vögel können sich hingegen mögliche längere Überflutungszeiten in einigen Bereichen auswirken, da für die Nahrungssuche eine kürzere Zeit zur Verfügung steht. Infolge der längeren Überstauung steigert sich möglicherweise die Produktion von Nährtieren, wodurch die kürzeren Zeiten zur Nahrungssuche kompensiert werden würden.

**Veränderungen der Vegetation:** Ein Ansteigen des MThw kann lokal zu Verlusten von Röhrichten führen (siehe „Vegetation“). Beeinträchtigungen von an Röhricht gebundenen Tierarten, z. B. im Schilf brütende Vogelarten, sind somit zu erwarten. Allerdings sind auch gegenläufige Entwicklungen z. B. in den Nebenelben möglich, in denen aufgrund zunehmender Verlandungstendenzen eine Ausbreitung der Röhrichte gefördert wird. Hiervon würden Röhricht bewohnende Tierarten profitieren.

Infolge kürzerer Überstauungszeiten können Röhrichte weniger gut von Fischen als versteckreiches Nahrungs- und Aufwuchsgebiet genutzt werden. Beeinträchtigungen phytophiler Fischarten sind daher nicht auszuschließen.

**Gefährdung von Brutplätzen:** Eine Erhöhung der Hochwasserstände kann die Brutplätze von nahe der MThw-Linie brütenden Vogelarten gefährden. Aufgrund von Vordeichung und landwirtschaftlicher Nutzung sind potenzielle Bruträume reduziert und die Neststandorte z. B. von Wachtelkönig und Kampfläufer liegen heute näher an der MThw-Linie als früher. Dadurch sind zunehmende Gelegeverluste aufgrund höher auflaufender Springtiden oder durch einen höheren Auflauf von Schiffswellen bei höheren Wasserständen nicht auszuschließen.

Mit zunehmendem Tidehub werden auch die Brutplätze von Rohrsängern gefährdet, die ihre Nester höher über MThw aufhängen. Nestanlagen werden instabiler da die Halme schneller abknicken. Bekannt ist dieses Phänomen für den vom Aussterben bedrohten Drosselrohrsänger. Brutplatzverluste sind auch für Seevögel (Fluss- und Seeschwalben, Sturmmöwen), die nahe der MThw-Linie auf Inseln und Aufsandungen in Kolonien brüten, nicht auszuschließen.

➤ **Landschaftsbild**

Eine Zunahme des Tidehubs um 10 % bedeutet in Bezug auf den Anstieg des MThw eine landseitige Verschiebung der Grenze von Watt zu Vorland sowie der dort vorkommenden Ufervegetation, z. B. der Röhrlichtzone. Besonders dann, wenn landseitige Ausbreitungshindernisse eine Verschiebung der Vegetation verhindern, kann es zu einer Verschmälerung oder einem Verlust von Vegetationsbeständen kommen (vgl. hierzu die Ausführungen des Fachbeitrages Vegetation). Der Verlust wertgebender landschaftlicher Strukturen führt zu negativen Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Möglicherweise erfordert das ansteigende MThw auch zusätzliche Maßnahmen zur Sicherung der Ufer, die sich ebenfalls nachteilig auf das Landschaftsbild auswirken würden.

Das Absinken des MTnw um ca. 20 cm kann zu Verlusten vor allem von sehr flachen wasserbedeckten Bereichen bei gleichzeitigem Zugewinn an Wattflächen führen. Die gegenwärtige räumliche Verteilung der Flachwasserbereiche im untersuchten Gebiet zeigt einen deutlichen Schwerpunkt in den Randbereichen des Stroms, insbesondere in den Nebelben, Nebenrinnen und Prielen wie zum Beispiel im Bereich der Hahnöfer Nebelbe, der Pagensander und Haseldorfer Nebelbe, der Schwarztonnensandrinne oder dem Freiburger Hafenriel. Aufgrund der teilweise bereits jetzt geringen Wassertiefen kann dies bei Niedrigwasserständen zu einem zeitweisen Trockenfallen von bislang noch dauerhaft wasserführenden Bereichen kommen. Diese Veränderungen hinsichtlich des Landschaftsbildes würden ebenfalls sehr nachteilig beurteilt werden.

Weiterhin werden auch Ufersicherungen und Strombauwerke in größerem Ausmaß sichtbar. Dies ist ebenfalls als landschaftliche Beeinträchtigung zu werten.

**Fallbeispiel 2: Zunahme des Tidehubs um 2%**

➤ **Hydrologie**

Auch für dieses Fallbeispiel wird angenommen, dass die Zunahme des Tidehubs durch eine Vertiefung der Hauptrinne entstanden ist. Die Auswirkungen auf die Tidedynamik des Ästuars sind in ihrer Wirkung analog dem Fallbeispiel 1, jedoch in ihrer Intensität geringer. Man kann hier von einer geringfügigen Anhebung der Tidehochwasserstände (ca. 2 cm) und einer geringfügigen Absenkung der Tideniedrigwasserstände (ca. 4 cm) sprechen. Des Weiteren werden sich die Auswirkungen auf Flut- und Ebbedauer sowie auf Flut- und Ebbestromdauer nur geringfügig verändern. Eine Konzentration sowie eine geringfügige Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit wird ebenfalls zu beobachten sein. Einhergehend mit der geringfügigen Erhöhung der mittleren Flut- und Ebbestromgeschwindigkeit wird es in den angrenzenden Flachwassergebieten zu einer geringfügigen Abnahme der Fließgeschwindigkeiten kommen. Ob es zu einer messbaren Verschiebung der Flut- und Ebbestromkenterpunkte kommt erfordert einen genaueren Nachweis.

Die angenommenen Auswirkungen können jedoch ebenfalls nur an einem exakten Beispiel quantifiziert werden

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die unter Fallbeispiel 1 gemachten Aussagen zum Stoffhaushalt gelten in abgeschwächter Form auch für eine geringer ausfallende Zunahme des Tidehubs.

➤ Boden

Die Auswirkungen auf den Boden durch eine Zunahme des Tidehubs um 2% gehen in die gleiche Richtung wie bei den im Fallbeispiel 1 dargestellten Änderungen. Das Ausmaß und die Intensität der Auswirkungen sind allerdings geringer.

In der Wirkungsprognose kann nicht sicher vorhergesagt werden, ob die tidebedingten Auswirkungen nicht durch andere Wirkfaktoren überprägt werden und ob so vorhergesagte Effekte von der natürlichen Variabilität deutlich zu trennen sind.

➤ Vegetation

Die prinzipiellen Auswirkungen des Fallbeispiels 2 entsprechen denen des Fallbeispiels 1, wobei mit einem Anstieg des MThw um ca. 2 cm das Ausmaß der Auswirkungen jedoch wesentlich geringer ist. Insbesondere die zu erwartenden Flächenverluste der Vegetationstypen werden wesentlich geringer ausfallen als bei einem Anstieg des MThw um ca. 10 cm.

➤ Fauna

Bei einer gleichbleibenden Entwicklungstendenz, d. h. ausgehend von einer Erhöhung des MThw um ca. 2 cm und einem Absinken des MTnw um ca. 4 cm kann mit geringfügigen Flächenverlusten von faunistisch wertvollen Flachwasserzonen bei gleichzeitigem, geringfügigem Zugewinn an Wattflächen gerechnet werden. Prinzipiell ist mit den gleichen Auswirkungen auf die Fauna wie in Fallbeispiel 1 zu rechnen, allerdings in geringerem Ausmaß und geringerer Intensität.

➤ Landschaftsbild

Für das Landschaftsbild bedeuten die geringeren Wasserstandsänderungen des Fallbeispiels 2 geringere Verluste landschaftsbildprägender Ufervegetation, vor allem aber deutlich geringere Änderungen zu Zeiten der Tideniedrigwasserstände. Dies hat zur Folge, dass zu Niedrigwasserzeiten wesentlich weniger Bereiche vollständig trocken fallen als beim Fallbeispiel 1 und somit wasserführende und gliedernde Landschaftsbildstrukturen in größerem Maße erhalten bleiben.

## 5.2.4 Umkehrung der bisherigen Entwicklung des Tidehubs

### Fallbeispiel 3: Abnahme des Tidehubs um 10%

➤ Hydrologie

Im Fallbeispiel 3 wird nun eine deutliche Umkehrung der bisherigen Entwicklung der Tidewasserstände angenommen, nämlich eine Reduzierung des Tidehubs um ca. 30 cm. Das MThw wird sich um ca. 10 cm reduzieren und das MTnw um ca. 20 cm erhöhen, da auch für

die Reduzierung des Tidehubs davon ausgegangen wird, dass die Absenkung des MThw und die Anhebung des MTnw im Verhältnis 1/3 zu 2/3 erfolgen. Die Ursachen für die Abnahme des Tidehubs werden auf morphologische Veränderungen zurückgeführt. Die dadurch eingeleiteten und in ständiger Wechselwirkung stehenden hydrologischen und morphologischen Prozesse werden die Tideparameter beeinflussen. Wahrscheinlich kommt es zu einer Zunahme der Flutstromdauer und der Flutdauer, sowie zu einer Abnahme der Ebbestromdauer und der Ebbdauer und damit verbunden zu Änderungen der mittleren Flut- und Ebbestromgeschwindigkeiten. Die für dieses Fallbeispiel beschriebenen theoretischen Auswirkungen lassen sich ebenfalls nur an einem exakten Beispiel quantifizieren.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Auswirkungen eines verringerten Tidehubs sind im Wesentlichen in der Abnahme der Wattflächen sowie einer uferseitigen Zunahme der Flachwasserbereiche zu sehen. Damit dürfte die benthische Primärproduktion an Bedeutung gegenüber der planktischen Primärproduktion abnehmen.

Ein Rückgang des Tidehubes führt zu einer schwächeren Durchmischung im Ästuar. Als Folge dürfte sich die Vermischungszone bezogen auf die Längsachse der Tideelbe ausdehnen, d.h. der Übergangsbereich vom limnischen zum marinen Milieu nimmt zu. Damit werden auch die Konzentrationsgradienten für gelöste Stoffe im Längsprofil der Tideelbe verändert; die Gradienten werden bezogen auf das Längsprofil flacher. Dies gilt auch für den Salzgradienten, der sich zudem stromab verlagern dürfte.

Durch ein verringertes Strömungsklima dürfte die Resuspension der Sedimente abnehmen und sich auch der stromaufwärts gerichtete Transport von Material verringern. Als weitere Auswirkung sind verringerte Schwebstoffgehalte zu erwarten.

➤ Boden

Nimmt entgegen der derzeitigen Tendenz der Tidehub im Elbe-Ästuar um 10% ab, so werden für die elbbegleitenden Böden Änderungen wirksam, die dem Zielzustand für den Boden entgegenkommen. Bestehende Trends zur Entwicklung einer stark anthropogen beeinflussten Bodenvergesellschaftung mit entsprechend eingeschränkter natürlicher Bodenfunktionalität werden aufgehalten und können gegebenenfalls umgekehrt werden.

Auch hierfür gilt die Annahme, dass bis auf Veränderung der Tidekennwerte keine weiteren das System Elbe-Ästuar verändernde Maßnahmen stattfinden, welche die Wirkung der Tidehubänderung überlagern können (z. B. Deichverlegungen, Ufervorspülungen). Auf die elbbegleitenden Böden wirken die bereits in Kapitel 5.2.2 dargestellten gegenläufigen Effekte einer Tidehubzunahme.

Änderungen im Bodenwasserhaushalt mit verringerter Redoximorphose werden sich in allen Böden des Elbe-Ästuars einstellen. Lokale Variation im Änderungsbetrag der Tidekennwerte, Entfernung vom Fluss, Bodenart und Entwässerungssysteme steuern das Ausmaß dieses Effektes. Die fortschreitende Bodengenese der Marschen ist daran gekoppelt.

Die ufernahe Entwicklung von Watten zu Rohmarschen wird vor allem in Bereichen mit einer Ausbildung natürlicher oder naturnaher flacher Uferstrukturen gefördert. Gleiches gilt für den Verlust von Watten zu Gunsten des aquatischen Milieus. Dessen ungeachtet besteht diese Tendenz auch für andere Bereiche im Elbverlauf mit steileren oder befestigten Ufern.

Negative Effekte durch erosive Massenverluste ufernaher Böden kommen ebenso wie das Vorlandwachsen bei Tidehubanhebung in der Bodenvergesellschaftung des Elbe-Ästuars nicht vor.

Insgesamt gesehen bedingt die Abnahme des Tidehubs um 10% qualitativ einen ausgeglicheneren, leicht feuchter geprägten Wasserhaushalt der elbbegleitenden Böden. Quantitativ verbreitern sich die Vorländer zu Gunsten der Marschenflächen und zu Lasten der Wattbereiche. Das im Vergleich zum derzeitigen Zustand ausgewogenere Verhältnis von semiterrestrischen zu semisubhydrischen Böden fördert die Bildung typischer Stoffkreisläufe für das Ästuar. Das Bild des Elbe-Ästuars wird langfristig durch Marschen auf heutigem Höhengniveau mit naturnahen Übergängen zu relativ kleinen Wattbereichen innerhalb des Systems derzeit bestehender Rinnen und Nebenarme geprägt sein. Auch hier ist eine Quantifizierung der dargestellten Effekte erst nach einer detaillierten hydraulischen und hydromorphologischen Systemanalyse möglich.

#### ➤ Vegetation

Die Auswirkungen auf die Vegetation sind in diesem Fallbeispiel entgegengesetzt zu den Auswirkungen des Fallbeispiels 1. In diesem Fallbeispiel ist das Absinken des MThw die für die Vegetation maßgebliche Veränderung. Es ist nun eine wasserseitige Verschiebung der Ufervegetation (insbesondere der Röhricht-Typen) zu erwarten. Die landseitige Grenze der Vegetationsbestände wird zumeist unverändert bleiben, da hier die Vegetation bisher meist aufgrund von künstlichen Barrieren an einer landseitigen und höhenmäßigen Verschiebung gehindert wurde. Die meisten Vegetationsbestände finden also auch nach einem Absinken des MThw in diesen Bereichen weiterhin geeignete Standortbedingungen vor.

Deshalb bedeutet eine wasserseitige Verschiebung der Vegetationsgrenzen zumeist auch eine flächenhafte Zunahme der Vegetation. Dieser flächenhafte Zuwachs bei verschiedenen Vegetationstypen wird dort am größten sein, wo die Ufer sehr flach ausgebildet sind und geringe Strömungsgeschwindigkeiten vorherrschen.

Sofern in Teilbereichen wasserseitige Ausbreitungsbarrieren vorhanden sind, kann durch die wasserseitige Verschiebung möglicherweise auch eine Flächenreduktion von Vegetationsbeständen von Landseite her erfolgen. Die Vorlandflächen werden weniger häufig überflutet, mit der möglichen Folge einer erhöhten Nutzungsintensität.

Insgesamt wird durch die genannte Abnahme des MThw allerdings die Flächenzunahme der Ufervegetation deutlich überwiegen.

Durch die zu erwartenden selteneren Überflutungsereignisse können die Vorländer nun trockener fallen und die Grünländer deshalb intensiver genutzt werden. Dies kann sich ebenfalls

nachteilig auf die Artenzusammensetzung auswirken, beispielsweise zu einer Abnahme seltener Arten führen.

Die selteneren Überflutungen können auch im Unterwuchs der Weich- und Hartholzauwe zu Verschiebungen führen. Dies könnte möglicherweise im Bereich der oberen Ansiedlungshöhen von Pflanzengesellschaften der Hartholzauwe bedeuten, dass Veränderungen hin zu Pflanzengesellschaften erfolgen, die nicht mehr von Überflutungen geprägt sind.

Neben der Veränderung des MThw ist auch die gesamte Reduzierung des Tidehubs um ca. 30 cm hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Vegetation zu beurteilen (siehe auch Kapitel 5.2.2). Die Abnahme ist allerdings zu gering, um die Entwicklung z. B. der Wasserpflanzen-Vegetation oder der Zweizahnfluren im Bereich zwischen Hamburg und Brunsbüttel zu fördern. Dazu wäre eine noch deutlichere Reduzierung des Tidehubs notwendig.

#### ➤ Fauna

Die Wirkungen einer Tidehubreduzierung sind dem in Fallbeispiel 1 beschriebenen gegenläufig und es mit einer Ausweitung an aquatischen Bereichen bei gleichzeitiger Dezimierung von Wattflächen sowie einer flussseitigen Ausdehnung von Röhrichtflächen zu rechnen. Je nach Tierart ergeben sich positive oder negativ zu wertende Auswirkungen. Fische würden von einer Erweiterung des aquatischen Lebensraumes als Rückzugs-, Nahrungs- und Aufwuchsbiotop profitieren, insbesondere wenn sich gleichzeitig Flachwasserzonen ausdehnen. Nachteilig wirkt sich hingegen die Dezimierung von Wattflächen für z. B. Watvögel aus, da bedeutende Nahrungsgebiete reduziert werden. Vorteilhaftere Entwicklungen sind u. a. für röhrichtbrütende Vogelarten (z. B. Rohrdommel) zu erwarten, da mit einer Ausdehnung der Röhrichtflächen potenzielle Brutreviere erweitert werden.

#### ➤ Landschaftsbild

Für das Landschaftsbild ist in hohem Maße der Anstieg des MTnw bedeutsam. Ein um ca. 20 cm höherer Niedrigwasserstand führt dazu, dass sich bei Tideniedrigwasser die wasserbedeckten Flächen vergrößern. Für manche Nebenrinnen und Priele, die teilweise bei Niedrigwasser nur eine geringe Breite der Wasserfläche aufweisen oder sogar trocken fallen, bedeutet dies eine flächenhafte Ausdehnung der permanent wasserbedeckten Bereiche und somit auch eine stärkere Betonung dieser landschaftlich bedeutsamen Strukturen. Da diese gliedernden Strukturen in der Vergangenheit z. B. durch Vordeichungen im Bereich Hahnöfer Sand und der Haseldorfer Binnenelbe oder die Verfüllung des Koopmannslochs stark zurückgegangen sind, können die mit dem Anstieg des MTnw verbundenen Auswirkungen auf das Landschaftsbild somit als positiv eingeschätzt werden.

Der im Zuge des MTnw-Anstiegs gleichermaßen erfolgende Rückgang von Wattflächen hat auf das Landschaftsbild meist nur geringe Auswirkungen. Die Wattflächen im Bereich stromaufwärts der Stör-Mündung haben in der Vergangenheit sehr stark zugenommen und nehmen weitaus größere Flächen ein, als dies bei naturnahen, ästuartypischen Verhältnissen mit geringerem Tidehub der Fall wäre. In Bereichen stromabwärts der Stör-Mündung würde ein weiterer Rückgang der Wattflächen nur dort nachteiliger sein, wo bereits jetzt lediglich sehr schmale Wattstreifen vorhanden sind, die dann noch weiter reduziert würden.

Der Absink des MThw ist mit einer wasserseitigen Ausdehnung der Vorlandflächen sowie der Ufervegetation, z. B. der Röhrlichtzone, verbunden. Aufgrund zahlreicher anthropogener Veränderungen haben im betrachteten Gebiet stromaufwärts der Oste-Mündung in der Vergangenheit die Vorlandbereiche stark abgenommen, ebenso ging in vielen Abschnitten die naturnahe Vegetation der Ufer zurück. Die aus dem Absink des MThw resultierenden Veränderungen bewirken eine Ausdehnung der über weite Abschnitte defizitären Vorlandbereiche und eine Zunahme der Ufervegetation. Sie sind in ihren Auswirkungen auf das Landschaftsbild positiv einzuschätzen.

#### **Fallbeispiel 4: Abnahme des Tidehubs um 2%**

##### ➤ Hydrologie

Bei einer Abnahme des Tidehubs um 2%, werden sich die Tidehochwasserstände nur geringfügig um etwa 2 cm reduzieren und die Tideniedrigwasserstände um etwa 4 cm angehoben. Die weiteren Auswirkungen auf Flut- und Ebbedauer sowie auf Flut- und Ebbestromdauer werden geringer sein als bei einer Reduzierung des Tidehubs um ca. 30 cm.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die unter Fallbeispiel 3 gemachten Aussagen zum Stoffhaushalt gelten in abgeschwächter Form auch für eine geringer ausfallende Abnahme der Tidehubs.

##### ➤ Boden

Die Abnahme des Tidehubs um 2% führt in der Tendenz zu ähnlichen Effekten auf die Vordeichböden des Elbe-Ästuars wie die des Fallbeispiels 3, in ihrem Ausmaß fallen sie jedoch deutlich geringer aus.

Dementsprechend können für dieses Fallbeispiel die beschriebenen Trends zur Begrenzung oder gar Umkehr der derzeitigen Bodenentwicklung im Elbe-Ästuar nicht prognostiziert werden. Eine Stagnation derzeitiger Prozesse ist eher wahrscheinlich. Zudem ist eine quantitative Abgrenzung tidebedingter Veränderungen von Einflüssen überlagernder externer Faktoren innerhalb der natürlichen Variabilität schwer möglich.

##### ➤ Vegetation

Die prinzipiellen Auswirkungen des Fallbeispiels 4 entsprechen denen des Fallbeispiels 3. Im jetzt betrachteten Fallbeispiel mit der Reduzierung des Thw um lediglich 2 cm wird die zu erwartende Flächenzunahme der Vegetationstypen wesentlich geringer ausfallen als bei einer größeren Reduzierung des MThw. Deshalb wird zwar auch für dieses Fallbeispiel von einer positiven Wirkung auf die Vegetation ausgegangen, sie wird jedoch geringer sein als im Fallbeispiel 3.

##### ➤ Fauna

Eine Erniedrigung des MThw um ca. 2 cm und ein Ansteigen des Tnw um ca. 4 cm führt zu den prinzipiell gleichen - jedoch in ihrem Ausmaß und ihrer Intensität wesentlich geringeren - Auswirkungen auf die Fauna wie die Veränderungen in Fallbeispiel 3.

➤ Landschaftsbild

Für das Landschaftsbild sind für das Fallbeispiel 4 ebenfalls von der Tendenz gleiche, jedoch wesentlich geringere Auswirkungen zu erwarten wie für das Fallbeispiel 3.

### 5.2.5 Hinweise zur ökologischen Optimierung

Aufbauend auf die Beschreibung der Wirkungen, die von den 4 Fallbeispielen mit unterschiedlichen Wasserstandsänderungen auf die einzelnen Schutzgüter ausgehen, wird nachfolgend dargestellt, welche Wasserstandsänderung aus Sicht des jeweiligen Schutzguts zu einer Optimierung der ökologischen Verhältnisse beitragen würde. Dabei ist jedoch zu beachten, dass möglicherweise eine für ein Schutzgut beschriebene Verbesserung auch zu einer Verschlechterung anderer Parameter dieses Schutzguts oder eines anderen Schutzguts führen kann. Im Gegensatz zu Kapitel 4.3 erfolgt die Beschreibung getrennt nach den einzelnen Schutzgütern, da teilweise ausführlichere Erläuterungen zu den jeweiligen Einschätzungen erforderlich sind.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Ein Rückgang des Tidehubs führt zu einer Ausdehnung von Flachwasserbereichen. Zudem werden sich mit gleichzeitig milderem Strömungsklima die Aufenthaltszeiten in den Nebenelben und angeschlossenen Nebengewässern erhöhen. Zusätzlich ist ein als positiv einzuschätzender Rückgang der Schwebstoffgehalte zu erwarten. Diese Zusammenhänge stärken die ökologischen Funktionen der Flachwasserbereiche. Bei einem Anstieg des Tidehubs sind verstärkt Maßnahmen zum Erhalt von Flachwasserbereichen und Nebenelben zu ergreifen.

➤ Boden

Für den Boden bedeutet eine ökologische Optimierung eine Annäherung an das schutzgutbezogene Umweltziel sowie den Zielzustand für den Boden im Elbe-Ästuar (siehe Einleitung zu den Grundlagen für die bodenbezogene Bewertung in Kapitel 4). Den Hinweisen für eine ökologische Optimierung muss folgerichtig erst eine Bewertung der bodenbezogenen Auswirkungen der Fallbeispiele vorausgehen.

Die in den Kapiteln 5.2.2 und 5.2.3 dargestellten Effekte einer Zunahme des Tidehubs tragen auf den ersten Blick zum Erreichen des schutzgutbezogenen Umweltziels für den Boden bei: natürliche Bodenfunktionen werden vor allem mit einer Vergrößerung von Watten und zum Teil von Vorlandbereichen entwickelt und erhalten. Naturnahe und seltene Böden (z. B. Flusswatten) werden dabei entwickelt. Zu beachten ist jedoch, dass die Bodenfunktionen in den Marschen der Vorländer durch zusätzlichen Stoffeintrag (Aufwachsen) und durch Veränderung des Bodenwasserhaushalts verändert und unter Umständen beeinträchtigt werden. Lokale erosive Tendenzen im Uferbereich führen zum Verlust von Böden und Bodenfunktionen, eine Verschiebung der Brackwasserzone zum Verlust seltener Flusswatten. Auch das Erreichen des Zielzustandes mit breiten Vordeichsländern ist zu relativieren, da mittelfristig die Entwicklung von Rohmarschen und Marschen flächenmäßig gegenüber der Entstehung von neuen Watten zurücktritt. Potenzielle Verluste ufernaher Rohmarschen unterstützen diesen Effekt. Damit wird ein für die Funktionalität der Stoffkreisläufe im Ästuar unausgewogenes Verhältnis von semisubhydrischen und semiterrestrischen Böden erreicht.

Der bodenökologische Wert im Elbe-Ästuar kann abnehmen, da einzelne Bodenwert bestimmende Kriterien mehr negativ ins Gewicht fallen. So können die Stoffgehalte der Vordeichsböden durch den prognostizierten Eintrag über Flussschwebstoffe (vor allem anorganische Spurenelemente, Nährstoffe) zunehmen. Die Mobilisierbarkeit von im Boden gebundenen Stoffen kann durch die Anregung redoximorpher Prozesse und die Aktivierung der Stoffaktivitäten ansteigen. Ein Stoffaustrag ins aquatische System kann auch durch eine potenzielle lokale Ufererosion hervorgerufen werden. Hier wird allerdings das Bodenwert bestimmende Kriterium „Gesamtgehalte“ durch Verringerung des Stoffbestandes verbessert. Das Kriterium „Boden als Naturkörper“ wird zwar durch Wattenbildung höher gewichtet, kann aber für die Marschen durch stoffliche Einträge durchaus herabgewertet werden.

Zur Minimierung dargestellter Effekt bzw. zur Verbesserung des bodenökologischen Wertes im Elbe-Ästuar kann hieraus abgeleitet werden, dass künftig möglichst keine strombaulichen Maßnahmen durchgeführt werden sollen, bei denen ein Tidehub erhöhender Effekt eintritt. Gleichwohl sollten alternative Maßnahmen genutzt werden, die wasserstandsneutral bzw. Tidehub erniedrigend sind. Gleichwohl können für negative Einzeleffekte wie z. B. Ufererosion Maßnahmen eingeleitet werden, die da dazu geeignet sind, auf lokaler wie auch auf übergeordneter Ebene den bodenökologischen Wert zu verbessern. Dazu wird auf die Arbeiten zu Teil 1 und Teil 2 der ökologischen Potenzialanalyse (BfG 2002 und BfG 2003) bzw. auf die Beschreibung bodenbezogener Auswirkungen einzelner Strombauwerke in den Kapiteln 4.1 und 4.2 verwiesen.

Die Auswirkungen einer Abnahme des Tidehubs tragen zum Erreichen des Schutzgut bezogenen Umweltziels vor allem im semiterrestrischen Bereich bei. Der Erhalt und die Entwicklung natürlicher Bodenfunktionen beziehen sich dabei auf die Rohmarschen- und Marschenbereiche. Seltene Flusswatten werden zu Ungunsten von Brackwatten gewonnen. Natürliche Bodenfunktionen der Watten gehen allerdings verloren. Die tendenziell leichte Verbreiterung der Vorländer kommt auch dem Zielzustand für den Boden entgegen.

Der derzeitige bodenökologische Wert im Elbe-Ästuar wird erhalten, wenn nicht sogar leicht verbessert. Die Stoffgehalte in den Vordeichsböden bleiben konstant, durch einen „gleichmäßigen“ Bodenwasserhaushalt mit egalisierten redoximorphen Bodenprozessen besteht die Gefahr eine Stoffmobilisierung nicht. Stoffausträge durch potenzielle Erosion sind nicht zu besorgen. Das Kriterium „Boden als Naturkörper“ kann sich in den Vordeichsböden (je nach Nutzung) etablieren, auch wenn für den potenziellen Wattenbereich solche Funktionen verloren gehen.

Eine Optimierung im Hinblick auf den bodenökologischen Wert im Elbe-Ästuar kann demzufolge durch solche strombaulichen Maßnahmen erreicht werden, die den Tidehub absenken. Unterstützt werden kann dieser Effekt durch die Wahl solcher Bauwerke oder Bauwerksweisen, die den bodenökologischen Wert auch auf lokaler Ebene erhöhen. Hinweise dazu geben Kapitel 4.1 und 4.2. Weitere den Bodenwert verbessernde Maßnahmen enthalten Teil 1 und Teil 2 der ökologischen Potenzialanalyse Elbe (BfG 2002 und BfG 2003).

➤ Vegetation

Bei einer Abnahme des Tidehubs und der damit verbundenen Reduzierung des MThw und einem Ansteigen des MTnw ist eine wasserseitige Ausdehnung der Ufervegetation zu erwarten, die zu einer Zunahme der Flächengröße der Ufervegetation führen kann. Angesichts der hohen ökologischen Bedeutung der Röhrichte der Unterelbe ist diese Entwicklung aus vegetationskundlicher Sicht als positiv zu bewerten. Dabei sind die zu erwartenden positiven Auswirkungen im limnischen Bereich des Elbe-Ästuars am größten, da sich hier in den letzten hundert Jahren der größte Anstieg des MThw ereignet hat.

Insgesamt sind Veränderungen der Wasserstände in Hinblick auf die Vegetation umso günstiger zu beurteilen, je kleiner die damit verbundene Erhöhung des Tidehubs/MThw ist bzw. je mehr der Tidehub/MThw reduziert werden kann.

Weitere ökologische Aufwertungen könnten bei einer noch größeren Reduzierung des Tidehubs erzielt werden, um insbesondere im limnischen Bereich wieder die Voraussetzungen für die Entwicklung von Wasserpflanzenbeständen und Zweizahnfluren zu schaffen.

➤ Fauna

Infolge eines abnehmenden Tidehubs und der damit zu erwartenden Zunahme des aquatischen Lebensraumes sowie der Ausdehnung an Röhrichtflächen sind vorteilhafte Auswirkungen für die Fauna zu erwarten. Aufgrund der hohen ökologischen Bedeutung von Flachwasserbereichen und Röhrichtflächen ist eine Abnahme des Tidehubs aus faunistischer Sicht als positiv zu bewerten.

➤ Landschaftsbild

Als Ergebnis aus den 4 Fallbeispielen ist festzuhalten, dass eine Reduktion des Tidehubs positive Auswirkungen auf das Landschaftsbild hat, da hierdurch wertgebende ästuartypische Strukturen wie Nebenelben, -rinnen und Priele vergrößert bzw. in ihrem Bestand nachhaltig gesichert werden. Weiterhin führt ein reduzierter Tidehub zu einer Verbreiterung der Vorlandflächen welche im vergangenen Jahrhundert stark zurückgegangen sind. Dass als Folge eines verkleinerten Tidehubs Wattflächen verloren gehen, wiegt dagegen bezüglich landschaftlicher Strukturen in den betrachteten Elbeabschnitten geringer, da diese in der Vergangenheit infolge der anthropogenen Umgestaltung des Ästuars kontinuierlich zugenommen haben. Eine Zunahme des Tidehubs hat dagegen, wie unter den jeweiligen Fallbeispielen beschrieben negative Auswirkungen auf das Landschaftsbild.

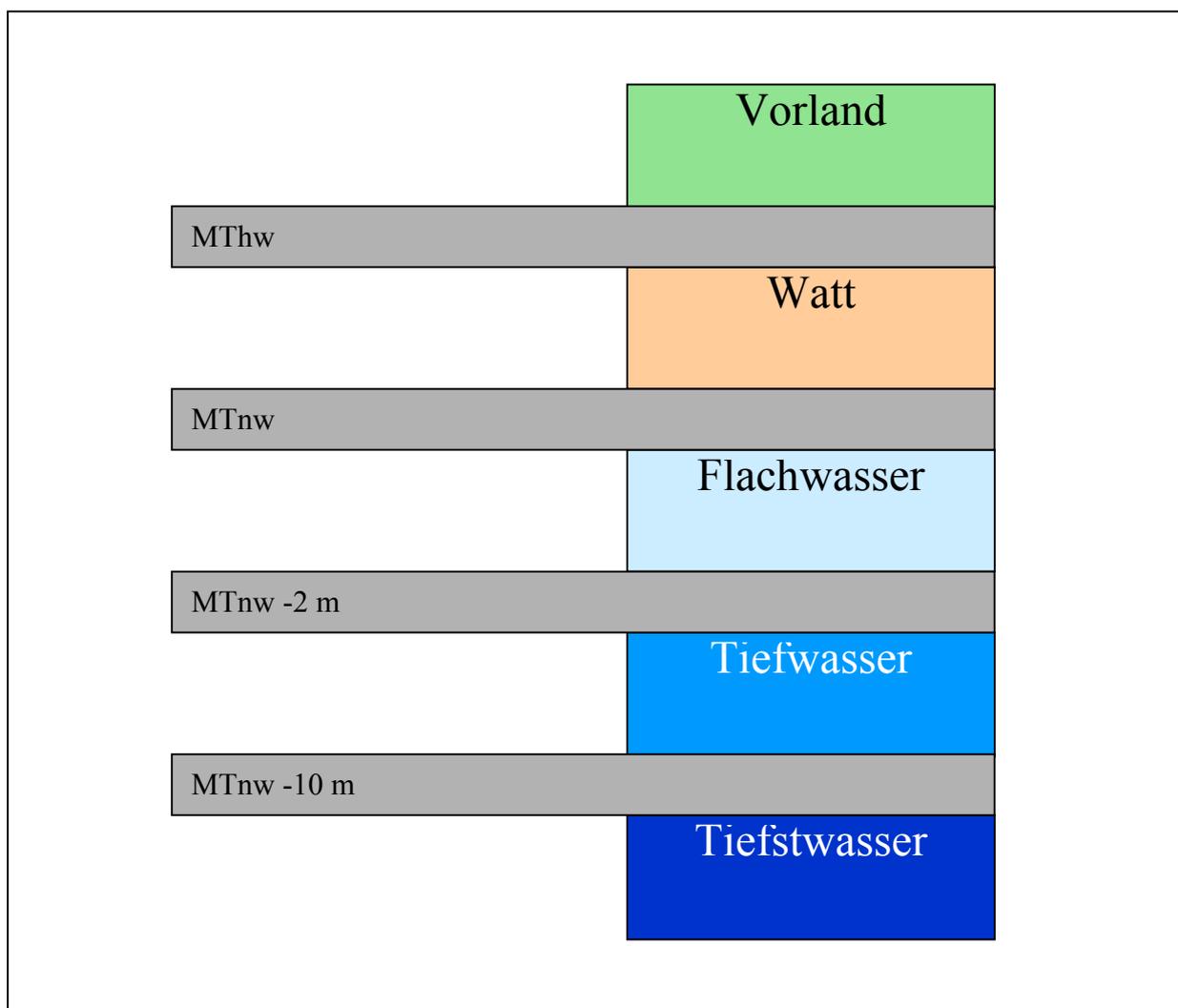
## 5.3 Änderung der Niveauflächenverteilung

### 5.3.1 Beschreibung der Niveauflächenverteilung im Elbe-Ästuar

#### Definition

Unter Niveauflächen sind Flächen eines bestimmten Höhenbereichs in Bezug auf MTnw zu verstehen. Für das Elbe-Ästuar werden vom WSA Hamburg die Niveauflächen seit 1998 jährlich für einzelne Gewässerabschnitte für jeweils 0,5 m-Bereiche ausgewertet. Die Daten stammen aus Peilungen, Befliegungen und terrestrischen Vermessungen des Gewässerbodens und der angrenzenden Vorländern zwischen den Hauptdeichen. Historische Daten liegen als Karten vor, aus denen aber nur eine relativ grobe Unterscheidung verschiedener Höhenbereiche möglich ist.

Die Vorländer sind definiert als die Bereiche, die oberhalb MThw liegen, die Wattflächen sind die Bereiche zwischen MThw und MTnw und sind geprägt durch den regelmäßigen Wechsel zwischen Überflutung und Trockenfallen. Als Flachwasserbereich werden die Bereiche eines Ästuars zwischen der MTnw-Linie und 2 m unter MTnw bezeichnet. Der Bereich unterhalb des Flachwassers wird im Rahmen dieser Arbeit unterteilt in einen Tiefwasserbereich zwischen 2 m unter MTnw und 10 m unter MTnw und einen Tiefstwasserbereich, dessen Sohle sich mehr als 10 m unter MTnw befindet. Die Unterteilung in Tief- und Tiefstwasserbereich wurde vorgenommen, da in der Tideelbe die Tiefstwasserbereiche als Indikator für die anthropogene Überprägung durch die Vertiefung der Gewässersohle im Rahmen des Fahrrinnenausbaus gelten. Eine schematische Darstellung der Niveauflächeneinteilung zeigt Abbildung 5.3-1.



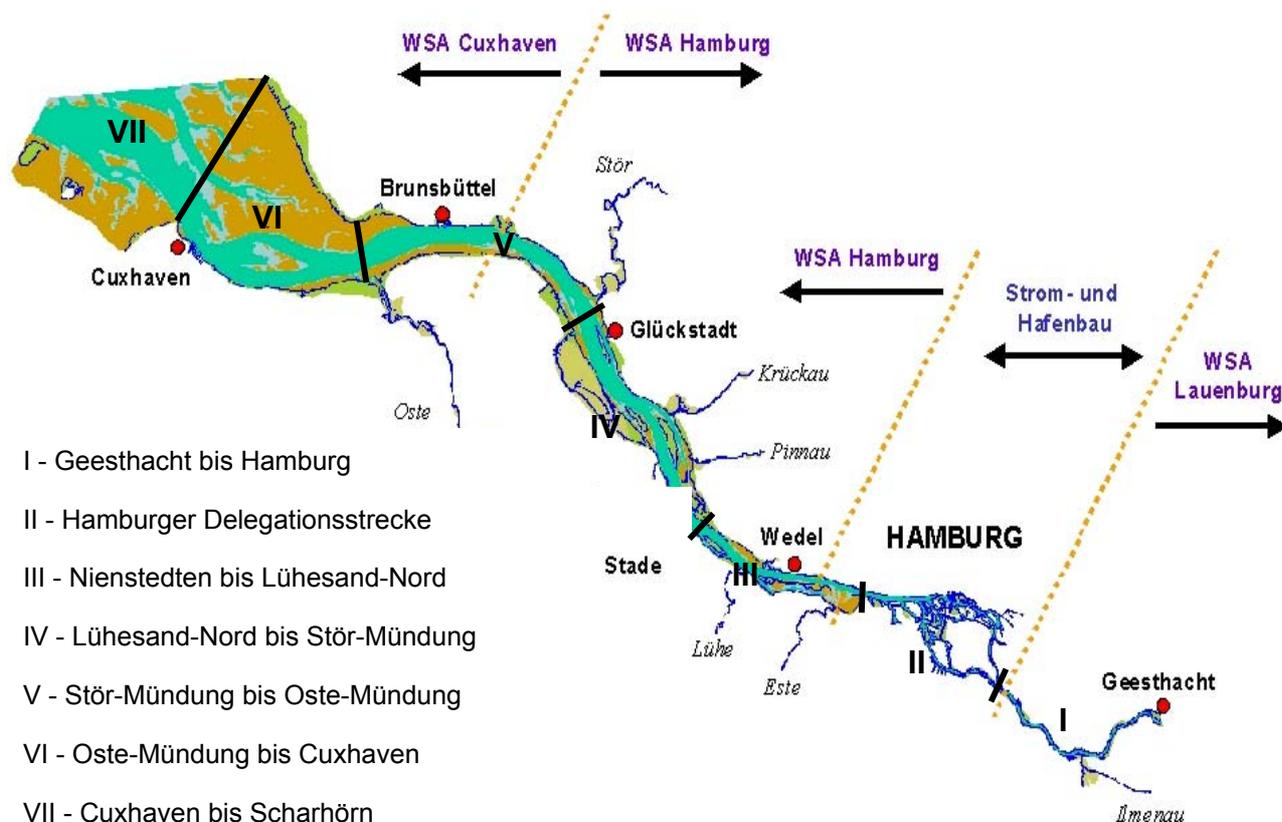
**Abbildung 5.3-1: Einteilung der Niveaulächen**

### **Historische Änderungen der Niveaulächenverteilung**

Seit Beginn des letzten Jahrhunderts hat sich die Ausdehnung der einzelnen morphologischen Strukturelemente in der Tideelbe grundlegend verändert. Um Aussagen zur flächenhaften Änderung der einzelnen Strukturelemente machen zu können, wurden im Rahmen der UVU zum 14,5 m-Ausbau (PÖUN 1997) die aktuelle Niveaulächenverteilungen (Datengrundlage 1992/93/95) den Verteilungen zu Anfang des 20. Jahrhunderts (Datengrundlage 1896 und 1905) gegenübergestellt. Die Ergebnisse dieses Vergleichs werden zusammengefasst in der folgenden Tabelle 5.3-1 dargestellt, die Lage der Teilabschnitte, auf die Bezug genommen wird, ist der Abbildung 5.3-2 zu entnehmen.

**Tabelle 5.3-1: Flächenänderungen in den Teilabschnitten III bis VII der UVU (verändert nach PÖUN 1997)**

Abschnitt Struktur	Referenz [ha] ( <i>histor. Seekarten 1896 und 1905</i> )	Ist-Zustand [ha] (1992/93/95)	Differenz	
			[ha]	[%]
<b>III (Nienstedten bis Lühesand-Nord) – limnisch</b>				
• Vordeichsfläche	2.607	751	-1.856	-71
• Wattfläche	735	1.138	+403	+55
• Flachwasser	1.233	666	-567	-46
• Tiefwasser				
• Tiefstwasser	1754	808	-946	-54
	36	749	+713	+1.981
<b>IV (Lühesand-Nord bis Stör-Mündung) – limnisch/oligohalin</b>				
• Vordeichsfläche	4.465	2.603	-1.862	-42
• Wattfläche	1.047	1.832	+785	+75
• Flachwasser	1.059	827	-232	-22
• Tiefwasser	4722	2723	-1999	-42
• Tiefstwasser	428	1.566	+1.138	+266
<b>V (Stör-Mündung bis Oste-Mündung) - mesohalin</b>				
• Vordeichsfläche	5.739	1.778	-3.961	-69
• Wattfläche	3.810	2.830	-980	-26
• Flachwasser	418	604	+186	+44
• Tiefwasser	4670	2564	-2106	-45
• Tiefstwasser	1.582	2.678	+1.096	+69
<b>VI (Oste-Mündung bis Cuxhaven) - polyhalin</b>				
• Vordeichsfläche	2.347	2.669	+322	+14
• Wattfläche	16.012	14.790	-1.222	-8
• Flachwasser	4.564	2.774	-1.790	-39
• Tiefwasser	5814	5802	-12	0
• Tiefstwasser	1.543	2.397	+854	+55
<b>VII (Cuxhaven bis Scharhörn) - polyhalin/marin</b>				
• Vordeichsfläche	293	717	+424	+145
• Wattfläche	12.651	12.371	-280	-2
• Flachwasser	4.327	3.681	-646	-15
• Tiefwasser	8302	8439	+137	+2
• Tiefstwasser	3.411	3.736	+325	+10



**Abbildung 5.3-2: Abgrenzung der Teilabschnitte I bis VII der UVU (nach PÖUN 1997)**

Eine deutliche Zunahme von Tiefstwasserbereichen ist in den vergangenen hundert Jahren zwischen Hamburg und Cuxhaven zu verzeichnen gewesen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei, dass das Tiefstwasser nicht nur im Bereich der heutigen Fahrrinne, sondern in einem breiten Korridor entlang der Fahrrinne durchgängig von Hamburg bis zur Nordsee vorhanden ist. Noch zu Beginn des 20sten Jahrhunderts waren diese Bereiche lokal begrenzt. Sie nahmen zwar stromab zu, bildeten aber im Gegensatz zum aktuellen Zustand kein durchgehendes Band (PÖUN 1997). Seewärtig von Cuxhaven (Abschnitt VII) konnte nur eine geringe Zunahme der Tiefstwasserbereiche festgestellt werden, da dort aufgrund der morphologischen Gegebenheiten schon sehr große Tiefen vorhanden waren.

Bei den Flachwasserbereichen kann nahezu im gesamten betrachteten Gebiet innerhalb der letzten hundert Jahre ein Rückgang beobachtet werden. Zwischen Nienstedten und Lühesand-Nord (Abschnitt III) wurde eine Abnahme der Flachwassergebiete um nahezu die Hälfte festgestellt. Eine Ausnahme bildet lediglich der Bereich zwischen der Stör-Mündung und der Oste-Mündung (Abschnitt V). Dort kam es im betrachteten Zeitraum zu einer Zunahme der Flachwassergebiete.

Ein Vergleich der Ausdehnung der Wattflächen an der Elbe zeigt, dass seit Beginn des vorigen Jahrhunderts eine deutliche Zunahme dieser Flächen zwischen Nienstädten und der Stör-

Mündung (Abschnitte III-IV) stattgefunden hat. Dem steht eine Abnahme der Wattflächen seeseitig von der Stör-Mündung (Abschnitte V bis VII) gegenüber.

Die historischen Veränderungen der Niveauflächen des Elbe-Ästuars unterhalb von Hamburg im 20. Jahrhundert lassen sich demnach wie folgt zusammenfassen:

- Zunahme von Tiefwasser auf Kosten des Flachwassers
- Abnahme der Flachwasserbereiche
- Zunahme der Wattflächen stromauf der Stör-Mündung, Abnahme stromab der Stör-Mündung

### **Fallbeispiele**

Basierend auf den historischen Veränderungen werden mit Hilfe verschiedener Fallbeispiele mögliche zukünftige Entwicklungen der Niveauflächenverteilung im Elbe-Ästuar beschrieben und aus ökologischer Sicht bewertet. Da die morphologischen Aspekte durch die verschiedenen Fallbeispiele bereits beschrieben werden, muss nachfolgend nicht mehr auf die Morphologie eingegangen werden.

In den Fallbeispielen werden 4 verschiedene Entwicklungen zugrunde gelegt, die sich jeweils auf drei verschiedene Abschnitte des Elbe-Ästuars beziehen. Diese Entwicklungen sind:

- Zunahme von Watt / Abnahme von Flachwasser
- Zunahme von Flachwasser / Abnahme von flachem Tiefwasser
- Zunahme von flachem Tiefwasser / Abnahme von tiefem Tiefwasser
- Zunahme von Flachwasser / Abnahme von Watt

Zusätzlich können jeweils zwei verschiedene Varianten (a und b) mit verschiedenen Flächenänderungen unterschieden werden. Die Fallbeispiele und Varianten sind im Einzelnen der Tabelle 5.3-2 zu entnehmen.

**Tabelle 5.3-2: Fallbeispiele zur Niveauflächenverteilung**

<b>Niveauflächen- änderung</b>	<b>Zunahme von Watt (KN bis ca. KN +3 m) / Abnahme von Flachwasser (KN –2 m bis KN)</b>	<b>Zunahme von Flachwasser (KN –2 m bis KN) / Abnahme von flachem Tiefwas- ser (KN –2 m bis KN –6 m)</b>	<b>Zunahme von fla- chem Tiefwasser (KN –6 m bis KN –2 m) / Abnah- me von tiefem Tiefwasser (KN –6 m bis KN –10 m)</b>	<b>Zunahme von Flachwasser (KN –2 m bis KN) / Abnahme von Watt (KN bis ca. KN +3 m)</b>
<b>Abschnitt</b>				
Abschnitt III (limnisch)	FB 1 a: FÄ 100 ha b: FÄ 50 ha	FB 2 a: FÄ 100 ha b: FÄ 50 ha	FB 3 a: FÄ 100 ha b: FÄ 50 ha	FB 4 a: FÄ 100 ha b: FÄ 50 ha
Abschnitt IV (oligo- halin)	FB 5 a: FÄ 200 ha b: FÄ 100 ha	FB 6 a: FÄ 200 ha b: FÄ 100 ha	FB 7 a: FÄ 200 ha b: FÄ 100 ha	FB 8 a: FÄ 200 ha b: FÄ 100 ha
Abschnitt VI (poly- halin)	FB 9 a: FÄ 2000 ha b: FÄ 1000 ha	FB 10 a: FÄ 2000 ha b: FÄ 1000 ha	FB 11 a: FÄ 2000 ha b: FÄ 1000 ha	FB 12 a: FÄ 2000 ha b: FÄ 1000 ha

FB: Fallbeispiel      FÄ: Flächenänderung

Die 12 Fallbeispiele sind mit Hilfe von 12 Diagrammen erläutert. Diese Diagramme sind im Anhang 2 in den Abbildungen A2-1 bis A2-12 dargestellt. In diesen Diagrammen sind jeweils der Ist-Zustand der Niveauflächenverteilung (Stand: 2002) sowie die Flächenänderungen des Fallbeispiels für die beiden Varianten für den jeweiligen Gewässerabschnitt dargestellt.

### 5.3.2 Ökologische Bedeutung der Niveauflächenverteilung

#### ➤ Hydrologische Bedeutung der Niveauflächenverteilung

Niveauflächen sind ein Teil der Gerinnegeometrie, die neben der von der See her einlaufenden Tide und dem Oberwasser maßgeblich die Tidedynamik (Wasserstandsganglinien und Strömung) beeinflussen. Andererseits tragen auch die von Gezeiten geprägten und die strömungsbedingten Änderungen der morphologischen Struktur im Mündungsgebiet sowie Flachwassereffekte zur Beeinflussung der Tidedynamik im Untersuchungsgebiet bei (siehe auch Kapitel 5.2.2 „Ökologische Bedeutung der Tidehubänderung“).

Durch die Änderungen der Niveauflächen kommt es zu Änderungen des Tidevolumens und des gesamten Strömungsgeschehens. Die größten Änderungen sind in den Bereichen zu erwarten, in denen der Hauptdurchflussquerschnitt direkt verändert wird. Des Weiteren wird die schon leicht verformt einlaufende Tidewelle in Form, Amplitude und Höhenlage verändert. Physikalisch sind dafür Reibung und Reflexion verantwortlich. Einhergehend mit den Änderungen durch Reibung und Reflexion kommt es durch Krümmungsänderungen und Flachwassereffekte zu Veränderungen der Partialtiden. Die Beschreibung und Quantifizierung der Tidedynamik und die Änderungen dieser Dynamik sind mit Hilfe von numerischen Modellen möglich. Diese Modelle bauen auf der Beschreibung der ablaufenden physikalischen Prozesse

mit partiellen Differenzialgleichungen auf. Bei der anschließenden numerischen Lösung werden hohe Anforderungen an die Eingangsdaten gestellt. Dabei ist es erforderlich, den Daten der Gerinnegeometrie erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

Je nach der Größe der Niveauflächenänderung und der Lage in den einzelnen Abschnitten führen diese Veränderungen zu unterschiedlichen lokalen bzw. regionalen Auswirkungen. Dabei kommt es zu den bereits beschriebenen Veränderungen der Tidedynamik, der Teilreflexionen und der Beeinflussung der Partialtiden. Auf eine Betrachtung der einzelnen Fallbeispiele muss wegen der Komplexität der ablaufenden physikalischen Prozesse und den daraus initiierten Wechselwirkungen mit hydromechanischen und morphologischen Prozessen verzichtet werden. Die Evaluierung dieser Einflüsse ist nur mit einem numerischen Modell möglich.

Grundsätzlich lässt sich jedoch feststellen, dass die größten Änderungen in der Tidedynamik durch Veränderungen der Niveauflächen im Tiefwasserbereich und Tiefstwasserbereich verursacht werden.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Niveauflächenverteilung im Ästuar ermöglicht für den aquatischen Bereich eine auf die Wassertiefe bezogene Einteilung des Wasserkörpers, die auch unterschiedliche Wasservolumina bedeuten. Zwischen den permanent aquatischen "Wasserkörpern" - denen hier auch das Watt zugeordnet wird - besteht ein ständiger Wasseraustausch. Eine weitere Zone ist das Vorland, welches in die Elbe entwässert und nur zeitweise, z. B. wenn es bei Sturmflutereignissen überspült wird, mit dem aquatischen Kompartiment in gegenseitiger Verbindung steht.

Die Stoffflüsse für Kohlenstoff und Nährstoffe sowie der Sauerstoffhaushalt im System Tideelbe werden durch eine Veränderung der Niveauflächenverteilung (= Wasservolumina der Wasserkörper) beeinflusst. Als Folge stellen sich veränderte Abläufe im Stoffhaushalt des Ästuars ein. Dabei kommt es in der Regel nicht zu neuen, d. h. im bisherigen Zustand des Ökosystems nicht aufgetretenen Prozessen, sondern die Bedeutung einzelner Prozesse wird verstärkt oder geschwächt. Mit veränderten Niveauflächenverteilungen werden gleichzeitig auch andere Faktoren wie Tidehub, Strömungsgeschwindigkeiten und laterale Austauschvorgänge verändert.

Generell betrachtet fördert eine Zunahme der Wassertiefen die Bedeutung der im Wasserkörper ablaufenden Prozesse gegenüber den am bzw. im Sediment ablaufenden Prozessen. So nimmt der benthische Umsatz an Kohlenstoff/Stickstoff relativ gesehen, d. h. bezogen auf den Gesamtumsatz in einem Wasservolumen, mit steigender Wassertiefe ab. Umgekehrt bewirkt eine Abnahme der Wassertiefe, dass die Bedeutung der benthischen Prozesse im System zunimmt. So wird bezogen auf die Primärproduktion das Phytobenthos im Vergleich zu den planktischen Algen an Bedeutung zunehmen und damit einen höheren Anteil an der autochthonen Kohlenstoffproduktion des Systems haben. Inwieweit infolge der Niveauflächenänderungen die Primärproduktion des Gesamtsystems und damit der positive Beitrag zum Sauerstoffhaushalt verringert wird, kann nur grob abgeschätzt werden. Aussagen hierzu finden sich in den nachfolgenden Fallbeispielen. Generell sind auch infolge einer Verlagerung der

Primärproduktion hin zum Phytobenthos Auswirkungen auf die Folgeproduktion und somit auf das ästuarine Nahrungsnetz zu erwarten.

### Einfluss der Wassertiefe

Eine Veränderung der Niveauflächenverteilung bedeutet gleichzeitig eine Veränderung der Wassertiefe. Viele Prozesse im Stoffhaushalt eines Gewässers sind von der Wassertiefe abhängig. Hierzu gehören insbesondere die lichtabhängige Primärproduktion, der Wärmehaushalt und die für den Sauerstoffhaushalt des Gewässers wichtige Wiederbelüftungsrate.

Mit Zunahme der Wassertiefe wird das Verhältnis von durchlichteter zu undurchlichteter Wasserschicht geändert und die Bedingungen für die lichtabhängige planktische Primärproduktion werden beeinflusst. Die nachfolgende Formel zeigt, dass mit zunehmender Tiefe das Verhältnis von produktiver Schicht zu Wassertiefe abnimmt und damit auch das Phytoplanktonwachstum (SCHÖL ET AL. 2002)

$$\frac{dALGC}{dt} = \left( \mu_A * \frac{z_{pro}}{H} - resp_A - mort_A \right) * ALGC - Graz_{ZOO} - Graz_{DR} - Sed_{ALG}$$

ALGC	- Biomasse der Algen [mg C*l <sup>-1</sup> ]
μ <sub>A</sub>	- tatsächliche Wachstumsrate der Algen [d <sup>-1</sup> ]
resp <sub>A</sub>	- Respirationsrate der Algen [d <sup>-1</sup> ]
mort <sub>A</sub>	- physiologische Mortalitätsrate der Algen [d <sup>-1</sup> ]
Graz <sub>ZOO</sub>	- Grazingverluste durch das Zooplankton [mg C*l <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup> ]
Graz <sub>DR</sub>	- Grazingverluste durch benthische Filtrierer, <i>D. polymorpha</i> [mg C*l <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup> ]
Sed <sub>ALG</sub>	- Sedimentationsverluste [mg C*l <sup>-1</sup> * d <sup>-1</sup> ]
z <sub>pro</sub>	- Tiefe der produktiven Wasserschicht [m]
H	- mittlere Wassertiefe [m]

Weiterhin bedeutsam für das Algenwachstum ist die Tiefe der produktiven Schicht (z<sub>pro</sub>). Diese wird im Wesentlichen durch den Schwebstoffgehalt bestimmt. Ein hoher Schwebstoffgehalt bewirkt eine starke Lichtauslöschung (= Extinktion) in der Wassersäule und damit nur eine geringe Wasserschicht in der die Algen (bezogen auf einen Tag) mehr Sauerstoff produzieren als verbrauchen.

Auch der Verlustprozess der Phytoplankter, der durch den Wegfraß der Algen durch benthische Organismen bedingt ist, ist von der Wassertiefe abhängig. Eine Zunahme der Wassertiefe reduziert die Fraßverluste durch benthische Organismen, da die von den Tieren durchfiltrierte Wassermenge relativ gesehen abnimmt.

Ebenso sind grundlegende physikalische Prozesse im Stoffhaushalt des Gewässers durch die Wassertiefe beeinflusst. So sind auch die Wärmeaustauschvorgänge im Gewässer und damit die Wassertemperatur selbst von der Wassertiefe (H) abhängig. Nachfolgende im Gewässergütemodell QSim genutzte Formel zeigt dies (KIRCHESCH UND SCHÖL 1999):

$$\frac{dT}{dt} = \frac{W_D + W_G - W_A - W_V - W_L}{\rho_{\text{Wasser}} * c * H}$$

$W_D$	- direkter Wärmeeintrag (Globalstrahlung an der Wasseroberfläche nach Reflexion) [ $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$W_G$	- atmosphärische Gegenstrahlung [ $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$W_A$	- Wärmeabstrahlung der Wasseroberfläche [ $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$W_V$	- Wärmestromdichte aus Verdunstung [ $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$W_L$	- Wärmestromdichte aus der Konvektion [ $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
$\rho_{\text{Wasser}}$	- Dichte des Wassers [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
$c$	- spezifische Wärme des Wassers [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
$H$	- mittlere Gewässertiefe [m]

Eine Zunahme der Wassertiefe führt somit zu einer verringerten Erwärmung des Wasser durch die Sonneneinstrahlung und zu einer verzögerten Temperaturanpassung des Wasserkörpers gegenüber der Lufttemperatur.

Ein weiterer Prozess der von der Wassertiefe abhängig ist, ist der physikalische Sauerstoffaustausch mit der Atmosphäre über die Wasseroberfläche. Bei gleichbleibenden Randbedingungen ist die Wiederbelüftungsrate ( $k$ ) von der mittleren Wassertiefe, dem Rauigkeitsbeiwert und der Fließgeschwindigkeit abhängig (siehe auch Kapitel 4.2.1.2.1.2).

Empirische Wiederbelüftungsformel:  $k = \left( 3 + \frac{40}{K_s} \right) * \frac{v}{H^2} + \frac{0,5}{H}$

$H$	- mittlere Wassertiefe
$v$	- mittlere Fließgeschwindigkeit
$K_s$	- Rauigkeitsbeiwert

Mit Hilfe der Wiederbelüftungsrate und des aktuellen Sauerstoffgehaltes des Wassers lässt sich der physikalische Sauerstoffeintrag berechnen. Hierzu wird das Diffusionsgefälle zur Luft herangezogen, wobei die  $\text{O}_2$ -Aufnahme bzw. -Abgabe dem jeweils herrschenden Defizit proportional ist. Die Zunahme der Wassertiefe vermindert die Wiederbelüftungsrate und damit den atmosphärischen Sauerstoffeintrag in das Gewässer.

Die Klassifikation der Niveauflächenverteilung teilt den aquatischen Wasserkörper in verschiedene Kompartimente. Die nachfolgende Beschreibung soll wesentliche Merkmale dieser Kompartimente in Bezug auf den Stoffhaushalt des Ästuars aufzeigen.

**Watt:** Das Watt ist Lebensraum des *Phytobenthos*. Der von den Algen produzierte Sauerstoff belüftet die Wattoberfläche und der produzierte organische Kohlenstoff ist wichtige Nahrungsgrundlage für Tiere.

Die Sedimente weisen oft einen hohen Feinkornanteil und einen hohen Anteil an organischen Material auf. Die Watten sind Orte mit hohen bis sehr hohen Sedimentationsraten. Sie sind Orte hoher mikrobieller Aktivität und hoher Sauerstoffzehrung. In den Wattsedimenten kann es durch den Prozess der Denitrifikation zum N-Austrag aus dem Gewässer in die Atmosphäre kommen. Die Sedimente werden mit jedem Trockenfallen (entsprechend ihrer räumlichen Lage) unterschiedlich lange über die Atmosphäre belüftet. Während des Auf- und Ablaufens des Wassers findet zusätzlich (auch über den Wellenschlag) ein starker physikalischer Sauerstoffeintrag statt.

**Flachwasser:** Das Flachwasser ist Lebensraum des *Phytoplanktons*, in welchem die planktischen Algen auf Grund ausreichender Lichtversorgung wachsen können und damit in der Bilanz mehr Sauerstoff produzieren als verbrauchen. Dabei hängt die Lichtversorgung stark von den Schwebstoffgehalten ab.

Die Sedimente sind sandig mit geringem Feinkornanteil. Der Gehalt an organischem Material ist mittel bis gering. Die Sedimentationsrate ist moderat bis hoch. Die Sauerstoffzehrung der Sedimente ist entsprechend moderat bis hoch.

Der Wasserkörper wird über die Oberfläche mit Sauerstoff versorgt. Der Sauerstoffgehalt wird durch den mikrobiellen Sauerstoffverbrauch der Bakterien im Freiwasser und den an den Schwebstoffen haftenden Bakterien bestimmt. Die mikrobielle Aktivität der Sedimente trägt zum Sauerstoffverbrauch bei.

**Tiefwasser:** Das Tiefwasser gehört zur aphotischen Zone im Tidegewässer. Hier findet somit kein biogener Sauerstoffeintrag durch planktische Algen statt.

Die Sedimente sind sandig mit geringen bis mittleren Gehalten an organischem Material. Der Sauerstoffgehalt wird durch den mikrobiellen Sauerstoffverbrauch der Bakterien im Freiwasser und den an den Schwebstoffen haftenden Bakterien bestimmt. Als Verbrauchsprozess kommt noch die mikrobielle Sauerstoffzehrung der Sedimente hinzu.

Der Eintrag von Sauerstoff in das Tiefwasser erfolgt im Wesentlichen über Advektion, d. h. durch Wasseraustausch mit den Flachwasserbereichen wird sauerstoffhaltiges Wasser in das Tiefwasser eingemischt.

**Tiefstwasser:** Auch das Tiefstwasser gehört zur aphotischen Zone im Tidegewässer. Wie bereits unter Tiefwasser beschrieben findet hier kein biogener Sauerstoffeintrag durch planktische Algen statt.

Die Sedimente sind sandig mit geringem Gehalten an organischem Material. Der Sauerstoffgehalt wird ebenfalls durch den mikrobiellen Sauerstoffverbrauch der Bakterien im Freiwasser und den an den Schwebstoffen haftenden Bakterien bestimmt. Vor allem bodennahe hohe Schwebstoffgehalte (zu Zeiten des Kenterpunktes) können einen hohen mikrobiellen - und bei Vorliegen von reduzierten Verbindungen (Mn, Fe, S) - auch chemischen Sauerstoffverbrauch aufweisen. Als Verbrauchsprozess kommt noch die mikrobielle Sauerstoffzehrung der Sedimente hinzu.

Der Eintrag von Sauerstoff in das Tiefstwasser erfolgt auch hier im Wesentlichen über Advektion, d. h. durch den Wasseraustausch mit den Tief- und Flachwasserbereichen wird sauerstoffhaltiges Wasser in das Tiefstwasser eingemischt.

➤ Boden

Innerhalb des Geltungsbereiches für das Schutzgut Boden (siehe Kapitel 4) sind vor allem die Verteilung der Wattflächen und Vordeichsflächen sowie ihre Entwicklungstendenzen im Unter- und Außenelberaum von Bedeutung. Zusätzlich muss Augenmerk auf die Flachwasserbereiche gelegt werden, da sich diese, wie in den Kapiteln 4.1 und 4.2 dargelegt, langfristig zu Watten weiterentwickeln können. In der Betrachtung der Fallbeispiele in den Kapiteln 5.3.3, 5.3.4 und 5.3.5 werden deswegen nur diejenigen Fälle herangezogen, in denen Änderungen von Watt oder Flachwasser angenommen werden, d. h. die Fallbeispiele 3, 7 und 11 sind ausgeklammert.

Die Bedeutung der Böden für den Unter- und Außenelberaum spiegelt sich in ihrer ökologischen Bewertung wieder. Wie in Teil 1 der Ökologischen Potenzialanalyse (BFG 2002) dargelegt wurde, stellen die Watten mit Salz-, Brack- oder Flusswatten sehr hochwertige Böden dar, bei denen das Bodenwert bestimmende Kriterium „Boden als Naturkörper“ mit den Unterkriterien „Naturnähe“ und z. T. „Seltenheit“ erfüllt ist. Von den natürlichen Bodenfunktionen ist bei diesen Böden die Lebensraumfunktion von besonderer Bedeutung. Dessen ungeachtet sind diese Böden Speicher und damit auch Quelle für Nähr- und auch Schadstoffe, vor allem in der Mittleren Tideelbe.

Gleiches gilt für die ufernahen tiefliegenden Rohmarschen als Übergangsbereiche zu den Marschen. Diese bilden den überwiegenden Teil der Vordeichsflächen. Salz-, Kalk- oder Kleimarschen werden hierbei sehr hochwertig eingestuft, wenn sie nicht bearbeitet oder entwässert und nicht durch Bodenauftrag, Abtrag oder Versiegelung überformt sind. Zusätzlich sind auch diese Böden teilweise naturnah und selten. Die Filter- und Pufferfunktion für Stoffkreisläufe sowie die Funktion als Bestandteil des Naturhaushaltes sind bei diesen Böden innerhalb der natürlichen Bodenfunktionen hervorzuheben, während die Lebensraumfunktion zurücktritt. Die großflächig vorkommende landwirtschaftliche Nutzung der Vorländer schränkt die natürlichen Bodenfunktionen ein, so dass ein Großteil der Vordeichsflächen dann als mittel- bis geringwertig einzustufen sind.

Tendenziell konzentrieren sich die höchsten Anteile hochwertiger und sehr hochwertiger Vordeichsböden im Ist-Zustand (1992/93/95) auf den Bereich der Mittleren Tideelbe (Abschnitte III und IV) sowie auf den Bereich der Außenelbe (Abschnitt VII). Der Anteil sehr geringwertiger Böden nimmt von Hamburg in Richtung Elbmündung ab. Die Vordeichsböden der Unteren Tideelbe (Abschnitte V und VI) sind überwiegend mittelwertig.

In der historischen Entwicklung (Tabelle 5.3-1) ist dabei festzustellen, dass im Bereich der Unteren Tideelbe und Außenelbe (Abschnitte VI und VII) der Anteil sehr hochwertiger Watten leicht abgenommen hat. Der Anteil der hier nur mittelwertigen Vordeichsflächen (in Nutzung) hat hingegen zugenommen, was zunächst als ökologisches Defizit einzustufen ist (siehe auch BFG 2002). Gleichwohl entspricht eine Verbreiterung der Vordeichsländer dem Zielzustand für das Schutzgut Boden. Entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung des bo

denökologischen Wertes können diesen Zugewinn an Deichvorland aus Sicht des Schutzgutes Boden optimal nutzen (siehe auch BFG 2003).

Im Bereich zwischen Oste- und Stör-Mündung (Abschnitt V) nehmen tendenziell sowohl Watten als auch Vorländer ab. Hiermit gehen wertvolle Bodenfunktionen verloren, obwohl auch in diesem Bereich die Vorländer als eher mittelwertig einzustufen sind. Das Erreichen des Zielzustandes wie auch des schutzgutbezogenen Umweltziels sind bei Fortsetzung dieser Tendenz gefährdet. Da die Flachwasserbereiche jedoch zunehmen, kann langfristig auch wieder mit einer Zunahme der Watten gerechnet werden.

Eine Zunahme der Wattflächen ist für den Bereich zwischen Stör-Mündung und Nienstedten (Abschnitte III und IV) zu verzeichnen. Hier werden wertvolle Lebensraumfunktionen mit hoch- bis sehr hochwertigen Böden gewonnen. Dies gilt besonders für die süßwassergeprägten Watten. Die Abnahme der Vordeichsflächen läuft diesem Gewinn jedoch entgegen. Mit dem Verlust von derzeit mittel- bis hochwertigen Böden gehen ihre Filter- und Pufferfunktionen für den Unterelberaum verloren. Auch hier arbeitet dieser Trend gegen den Zielzustand und das schutzgutbezogene Umweltziel für den Boden.

Neben dem Verlust von Bodenfunktionen muss bei der Abnahme von Watten oder Vordeichsböden durch Erosion in wasserseitige Richtung auch der Austrag von Stoffen (Nähr- oder Schadstoffe) in das aquatische System beachtet werden. Bei Zugewinntendenzen werden umgekehrt stoffliche Einträge aus dem aquatischen Bereich in Watten oder Vordeichsböden gespeichert.

In der langfristigen Entwicklung ist hinsichtlich der Verteilung der Niveauflächen im Verlauf der Unter- und Außenelbe für den Boden ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Wattflächen und Vordeichsböden (Marschen) anzustreben. Damit wird sowohl die besondere Lebensraumfunktion der Watten als auch die Filter- und Pufferfunktion der Marschen für den Naturhaushalt mit seinen Stoffkreisläufen gesichert. Watten sind dabei idealerweise in einer vom Land zum Wasser gerichteten Abfolge von Schlick-, Misch- und Sandwatten ausgebildet. Entlang des Salzgehaltgradienten kommen sowohl im limnischen, im oligohalinen als auch im polyhalinen Bereich entsprechende Wattengürtel vor.

#### ➤ Vegetation

Im Elbe-Ästuar ist das Höhenniveau – insbesondere die Lage bezüglich des MThw – der wesentliche Standortfaktor für die Struktur und die Zusammensetzung der Vegetation der Ufer und der Vorländer. Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Wasserständen und Vegetation wurden bereits in Kapitel 5.2.2 dargelegt. Weiterhin wurde auch die Vegetationszonierung entlang des Höhengradienten für die verschiedenen Salinitätsbereiche bereits ausführlich in Kapitel 4.2.1 Abschnitt „Lage im Längsprofil“ beschrieben und daher hier nicht nochmals wiederholt.

Veränderungen in der Niveauflächenverteilung wirken sich nur dann auf die Vegetation aus, wenn dabei der von Pflanzen besiedelbare Höhenbereich betroffen ist. Dieser Höhenbereich liegt im limnischen und oligohalinen Bereich oberhalb von ca. MThw  $-1,5$  m (entspricht ca.

KN +1,8 m) und im polyhalinen Bereich oberhalb von ca. MThw -0,4 m (entspricht ca. KN +2,9 m).

Auswirkungen auf die Vegetation sind demnach zu erwarten, wenn durch die Niveauflächenänderung der für höhere Pflanzen besiedelbare Bereich entweder zu- oder abnimmt oder es innerhalb des besiedelbaren Bereichs zu Flächenverschiebungen kommt. Neben den hydrologischen Parametern sind dabei auch weitere Standortparameter ausschlaggebend (z. B. Wellenschlag, Bodeneigenschaften, Nutzung), so dass neben dem Höhenniveau auch die konkreten örtlichen Bedingungen (z. B. die Lage der Vegetationsbestände in Nebenrinnen oder am Ufer der Hauptrinne) die Art und den Umfang der Vegetationsänderungen beeinflussen.

#### ➤ Fauna

Die unterschiedlichen Niveauflächen wie z. B. Vorland, Watt, Flach- oder Tiefwasserbereiche bieten Lebensräume für verschiedene ästuarine Tiergruppen. Neben dem Höhenniveau prägen jedoch ein Geflecht von anderen Faktoren (u. a. Salinität, Strömung, Substrattypen, Vegetation, inter- und intraspezifische Beziehungen etc.) entscheidend die qualitativen Eigenschaften eines Lebensraumes und beeinflussen somit die Bedeutung für die jeweiligen Faunengruppen.

**Vorland:** Vorländer weisen je nach Vegetation und Lage im Ästuar unterschiedliche, faunistisch wertvolle Lebensräume auf: Ufersaum, Grünland, Röhricht, Gebüsche, Auwälder und Salzwiesen.

Für zahlreiche Brut- und Gastvogelarten bieten die Vorlandbereiche je nach Vegetationsstruktur und Tideeinfluss wichtige Brut- und Nahrungshabitate: Beispielsweise brüten Seeregenvogel und Zwergseeschwalbe u. a. auf offenen Sanden nahe der Vorlandkante; für Röhricht bewohnende Vogelarten (z. B. Drosselrohrsänger, Rohrweihe) bieten Röhrichtbestände geeignete Brutreviere; extensiv genutztes Grünland bietet Brutplätze u. a. für Kiebitz; Auwälder und Gebüsche werden von Singvögeln bevorzugt und in unbeweideten Salzwiesen brütet der Rotschenkel. Für ziehende Enten- und Gänsevögel sind die gelegentlich überfluteten Vordeichsgrasländer als Nahrungsgebiet von großer Bedeutung. Als Schlafplatz für Singvögel und Rallen dienen ausgedehnte Schilfbereiche.

Von hoher Bedeutung für ästuartypische Insekten wie Käfer und Schmetterlinge sind die Lebensräume Quellerfluren, Salzwiesen, Röhrichte, Dünen, Sandstrände sowie Auwälder und Auengebüsche.

**Watt:** Wattflächen zeichnen sich durch eine hohe Produktivität von Mikrophytobenthos sowie bodenlebender Wirbelloser und während der Überstauung auch von Phyto- und Zooplankton aus. Aufgrund der hohen biologischen Produktivität bieten Wattflächen ein reichhaltiges Nahrungsangebot für ästuartypische Fisch- und Vogelarten. Eine sichernde Funktion aquatischer Lebensgemeinschaften in angrenzenden Flach- und Tiefwasserbereichen erfolgt durch die Sauerstoffanreicherung mit benthischen und planktischen Algen.

Anhand der unterschiedlichen Sedimentzusammensetzungen werden Sand-, Misch- und Schlickwatt mit einer jeweils charakteristischen Besiedlungsstruktur der Makrozoobenthosgemeinschaften unterschieden. Bereiche mit hohem Schlickanteil weisen in der Regel höhere

Besiedlungsdichten auf, d. h. die Produktivität der Schlickwatten ist im Vergleich zu Misch- und Sandwatten deutlich höher. Neben den Substrateigenschaften werden die Lebensgemeinschaften der Wattflächen auch durch die Lage im Ästuar geprägt: Süßwasserwatten weisen im Vergleich zum marinen Watt eine geringere Artenvielfalt, jedoch eine vergleichbare Produktivität auf. Dabei wird die geringe Artenzahl im limnischen Bereich durch hohe Individuendichten ausgeglichen. Brackwasserwattflächen weisen eine deutlich geringere Produktivität auf.

Für gebietstypische Vogelarten wie z. B. Löffel- und Krickente stellen die Süßwasserwatten der Elbe bedeutende Rast- und Futterplätze dar. Der Wattenmeerbereich der Elbe bietet für Brandgänse und Eiderenten ein bedeutendes Mauser- und Überwinterungsgebiet.

Während der Flut bieten Wattflächen für Fische ein Nahrungshabitat. Das Mühlenberger Loch ist u. a. für Stint und Flunder eine bedeutende „Kinderstube“. Die seewärts gelegenen rinnenbegleitenden Watten stellen bedeutende Aufwuchs- und Nahrungsgebiete für die dort dominierenden Nahrungsgäste (u. a. juvenile Plattfische, Herings- und Dorschartige) dar. Neben juvenilen Schollen und Seezungen wandern auch Nordseegarnelen (*Crangon crangon*) im Rhythmus der Gezeiten auf die bei Flut überspülten Watten, um hier nach Nahrung zu suchen.

Da bei den Niveauflächen keine qualitative Differenzierung erfolgt, umfasst die Niveaufläche Watt - definiert als Fläche zwischen MTnw und MThw - auch sandige Ufervorspülungen, Steinschüttungen, Pflasterungen, senkrechte Uferbefestigungen etc.. Dadurch ist die ökologische Funktion beeinträchtigt und somit die Bedeutung für die Fauna eingeschränkt.

**Flachwasser:** Flachwasserzonen sind aufgrund ihrer Eigenschaften (gut durchlichtet, strömungsberuhigt, nährstoffreich, schnell zu erwärmen) von essenzieller Bedeutung für den aquatischen Stoffkreislauf sowie für die aquatischen Lebensgemeinschaften im Ästuar.

Mit ihrer hohen Primär- und Sekundärproduktion fungieren „geschützte“ Flachwasserzonen als bedeutende Laich- und Aufwuchsgebiete für Elbfische. Insbesondere im limnisch-oligohalinen Abschnitt der Tideelbe sichern die flachen Nebenstromgebiete (d. h. die Flachwasserbereiche zusammen mit den angrenzenden relativ flachen Tiefwasserbereichen) mit langen Verweilzeiten und mildem Strömungsklima gute Ernährungsbedingungen und damit hohe Reproduktionsraten für die als Fischnährtier bedeutende Kleinkrebsart *Eurytemora affinis*. Die im Vergleich zum Hauptstrom höheren Fischdichten der Nebenelben weisen auf die Bedeutung der ästuarinen Nebenstromgebiete als Aufwuchs- und Fressareale für Fische hin. Vor allem die südlich gelegenen Randgebiete und Nebenelben der Untereelbe stellen wichtige Laich- und Aufwuchsgebiete für Fischlarven und Jungfische (u. a. Stint, Finte) dar. Während der Sommermonate können die Nebenelben als Rückzugsbiotop für Fische fungieren, wenn sich im Hauptstrom der Untereelbe unter Umständen Sauerstoffmangelsituationen ausbilden.

Ausgedehnte Flachwassergebiete mit angrenzenden Wattflächen sind von herausragender Bedeutung für die Vogelwelt, da sie wichtige Nahrungs-, Rast-, Mauser- und Überwinterungsplätze darstellen. Auf dem Vogelzug stellen sie bedeutende Nahrungsplätze dar und Verluste

an Rast- und Nahrungsplätzen stellen einen Eingriff in die Populationsdynamik einzelner Arten dar.

Bei den Flachwasserzonen sind allerdings folgende Aspekte zu bedenken:

- Um die ökologische Funktion zu erfüllen, müssen Flachwasserzonen u. a. spezifische Strömungsgeschwindigkeiten aufweisen. Für die Fauna sind vor allem strömungsberuhigte Bereiche bedeutend, um sich bei ablaufendem Wasser dorthin zurückzuziehen und nicht in der Fahrrinne durch die dort herrschenden hohen Fließgeschwindigkeiten verdriftet zu werden. Ferner spielt die Primärproduktion sowie der Sauerstoffhaushalt eine Rolle. Bei der hier verwendeten Definition von Flachwasserzonen werden auch Bereiche mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten erfasst (z. B. Böschungsfuß nahe der Fahrrinne).
- Ein bedeutender Faktor sind die Substrateigenschaften: die ökologische Bedeutung von Flachwasserzonen mit künstlichem Hartsubstrat ist im Vergleich zu solchen mit natürlichem Gewässerboden eingeschränkt. Die verwendete Definition schließt Flachwasserzonen mit Boden aus sekundären Hartsubstraten wie z. B. Steinschüttungen mit ein.
- Der Tidehub ist ein entscheidender Faktor bei der Betrachtung von Flachwasserzonen: die auf Tideniedrigwasser bezogenen Bereiche (MTnw bis MTnw -2 m) können bei Tidehochwasserständen Wassertiefen von ca. 4-5 m aufweisen, wodurch die ökologische Funktion beeinträchtigt werden kann.

Bei der Betrachtung der Niveauflächen erfolgt keine qualitative Differenzierung. Infolge der anthropogenen Veränderungen sind Flachwasserzonen reduziert worden und teilweise sind auch ihre ökologischen Funktionen eingeschränkt.

**Tiefwasser:** Der Gewässerboden wird von ästuartypischen bodenlebenden Wirbellosen und Fischen besiedelt und der Wasserkörper dient Fischen als Habitat und „Wanderkorridor“ von und zu Nahrungs- und Laichgründen. Unterschiedliche Wassertiefen, Strömungsverhältnisse und Substrate sind einer arten- und individuenreichen Besiedlung mit bodenlebenden Wirbellosen und Fischen prinzipiell förderlich.

Tiefwasserbereiche in den Nebelben, insbesondere wenn sie an ausgedehnte Flachwasser- und Wattbereiche angrenzen, stellen deshalb ebenfalls wertvolle Lebensräume dar.

Einige Fischarten kommen in höheren Dichten im tieferen Wasser des Hauptstromes vor. Beispielsweise wurden adulte Finten in höheren Abundanzen im Hauptstrom nachgewiesen als in den Nebelben. Marine Arten wie z. B. Hering, Sprotte oder kleine Seenadel bevorzugen den Bereich des Hauptstromes mit höheren Strömungsgeschwindigkeiten und größeren Wassertiefen (THIEL ET AL. 1996).

**Tiefstwasser:** Prinzipiell ist das Tiefstwasser als Lebensraum vergleichbar besiedelt wie das Tiefwasser. Die Wirbellosengemeinschaft der Fahrrinne in der Unterelbe zeichnet sich in der Regel durch Artenarmut aus.

Nach der Beschreibung der ökologischen Bedeutung der verschiedenen Niveauflächen sollen nun grundlegende Auswirkungen der Veränderungen der Niveauflächen erläutert werden. Grundsätzlich kommt es dabei zur Dezimierung und/oder Erweiterung von Lebensraumtypen.

Das heißt, je nach Bereich treten Flächenverluste faunistisch wertvoller Biotoptypen bei teilweise gleichzeitiger Erweiterung von Lebensräumen mit hoher ökologischer Relevanz auf. Artspezifisch sind, je nachdem ob Lebens- bzw. Teillebensräume erweitert oder dezimiert werden, positiv oder negativ zu wertende Auswirkungen zu erwarten. Watvögel würden beispielsweise von einer Zunahme nahrungsreicher Wattflächen profitieren, während Fischarten durch den Verlust von Flachwasser und damit einem wichtigen Aufwuchsgebiet beeinträchtigt würden. Gleichzeitig werden sich auch andere Faktoren wie Strömungsgeschwindigkeiten und laterale Austauschvorgänge verändern. Wenn infolge der Niveauflächenänderungen die Primärproduktion beeinträchtigt wird und sich der Sauerstoffhaushalt verschlechtert, sind Auswirkungen auf die Folgeproduktion und somit auf das ästuarine Nahrungsnetz nicht auszuschließen.

Insgesamt sind die Auswirkungen auf die Artenzusammensetzungen und Bestandsdichten nicht sicher zu prognostizieren. Einige Arten werden von flächenhaftem Zugewinn an (Teil-) Lebensräumen profitieren, während aufgrund von Lebensraumverlusten Beeinträchtigungen anderer Arten nicht auszuschließen sind.

Die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellten Varianten a und b der Fallbeispiele mit unterschiedlichen Flächenänderungen werden für die Fauna nicht getrennt betrachtet, da für die gewählten Größenänderungen keine wesentlich unterschiedlichen Auswirkungen auf die Fauna prognostizierbar sind. Abhängig vom Ausmaß der Flächenänderung wird sich die Intensität der Auswirkungen auf die Tierwelt erhöhen bzw. verringern.

Bei einem alleinigen Vergleich und der Beurteilung der Niveauflächenänderungen werden keine strukturellen Aspekte berücksichtigt. Dies ist insbesondere für Flachwasser und Watt relevant, da hauptsächlich die strömungsberuhigten Bereiche mit langen Verweilzeiten des Wassers sowie die natürlichen Wattsedimente eine herausragende Bedeutung für die ästuarine Tierwelt aufweisen. Obwohl bei den Niveauflächenänderungen vermutlich auch Flachwasserbereiche sowie Wattflächen mit eingeschränkter ökologischer Funktion mit einfließen, beziehen sich in den nachfolgenden Fallbeispielen die Beschreibungen der Auswirkungen auf die Fauna auf die faunistisch wertvollen, naturnahen Bereiche.

#### ➤ Landschaftsbild

Vorland-, Watt- und Wasserflächen sind landschaftsbildprägende Strukturen des Ästuars. Aufgrund der für ein Ästuar typischen hohen Morphodynamik bilden Verschiebungen in der Verteilung der Niveauflächen einen natürlichen Vorgang. Jedoch wurde die Niveauflächenverteilung des Elbe-Ästuars während der letzten hundert Jahre durch menschliche Einflussnahme stark verändert. Dies äußert sich in den in der Tabelle 5.3-1 dokumentierten anthropogen bedingten Flächenverschiebungen bei den einzelnen Niveauflächen. Besonders deutlich zeigt sich dies z. B. bei der Ausdehnung der Wattflächen im limnischen und oligohalinen Abschnitt der Untereibe bis etwa zur Stör-Mündung. Weiterhin ist das vorhandene Potenzial für natürliche Gestaltungsvorgänge durch die über weite Strecken erfolgte Festlegung der Uferlinie sowie die vorgenommenen Eindeichungen erheblich reduziert.

Auswirkungen auf das Landschaftsbild ergeben sich, wenn durch die Veränderung der Niveauflächenverteilung ästuartypische Strukturen deutlich verändert werden. Die Einschätzungen dieser Veränderungen erfolgen in den einzelnen Fallbeispielen.

### 5.3.3 Niveauflächenänderungen im limnischen Bereich (Abschnitt III)

Die Flächenänderungen für die Fallbeispiele 1 bis 4 betragen jeweils 100 ha (Variante a) bzw. 50 ha (Variante b). **Die Veränderungen werden mit gleicher Verteilung über die entsprechenden Höhengniveaus angenommen (siehe Abbildungen A2-1 bis A2-4).**

#### Fallbeispiel 1: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-1 im Anhang 2.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Zunahme von Watten und die gleichzeitige Abnahme von Flachwasserbereichen führt zu einer Verschiebung bei der Primärproduktion: Die benthische Primärproduktion, d. h. die auf den Watten lebenden Algen, wird gestärkt und die planktische Primärproduktion wird geschwächt. Mit Abnahme des planktischen Lebensraums dürften auch die höheren Ebenen des Nahrungsnetzes in diesem Lebensraum, wie das Zooplankton und die Jungfische, negativ beeinflusst werden.

Durch die Schwächung der planktischen Primärproduktion wird auch der biogene Sauerstoffeintrag in den Wasserkörper vermindert. Untersuchungen zum Sauerstoffhaushalt des Mühlener Lochs belegen den positiven Beitrag der Flachwasserbereiche zum Sauerstoffhaushalt der in diesem Abschnitt stark belasteten Elbe (CASPER 1984, POSEWANG-KONSTANTIN ET AL. 1992). Durch einen Verlust an Flachwasserbereichen wird in diesem Elbeabschnitt der relative Anteil der Tief- und Tiefstwasserbereiche des Hauptstromes zunehmen. Bei einem eventuell verstärktem Wasseraustausch würde dann noch schneller und mehr sauerstoffärmeres Wasser in die Flachwasserbereiche verbracht und damit der Sauerstoffgehalt in diesem Kompartiment verringert werden.

Die Sauerstoffproduktion der benthischen Algen erfolgt zumeist während der Ebbe, so dass der von den Algen gebildete Sauerstoff kaum zur Belüftung des Elbewassers beiträgt. Der gebildete Sauerstoff führt zu hohen Sauerstoffsättigungen im oberflächennahen (oberster Zentimeter) Porenwasser und dem bei Ebbe auf den Watten verbleibenden "Restwasser". Diese hohen Sauerstoffgehalte tragen zur Oxidation der obersten Sedimentschichten bei und fördern so aerobe mikrobielle Stoffwechselprozesse, wie die aerobe Veratmung organischer Verbindungen und die Nitrifikation.

Die Wattflächen zeigen insgesamt höhere Sauerstoffumsätze als die Flachwasserbereiche, d. h. höhere Verbräuche (Sedimente) und auch höhere Einträge (über Atmosphäre). Inwieweit der Sauerstoffgehalt des gesamten Wasserkörpers in diesem Elbeabschnitt infolge einer Änderung der Niveauflächen zwischen Watt und Flachwasser positiv oder negativ beeinflusst wird, ist nur schwer abzuschätzen.

##### ➤ Boden

Eine Zunahme von Watten im Bereich Hamburg-Nienstedten bis Lühesand-Nord im Fallbeispiel 1 erhöht hier den Flächenanteil dieser naturnahen und wertvollen Böden. Da innerhalb eines Ästuars vor allem süßwassergeprägte Watten als besonders wertvoll angesehen werden und deren Flächenanteile im Vergleich zu den oligohalinen oder polyhalinen Bereichen eher gering sind, stellt eine Flächenzunahme einen Gewinn für die den Naturhaushalt prägenden Funktionen in diesem System dar. Potenzielle Standorte zur Besiedlung mit ästuartypischer Vegetation und Fauna werden zur Verfügung gestellt.

Da in der historischen Entwicklung in diesem Elbeabschnitt die Wattflächen allerdings schon zugenommen haben und deswegen recht große Wattbereiche vorhanden sind (z. B. Mühlenberger Loch, Hahnöfer Nebelbe, Fährmannsander Watt), stellt eine weitere Zunahme keinen nennenswerten Gewinn für den bodenökologischen Wert in diesem Abschnitt dar. Gleichwohl ist hier aus dieser Sicht die relative Abnahme der Marschenflächen als Gefährdung für den Zielzustand des Schutzgutes Boden anzusehen. Werden in der hydromorphologischen Entwicklung des Elbesystems, die hier den Verlauf der bodengenetischen Prozesse wesentlich prägt, mit der Bildung „neuer“ Watten die „alten“ ufernahen Watten in Richtung Rohmarschen und langfristig in Richtung Marschen reifen, führt dies auch zu einem Zugewinn an Vorlandflächen. Ein System breiter Vorländer mit entsprechenden vorgelagerten Watten entspricht dann eher dem Zielzustand für das Schutzgut Boden als der bisherige Zustand (historisches Verhältnis 4:1). Vor diesem Hintergrund ist eine leichte Zunahme der Wattbereiche auch in diesem Elbeabschnitt zu begrüßen. Grundannahme hierbei ist, dass keine weiteren anthropogenen Eingriffe im Bereich der Vorländer stattfinden (z. B. Deichverlegungen, Uferbefestigungen).

#### ➤ Vegetation

Durch die Zunahme von Watt ist eine Zunahme der Ufervegetation, insbesondere der ufernahen Röhricht-Vegetation (z. B. Salz-Teichsimsen-Röhricht, Strandsimsen-Röhricht, Schilf-Röhricht) zu erwarten. Der potenzielle Besiedlungsraum beginnt bei einem Höhenniveau von ca. KN +1,8 m (ca. MThw -1,5 m). In Fallbeispiel 1a nimmt demnach die potenziell durch Röhrichte besiedelbare Fläche um ca. 50 ha (in Fallbeispiel 1b dementsprechend um ca. 25 ha) zu.

In welchem Umfang sich auf diesen zusätzlichen potenziell besiedelbaren Flächen tatsächlich Röhricht-Bestände ansiedeln, hängt von den konkreten Standortbedingungen und der Lage der Flächen ab. Auch die Verteilung der zusätzlichen Wattflächen in diesem Elbeabschnitt ist entscheidend, ob beispielsweise eine mehr gleichmäßige Verteilung über die gesamte Uferlänge oder eine Konzentration dieser Flächen auf einen oder wenige Bereiche erfolgt.

Bei optimalen Bedingungen (z. B. naturnahe Bodeneigenschaften, geringe Wellenbelastung, flache Neigung), wie beispielsweise in geschützten Verlandungsbereichen der Nebelben (Hahnöfer Nebelbe, Lühesander Süderelbe), ist eine Zunahme der Röhricht-Vegetation in der oben angegebenen Größenordnung denkbar. Erfolgt die Wattzunahme an für die Vegetation ungünstigeren Standorten (z. B. in der Nähe der Hauptrinne mit hoher Wellenbelastung oder durch Ufervorspülungen mit vorwiegend sandigem Material), so ist eine deutlich geringere Zunahme der ufernahen Röhricht-Bestände zu erwarten.

Grundsätzlich wird eine Zunahme der Röhricht-Flächen dann am wahrscheinlichsten erfolgen, wenn die zusätzlichen potenziellen Besiedlungsflächen an bestehende Röhricht-Flächen angrenzen, so dass sie über vegetative Ausbreitungsprozesse besiedelt werden können.

➤ Fauna

Infolge der Ausdehnung von Wattflächen bei gleichzeitiger Abnahme von Flachwasser ist artspezifisch mit positiven oder negativen Auswirkungen zu rechnen. Die produktiven Süßwasserwatten in diesem Elbeabschnitt sind ein bedeutendes Rast- und Nahrungsgebiet für Zugvogelarten wie z. B. Löffelente und Krickente, die von einer Ausweitung dieses Lebensraumes profitieren würden. Für zahlreiche Elbfische (u. a. Stint) bieten die Flachwasserzonen im Bereich Mühlenberger Loch/Hahnöfer Nebenelbe aufgrund ihrer Produktivität ein bedeutendes Aufwuchs-, Nahrungs- und Rückzugsgebiet (s. o. und Kapitel 5.2.3). Ein Rückgang dieser Bereiche könnte daher zu Beeinträchtigungen für die Elbfischpopulationen führen. Infolgedessen können auch einzelne, fischfressende Vogelarten, wie z. B. der Seeadler, der sich während der Brutzeit hauptsächlich von Fischen ernährt, durch ein reduziertes Nahrungsangebot tendenziell beeinträchtigt werden.

Die Flachwasserbereiche des Mühlenberger Lochs tragen zur Stabilisierung des Sauerstoffhaushaltes in diesem Elbeabschnitt bei und durch den Verlust an Flachwasser kann möglicherweise der O<sub>2</sub>-Haushalt negativ beeinflusst werden (siehe „Stoffhaushalt“). Beeinträchtigungen besonders sauerstoffbedürftiger Arten sind daher nicht ausgeschlossen, während robustere Arten profitieren würden. Insbesondere im Sommer treten Sauerstoffuntersättigungen in diesem Unterelbe-Abschnitt auf, wodurch es lokal bisweilen zu einem Fischsterben kommen kann. Zeitweise kann es daher aufgrund der nachteiligen Veränderungen des O<sub>2</sub>-Gehaltes zu Beeinträchtigungen einzelner Arten (Fische, fischfressende Vogelarten) in diesem Abschnitt kommen.

Eine aufgrund von Flachwasserverlusten verringerte Primärproduktion wird sich nachteilig auf die höheren Ebenen des Nahrungsnetzes (Zooplankton, Fische) auswirken. Beeinträchtigungen für das Nahrungsgefüge der Elbe und somit für Bestandsdichten sind daher nicht auszuschließen.

Für die Makrozoobenthosgemeinschaft sind durch flächenmäßige Veränderungen von Watt- und Flachwasserbereichen keine wesentlichen Veränderungen zu erwarten, da im limnischen Bereich die Besiedlung eulitoral und sublitoral Weichböden in erster Linie durch den Substrattyp und nicht durch die Wassertiefe geprägt wird. Mögliche Verschiebungen im Artenspektrum sind jedoch nicht gänzlich auszuschließen.

Infolge der Zunahme des ufernahen Röhricht-Bestandes (siehe Vegetation) sind positive Auswirkungen für Röhricht bewohnende Vogelarten (z. B. Drosselrohrsänger) und einige Fischarten zu erwarten, da potenzielle Brutreviere bzw. versteckreiche Nahrungsgebiete erweitert werden.

➤ Landschaftsbild

Der limnische Bereich des Elbe-Ästuars ist von ausgedehnten Wattflächen geprägt, die im betrachteten Abschnitt im Verlauf der letzten hundert Jahre um ca. 400 ha zugenommen haben.

Für das Landschaftsbild ist neben der quantitativen Verteilung der Niveauflächen auch die räumliche Struktur von einer hohen Bedeutung, so dass für die Beurteilung der Auswirkungen des Fallbeispiels 1a entscheidend ist, ob die Wattflächen eher in den Uferbereichen des Hauptstroms oder im Bereich von Nebenelben zunehmen.

Die aktuelle Verteilung der Wattflächen im limnischen Bereich hat einen deutlichen Schwerpunkt im Mühlenberger Loch, in der Hahnöfer Nebenelbe sowie im Bereich des Fähmannsander Watts stromabwärts von Wedel. Bei Niedrigwasser prägen sie als große, zusammenhängende Flächen das Landschaftsbild. Wegen der deutlichen Zunahme der Wattflächen im limnischen Abschnitt der Unterelbe in vergangenen Jahrhundert führt eine weitere Zunahme um etwa 10% zu keinen Verbesserungen des Landschaftsbildes. Die Zunahme erfolgt auf Kosten anderer wertgebender ästuartypischer Strukturen, z. B. dauerhaft überströmter Bereiche. Besonders nachteilig würde es sein, wenn durch die Zunahme von Wattflächen (stärkere Ausbildung von Barren) z. B. zwischen der Insel Neßsand und dem südlichen Ufer der Hahnöfer Nebenelbe diese Nebenelbe bei Niedrigwasser nicht mehr durchströmt würde und damit teilweise der Inselcharakter von Neßsand verloren gehen würde (siehe Beispiel Schwarztonnen-sandrinne) .

Positive Veränderungen für das Landschaftsbild können sich durch die Zunahme von Röhrichten in den höher gelegenen Wattbereichen ergeben, z. B. durch die Ausdehnung vorhandener Röhrichtbestände oder durch die Neubesiedlung bisher röhrichtfreier Uferabschnitte (siehe Abschnitt „Vegetation“).

Diese Aussagen gelten gleichermaßen für die Fallbeispiele 1a und 1b, wobei sowohl die negativen als auch die positiven Wirkungen im Fallbeispiel 1b in ihrer Intensität geringer sind als im Fallbeispiel 1a.

### **Fallbeispiel 2: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-2 im Anhang 2.

Fallbeispiel 2 hat keine Auswirkungen auf die Vegetation und das Landschaftsbild. Es sind ausschließlich Wasserflächen in der gleichen Ausdehnung betroffen, so dass sich weder Vegetationsstandorte noch das Landschaftsbild verändern.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch die Zunahme der Flachwasserbereiche bei gleichzeitiger Abnahme der Tiefwasserbereiche wird die planktische Primärproduktion und damit die biogene Belüftung des Wasserkörpers gestärkt. Insgesamt gesehen wird der Sauerstoffhaushalt der Elbe gestärkt.

#### ➤ Boden

Unter Berücksichtigung der bereits dargestellten morphologischen und bodengenetischen Prozesse stellt die Zunahme von Flachwasserbereichen in diesem Fallbeispiel nur dann einen Gewinn für den bodenökologischen Wert in diesem Elbeabschnitt dar, wenn sich die Flach

wasserbereiche oder Teile davon langfristig - unter Beibehaltung der gegenwärtigen Entwicklungstendenz des Tidehubs - zu Wattflächen weiterentwickeln. Deren wertvolle natürliche Bodenfunktionen können dann zur Verfügung gestellt werden. Auch hier egalisiert eine Weiterentwicklung der „alten“ Watten das derzeitige Ungleichgewicht zwischen Watten und Vorländern (derzeitiges Verhältnis Watt : Vorländer 1:0,6, historisch ca. 1:4).

➤ Fauna

Die Fischfauna würde durch eine Zunahme von Flachwasser in den Randbereichen sowie in den Nebenelben tendenziell profitieren, da Aufenthalts- und Aufwuchsgebiete insbesondere für Jungfische erweitert würden. Für die benthische Besiedlung sind infolge der veränderten Wassertiefen allenfalls geringfügige Auswirkungen zu erwarten. Indirekt kann es möglicherweise durch veränderte Sedimentstrukturen zu Verschiebungen im Artenspektrum kommen.

Für Fischarten wie z. B. Finte, Hering, Sprotte und Kleine Seenadel, die tiefere Hauptstrombereiche mit höheren Strömungsgeschwindigkeiten bevorzugen, sind aufgrund der relativ geringen Änderungen in diesem Fallbeispiel keine Beeinträchtigungen zu erwarten, da ausreichend „Ausweichmöglichkeiten“ verfügbar sind.

Durch die Veränderung des Verhältnisses der durchlichteten zur undurchlichteten Zone ergeben sich möglicherweise günstigere Bedingungen für den Sauerstoffhaushalt des Hauptstromes (siehe „Stoffhaushalt“) und somit günstige Verhältnisse für die Fauna. Infolge einer möglichen Erhöhung der Primärproduktion sind positive Effekte für das ästuarine Nahrungsnetz zu erwarten.

**Fallbeispiel 3: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-3 im Anhang 2.

Fallbeispiel 3 hat keine Auswirkungen auf den Boden, die Vegetation und das Landschaftsbild. Es sind ausschließlich Wasserflächen in der gleichen Ausdehnung betroffen, so dass sich weder die Böden, Vegetationsstandorte noch das Landschaftsbild verändern.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch die Zunahme der flachen Tiefwasserbereiche bei gleichzeitiger Abnahme der tiefen Tiefwasserbereiche wird die Sauerstoffversorgung der aphotischen Wasserschichten etwas erleichtert und damit der Sauerstoffhaushalt geringfügig entlastet.

Durch die relative Zunahme der flachen Tiefwasserbereiche gegenüber den tiefen Tiefwasserbereichen könnte sich der Lebensraum für planktische Algen minimal verbessern, wenn das Erreichen der durchlichteten Schicht dadurch verbessert wird. Hierfür sind die strömungsbedingten Austauschprozesse von entscheidender Bedeutung.

➤ Fauna

In diesem Fallbeispiel werden ufernahe flachere Tiefwasserbereiche auf Kosten von tiefem Tiefwasser zunehmen. Die Flächenverschiebungen könnten prinzipiell einer arten- und individuenreichen Besiedlung bodenlebender Wirbelloser förderlich sein.

Die hiermit gegebenenfalls verbundenen Strömungsänderungen können kleinräumig strukturelle Änderungen zur Folge haben (Sedimentzusammensetzung, Erosion/Sedimentation etc.). Damit erhöht sich vermutlich die Habitatheterogenität und es können tendenziell positive Wirkungen für die Fauna erwartet werden. Beispielsweise stellen die ufernahen flacheren Gebiete mit schwächeren Strömungsgeschwindigkeiten bevorzugte Aufenthaltsräume für Jungfische dar. Für bodenlebende Wirbellosengemeinschaft würden sich die dargestellten Änderungen allenfalls indirekt über veränderte Sedimentstrukturen auswirken und möglicherweise zu Verschiebungen im Artenspektrum führen.

Durch die Veränderung des Verhältnisses der durchlichteten zur undurchlichteten Zone wird der Sauerstoffhaushalt geringfügig entlastet (siehe „Stoffhaushalt“) und somit sind tendenziell günstigere Verhältnisse für die Fauna zu erwarten.

#### **Fallbeispiel 4: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-4 im Anhang 2.

##### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch die Zunahme der Flachwasserbereiche bei gleichzeitiger Abnahme der Wattbereiche wird die planktische Primärproduktion gegenüber der benthischen Primärproduktion gestärkt. Damit nimmt auch - relativ betrachtet - die biogene Belüftung des Wasserkörpers an Bedeutung zu.

Zu beachten ist, inwieweit bei gleich bleibendem Sedimentationsdruck die Watten verstärkt aufwachsen und/oder die Flachwasserbereiche einem erhöhtem Sedimentationsdruck ausgesetzt werden.

Inwieweit der Sauerstoffgehalt des gesamten Wasserkörpers infolge einer Änderung der Niveauflächen zwischen Watt und Flachwasser positiv oder negativ beeinflusst wird, ist nur schwer abzuschätzen.

##### ➤ Boden

Die angenommene Abnahme von Watten in diesem Fallbeispiel birgt vor dem Hintergrund der historischen Wattenzunahme vor allem in der Dimension von ca. 50 ha bzw. 100 ha zunächst keine Gefährdung für den bodenökologischen Wert in diesem Elbeabschnitt. Da Watten als Speicher für Nähr- und Schadstoffe fungieren, muss bei einer Abnahme dieser Flächen durch einen Massenverlust auf den Austrag solcher Stoffe in das aquatische System geachtet werden. Langfristig wirkt im Sinne eines funktionellen Gleichgewichtes zwischen Vorland- und Wattflächen ein leichter Wattenverlust für die bodenbezogenen Stoffkreisläufe letztlich eher ausgleichend.

##### ➤ Vegetation

In Fallbeispiel 4 sind die entgegengesetzten Wirkungen von Fallbeispiel 1 zu erwarten. Die zugrunde gelegte Abnahme von Wattflächen könnte demnach zu einer Abnahme von ca. 50 ha (Fallbeispiel 4a), bzw. 25 ha (Fallbeispiel 4b) potenziell mit Röhrichten besiedelter Fläche führen. Die Flächenverluste hängen auch hier von den konkreten Standortbedingungen ab, welche die lokale Vegetation am Ufer bestimmen.

Sind von der Flächenänderung beispielsweise vorwiegend rein sandige oder durch Wellenschlag beeinträchtigte Ufer und damit ungünstige Standorte für die Vegetation betroffen, so ist eine Abnahme von Röhrichten auf wesentlich geringerer Fläche zu erwarten, da die von Röhrichten bestehenden Flächen kleiner sind als es unter günstigen Standortbedingungen der Fall wäre. Allerdings können sich dort die Wuchsbedingungen für die Röhrichte so verschlechtern, dass dennoch größere Flächenverluste zu erwarten sind. Sind vorwiegend naturnahe, flache Ufer mit geringer Wellenbelastung und damit günstige Standorte für Röhrichte betroffen, so sind dementsprechend Flächenverluste in der oben genannten Größenordnung möglich.

➤ Fauna

Für bodenlebende Wirbellose ist nicht mit Änderungen der Bestandsdichten aufgrund der Flächenverschiebungen zu rechnen (siehe Fallbeispiel 1). Beeinträchtigungen aufgrund eines veränderten Nahrungsangebotes für viele Fisch- und Vogelarten sind daher nicht zu erwarten. Vielmehr ergeben sich Auswirkungen infolge der Flächenverschiebungen der Biototypen. Von einer Ausdehnung der Flachwasserbereiche als wichtige Aufwuchs- und Rückzugsgebiete würden Elbfische (u. a. Stint, Finte) profitieren. Nachteilig für Watvögel wirkt sich hingegen der Flächenverlust nahrungsreicher Wattflächen aus. Die Wattflächen in diesem Elbeabschnitt sind von internationaler Bedeutung für zahlreiche Gast- und Rastvögel (u. a. Krickente, Löffelente) und eine Abnahme dieser wertvollen Nahrungshabitate kann sich möglicherweise nachteilig auf die Vogelwelt auswirken. Fischfressende Vogelarten (u. a. Kormoran, Seeadler) würden von höheren Bestandsdichten an Fischen profitieren. Nachteilig für Röhricht bewohnende Tiere, wie z. B. Röhrichtbrüter, wirken sich hingegen mögliche Flächenverluste des ufernahen Röhrichtbestandes (siehe Vegetation) aus.

➤ Landschaftsbild

Durch den Rückgang von Wattflächen und die Zunahme von Flachwasserbereichen vergrößern sich vor allem zum Zeitpunkt von Tideniedrigwasser die wasserbedeckten Bereiche. Damit werden ästuartypische Landschaftsstrukturen nachhaltig gesichert. Eine gleichmäßige Reduzierung von Wattflächen entlang der gesamten Uferlinie hat dabei eine geringere Wirkung auf das Landschaftsbild als Veränderungen einiger weniger, aber großflächiger Wattbereiche.

Andererseits stellen sich negative Veränderungen für das Landschaftsbild ein, wenn - wie dies unter dem Abschnitt „Vegetation“ in diesem Fallbeispiel beschrieben wurde - durch die Reduzierung der höheren Wattflächen auch ein Rückgang der Ufervegetation eintreten würde. Dies könnte bereichsweise auch zu einem vollständigen Verlust schmaler Röhrichtstreifen führen und das Landschaftsbild nachteilig verändern.

Es ist davon auszugehen, dass im Fallbeispiel 4b sowohl die negativen als auch die positiven Wirkungen in ihrer Intensität geringer sind als im Fallbeispiel 4a, letztlich bestimmen jedoch die konkreten örtlichen Verhältnisse das Ausmaß der Veränderungen.

#### 5.3.4 Niveauflächenänderung im oligohalinen Bereich (Abschnitt IV)

Die Flächenänderungen für die Fallbeispiele 5 bis 8 betragen jeweils 200 ha (Variante a) bzw. 100 ha (Variante b). **Die Veränderungen werden mit gleicher Verteilung über die entsprechenden Höhenniveaus angenommen (siehe Abbildungen A2-5 bis A2-8).**

##### **Fallbeispiel 5: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-5 im Anhang 2.

###### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die Zunahme von Watten und gleichzeitige Abnahme von Flachwasserbereichen führt – wie bereits für den limnischen Bereich beschrieben - auch im oligohalinen Bereich zu einer Verschiebung bei der Primärproduktion. Die benthische Primärproduktion wird gestärkt, die planktische Primärproduktion wird geschwächt und mit der Abnahme des planktischen Lebensraums dürften auch hier die höheren Ebenen des Nahrungsnetzes, wie das Zooplankton und die Jungfische, negativ beeinflusst werden

Dabei ist im oligohalinen Bereich jedoch aufgrund hoher Schwebstoffgehalte das Wachstum der planktischen Algen stark lichtlimitiert. Durch die Schwächung der planktischen Primärproduktion ist auch der biogene Sauerstoffeintrag in den Wasserkörper gemindert. Die mit Zunahme der Wattgebiete verbesserte atmosphärische Belüftung dürfte daher in diesem Elbeabschnitt bewirken, dass es mit Zunahme der Wattflächen zu einer Verbesserung im Sauerstoffhaushalt kommt.

###### ➤ Boden

Im Abschnitt Lühesand bis Stör-Mündung wird durch eine Zunahme von Watten ein Gewinn von naturnahen und wertvollen Böden erzielt.

Eine beträchtliche Aufwertung des bodenökologischen Wertes in diesem Elbeabschnitt bietet die Dimensionierung der Flächenzunahme von 100 ha bzw. 200 ha jedoch nicht, da hier die historische Entwicklung bereits zu einer Ausdehnung der Watten geführt hat. Entsprechende Flächen stehen dem Naturhaushalt in den Randbereichen der Haseldorfer und Pagensander Nebenelben, der Schwarztonnensandrinne oder am Krautsand zur Verfügung. Im Sinne eines funktionellen Gleichgewichtes zwischen semisubhydrischen Watten und semiterrestrischen Marschen ist auch hier analog zum Fallbeispiel 1 der langfristige sekundäre Effekt durch eine Weiterentwicklung „alter“ ufernaher Watten zu Vorlandböden (Rohmarschen oder Marschen) nützlich für das Erreichen des Zielzustandes für das Schutzgut Boden (derzeitiges Verhältnis Watt : Vorländer 1:1,5 - historisch ca. 1:4). Vor diesem Hintergrund kann eine weitere Zunahme von Wattflächen langfristig förderlich für eine ästuartypische Bodenfunktionalität in diesem Elbeabschnitt sein.

###### ➤ Vegetation

Das Fallbeispiel 5 entspricht in der Wirkung im Wesentlichen dem Fallbeispiel 1. Geringe Unterschiede ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Flächengrößen und des unterschiedlichen Salinitätsbereichs. Die betroffenen Vegetationstypen im Abschnitt IV sind im Vergleich zu Abschnitt III jedoch weitgehend gleich.

In Fallbeispiel 5a nimmt demnach die potenziell durch Röhrichte besiedelbare Fläche um ca. 100 ha (in Fallbeispiel 5b dementsprechend um ca. 50 ha) zu. Wie unter Fallbeispiel 1 bereits beschrieben wurde, liegt die zu erwartenden Zunahme an Röhrichtflächen nur unter naturnahen Standortbedingungen in dieser Größenordnung. Bei ungünstigeren Standortbedingungen ist sie deutlich geringer. Dennoch muss - auch in dem geringeren Umfang - eine Zunahme von Röhrichten auf vorher vegetationsfreien Standorten aus vegetationskundlicher Sicht sehr positiv eingeschätzt werden.

➤ Fauna

Prinzipiell ist in diesem Abschnitt mit vergleichbaren Auswirkungen wie in Fallbeispiel 1 beschrieben zu rechnen: Watvögel (u. a. Säbelschnäbler) profitieren von einer Zunahme nahrungsreicher Wattgebiete, während Fischarten (z. B. Finte) von einer Dezimierung wichtiger Laich-, Nahrungs-, Rückzugs- und Aufenthaltsräume gegebenenfalls beeinträchtigt würden. Von einer Zunahme des Röhrichtbestandes profitieren hingegen u. a. Röhrichtbrüter (siehe Fallbeispiel 1). Ein verbesserter Sauerstoffhaushalt wirkt sich förderlich auf den aquatischen Lebensraum und damit für ästuarine Arten aus. Hingegen wirkt sich die Abnahme des planktischen Lebensraumes vermutlich nachteilig für das Nahrungsnetz aus. Für die am und im Boden lebende Wirbellosengemeinschaft ist nicht mit erheblichen Änderungen der Bestandsstruktur aufgrund der Flächenverschiebungen zu rechnen (siehe Fallbeispiel 1).

➤ Landschaftsbild

Wie in Abschnitt III haben auch im Abschnitt IV im letzten Jahrhundert die Wattflächen sehr stark zugenommen (um mehr als 750 ha) und die Flachwasserbereiche deutlich abgenommen (um mehr als 200 ha). Die Wirkungen auf das Landschaftsbild sind denen des Fallbeispiels 1 deshalb vergleichbar.

Die aktuelle Verteilung der Wattflächen im Abschnitt IV hat ihren Schwerpunkt im Bereich der Haseldorfer und Pagensander Nebenelbe, der Schwarztonnensandrinne sowie vor Krautsand (Krautsander Watt). Nachteilige Auswirkungen in Bezug auf das Landschaftsbild wären dann zu erwarten, wenn die für das Fallbeispiel 5a angenommene Zunahme der Wattflächen um weitere 200 ha, die ebenfalls etwa 10% der heutigen Flächengröße ausmacht, zu einem hohen Anteil in den vorhandenen Nebenelben und -rinnen stattfinden würde. Die Ausdehnung der Wattflächen auf Kosten der zum Zeitpunkt des Tideniedrigwassers ständig wasserbedeckten Flachwasserbereiche in den Nebenelben dieses Abschnittes würde eine Reduzierung wertgebender Landschaftsstrukturen bedeuten, insbesondere vor dem Hintergrund, dass in diesem Abschnitt z. B. aufgrund von Vordeichungen in der Haseldorfer Marsch, der Verfüllung des Koopmannslochs sowie nachfolgender Sedimentationsprozesse zahlreiche der genannten das Landschaftsbild prägenden Strukturen verloren gegangen sind.

Da in diesem Abschnitt IV die Ufer – vor allem im Bereich der Nebenelben und -rinnen teils großflächig mit Röhrichten bewachsen sind, führt – anders als in Fallbeispiel 1 - eine weitere flächenhafte Ausdehnung des Röhrichts in den Uferbereich nicht zu einer wesentlichen Verbesserung des Landschaftsbildes.

Insgesamt sind die jeweiligen Wirkungen im Fallbeispiel 5b in ihrer Intensität geringer als im Fallbeispiel 5a.

### **Fallbeispiel 6: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-6 im Anhang 2.

Fallbeispiel 6 hat keine Auswirkungen auf die Vegetation und das Landschaftsbild. Es sind ausschließlich dauerhafte Wasserflächen in der gleichen Ausdehnung betroffen, so dass sich weder Vegetationsstandorte noch das Landschaftsbild verändern.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch die Zunahme der Flachwasserbereiche bei gleichzeitiger Abnahme der Tiefwasserbereiche wird auch im oligohalinen Abschnitt der Elbe die planktische Primärproduktion und damit die biogene Belüftung des Wasserkörpers leicht gestärkt und somit dürfte sich auch in diesem Abschnitt der Sauerstoffgehalt der Elbe insgesamt leicht verbessern.

#### ➤ Boden

Im Fallbeispiel 6 ist – ähnliche Randbedingungen wie in Fallbeispiel 2 vorausgesetzt - dann ein positiver Effekt für den bodenökologischen Wert in diesem Elbeabschnitt zu verzeichnen, wenn sich die ausgeweiteten Flachwasserbereiche langfristig in ihrer morphogenetischen Genese zu Watten und nachfolgend zumindest teilweise auch zu semiterrestrischen Vorlandböden entwickeln.

#### ➤ Fauna

Die Auswirkungen auf die Fauna entsprechen denen, die in Fallbeispiel 2 für den limnischen Abschnitt bereits beschrieben wurden und gelten auch für den oligohalinen Elbe-Abschnitt.

### **Fallbeispiel 7: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-7 im Anhang 2.

Fallbeispiel 7 hat keine Auswirkungen auf den Boden, die Vegetation und das Landschaftsbild. Es sind ausschließlich dauerhafte Wasserflächen in der gleichen Ausdehnung betroffen, so dass sich weder Vegetationsstandorte noch das Landschaftsbild verändern.

Die Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit und den Stoffhaushalt sowie die Fauna entsprechen denen, die in Fallbeispiel 3 bereits beschrieben wurden.

### **Fallbeispiel 8: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-8 im Anhang 2.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch die Zunahme der Flachwasserbereiche bei gleichzeitiger Abnahme der Wattbereiche wird die planktische Primärproduktion gegenüber der benthischen Primärproduktion gestärkt. Da die Algen im oligohalinen Bereich stark lichtlimitiert sind nimmt die Bedeutung der biogenen Belüftung des gesamten Wasserkörpers nur in sehr geringem Maße zu. Entscheidend ist, inwieweit bei gleichbleibendem Sedimentationsdruck die Watten verstärkt aufwachsen und/oder die Flachwasserbereiche einem erhöhtem Sedimentationsdruck ausgesetzt werden.

#### ➤ Boden

Da im betrachteten Elbeabschnitt ausgedehnte Wattflächen zur Verfügung stehen, läuft die Abnahme von Wattflächen in der betrachteten Dimension von ca. 100 ha bzw. 200 ha im vorliegenden Fallbeispiel zunächst nicht dem Zielzustand für das Schutzgut Boden zuwider. Eine Beeinträchtigung des bodenökologischen Wertes in diesem Elbeabschnitt ist dadurch nicht zu erwarten. Mit dem Massenverlust wird eine stoffliche Belastung des aquatischen Systems hervorgerufen, Speicherraum für Nähr- oder Schadstoffe steht in geringerem Umfang zur Verfügung. Das funktionelle Verhältnis zwischen semisubhydrischen Watten und semiterrestrischen Vorländern wird leicht in Richtung historischer ästuartypischer Zustände verschoben (derzeitiges Verhältnis Watt : Vorländern 1:1,5 - historisch ca. 1:4).

➤ Vegetation

Fallbeispiel 8 entspricht der Umkehrung von Fallbeispiel 5. Dementsprechend ist bei Fallbeispiel 8a eine Abnahme von ca. 100 ha (bei Fallbeispiel 8b von ca. 50 ha) potenziell mit Röhrichten besiedelbarer Fläche zu erwarten. Wie bereits unter Fallbeispiel 4 beschrieben wurde, hängen die zu erwartenden konkreten Flächenänderungen von den Standortbedingungen der betroffenen Flächen ab. Eine Abnahme von Röhrichten in einer Größenordnung von bis zu 100 ha würde einen erheblichen Rückgang der in diesem Abschnitt vorhandenen Bestände bedeuten.

➤ Fauna

Die Auswirkungen auf die Fauna entsprechen denen, die in Fallbeispiel 4 für den limnischen Abschnitt bereits beschrieben wurden und gelten auch für den oligohalinen Elbe-Abschnitt.

➤ Landschaftsbild

Ähnlich den Wirkungen des Fallbeispiels 4 führt eine Zunahme von Flachwasserbereichen, d. h. insbesondere zum Zeitpunkt von Tideniedrigwasser dauerhaft wasserbedeckten Bereichen entlang des Ufers oder in Nebelben und -rinnen auch in diesem Elbeabschnitt zu einer Verbesserung des Landschaftsbilds. Da in diesem Abschnitt vor allem in den Nebelben und -rinnen eine stärkere Abnahme dauerhaft wasserbedeckter Bereiche in den vergangenen Jahrzehnten erfolgte, würde eine Zunahme der Flachwasserbereiche dem ursprünglichen Charakter des Landschaftsbildes mit einer deutlichen Rinnen und Inselstruktur wieder mehr gerecht werden.

Die möglicherweise großflächigen Verluste von ufernahen Röhrichten würden sich allerdings nachteilig auf das Landschaftsbild auswirken. Das könnte bedeuten, dass der Röhrichtsaum in einigen Uferabschnitten vollständig verloren gehen würde.

Die Auswirkungen des Fallbeispiels 8b entsprechen tendenziell denen des Fallbeispiels 8a, sind jedoch geringer.

### 5.3.5 Niveauflächenänderung im polyhalinen Bereich (Abschnitt VI)

Die Flächenänderungen für die Fallbeispiele 9 bis 12 betragen jeweils 2000 ha (Variante a) bzw. 1000 ha (Variante b). **Die Veränderungen werden mit gleicher Verteilung über die entsprechenden Höhenniveaus angenommen (siehe Abbildungen A2-9 bis A2-12).**

#### **Fallbeispiel 9: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser und flachem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-9 im Anhang 2.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Im polyhalinen Bereich etwa ab der Oste-Mündung treten im Bereich des Trübungsmaximums der Elbe sehr hohe Schwebstoffgehalte auf. Als Folge ist die planktische Primärproduktion extrem lichtlimitiert und spielt daher im Sauerstoffhaushalt dieses Elbeabschnittes eine sehr untergeordnete Rolle. Eine Zunahme der Wattflächen dürfte aufgrund der besseren atmosphärischen Belüftung insgesamt gesehen den Sauerstoffgehalt anheben.

➤ Boden

Im Abschnitt Oste-Mündung bis Cuxhaven führt eine Ausdehnung von salzgeprägten Watten zu einer Zunahme der für diesen Elbeabschnitt typischen naturnahen und wertvollen Böden. Die Speicherfunktion für Stoffeinträge aus dem aquatischen System wird erhöht. Salzwatten sind allerdings im derzeitigen Zustand schon in recht beträchtlichem Umfang vertreten, so dass eine weitere Ausweitung solcher Bereiche auf den ersten Blick keinen wesentlichen Gewinn für den bodenökologischen Wert in diesem Elbeabschnitt bringt.

Gegenüber dem historischen Zustand im Mündungsbereich der Elbe haben sich die Flächenanteile von Watt und Vorland derzeit nicht wesentlich verändert. Mit einer Zunahme der Watten von ca. 2000 ha kann allerdings das historische Verhältnis von Marsch- zu Wattflächen von 1:8 (siehe Tabelle 5.3-1) wieder erreicht werden (derzeit ca. 1:7). Diesem Zustand von vor etwa hundert Jahren kann eine „quasi natürliche“ Funktionalität für ästuartypische Stoffkreisläufe zwischen aquatischen, semisubhydrischen und semiterrestrischen Bereichen zugeordnet werden. Für den Zielzustand des Schutzgutes Boden ist damit ein Zugewinn erreichbar. In lokaler Betrachtung ist eine Zunahme von Wattflächen auf dem südlichen Elbeufer vorteilhaft, da hier derzeit Watten gegenüber Vorländern unterrepräsentiert sind.

➤ Vegetation

Im polyhalinen Bereich liegt die Untergrenze der potenziell durch höhere Pflanzen besiedelbaren Fläche bei ca. MThw  $-0,4$  m, also bei ca. KN  $+2,9$  m. Daher wirkt sich die Niveauflächenänderung des Fallbeispiels 9 (sowohl des Fallbeispiels 9a als auch des Fallbeispiels 9b) kaum auf die Vegetation aus. Es ist allenfalls eine geringfügige Zunahme der mit Queller besiedelten Fläche möglich. Wie auch für den limnischen und oligohalinen Bereich ist die mögliche Zunahme von Vegetationsbeständen abhängig von den konkreten Standortbedingungen und der Lage der zusätzlichen Wattbereiche. Am wahrscheinlichsten ist eine Ausbreitung des Quellerwatts dann, wenn die zusätzlichen potenziellen Besiedlungsflächen an bestehende und mit Queller bewachsene Flächen angrenzen.

➤ Fauna

Flächenverschiebung von Watt und Flachwasser/flachem Tiefwasser in diesem Elbeabschnitt wirken sich je nach Art positiv oder negativ aus. Von einer Ausweitung nahrungsreicher Wattgebiete würden beispielsweise Watvögel (u. a. Säbelschnäbler, Austernfischer) profitieren und auch die Brandgans, die sich während der Mauser auf den störungsfreien Wattflächen im Elbe-Mündungsgebiet aufhält. Hingegen sind aufgrund der Abnahme an Flachwasserbereichen Beeinträchtigungen einzelner Fischarten, wie z. B. der Scholle, die das Wattenmeer als „Kinderstube“ nutzt, nicht gänzlich auszuschließen. Erhebliche Auswirkungen auf die

Makrozoobenthosgemeinschaft sind auf den sich verändernden Flächen - ausgehend von gleichbleibender Sedimentstruktur - nicht zu erwarten. Mit Veränderungen der Sedimentdynamik sind Veränderungen im Artenspektrum hingegen nicht ausgeschlossen.

➤ Landschaftsbild

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Abschnitten III und IV haben in den letzten hundert Jahren im Abschnitt VI die Wattflächen um etwa 1200 ha und auch die Flachwasserbereiche um fast 1800 ha abgenommen. Hinsichtlich des Landschaftsbildes unterscheidet sich der Abschnitt VI von den Abschnitten III und IV dadurch, dass der Charakter des Flusses verloren geht und an seine Stelle die Merkmale der Küste und des Wattenmeeres treten. Kennzeichnend ist die Weite der Landschaft mit baumlosen und teilweise ausgedehnten Vordeichflächen und den bei Niedrigwasser sichtbaren großen Watten und Sänden, die durch Priele und Rinnensysteme geteilt sind. Inseln und durchströmte Nebelnelben fehlen in diesem Abschnitt.

Aufgrund der vorherrschenden Strömungsverhältnisse würde die Zunahme der Wattflächen hauptsächlich nördlich des Hauptfahrwassers zu erwarten sein. Nachteilige Auswirkungen auf das Landschaftsbild sind sehr wahrscheinlich nicht zu befürchten, da auch mit der Zunahme der Wattflächen um ca. 10% der heutigen Größe die größeren Priele oder Rinnen nicht vollständig verlanden würden. Manche dieser Veränderungen würden sich zudem nur vom Schiff oder aus der Luft erkennen lassen.

Aufgrund der großen Weite dieses Abschnitts und der nur geringen Flächenzunahme der niedrigwüchsigen Quellerbestände ergeben sich ebenfalls keine Aufwertungen landschaftsbildprägender Strukturen die durch Veränderungen der Vegetation hervorgerufen werden.

Da bereits von den größeren Flächenänderungen kaum nachteilige Wirkungen auf das Landschaftsbild zu erwarten sind, gilt dies erst recht für die geringeren Änderungen des Fallbeispiels 9b.

**Fallbeispiel 10: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-10 im Anhang 2.

Fallbeispiel 10 hat keine Auswirkungen auf die Vegetation und das Landschaftsbild. Es sind ausschließlich dauerhafte Wasserflächen in der gleichen Ausdehnung betroffen, so dass sich weder Vegetationsstandorte noch das Landschaftsbild verändern.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Durch die Zunahme der Flachwasserbereiche bei gleichzeitiger Abnahme der Tiefwasserbereiche wird die planktische Primärproduktion und damit die biogene Belüftung des Wasserkörpers gestärkt. Da aber im polyhalinen Bereich die biogene Belüftung nur sehr schwach ausgeprägt ist, wird insgesamt gesehen der Sauerstoffhaushalt der Elbe nur sehr schwach verbessert.

➤ Boden

Für dieses Fallbeispiel spielt die Zunahme von Flachwasser nur langfristig eine Rolle für eine potenzielle Erhöhung des bodenökologischen Wertes. In diesem Betrachtungszeitraum können sich die Flachwasserbereiche durch morphologische Prozesse zu Watten weiterentwickeln. Die positiven Effekte für den Zielzustand des Schutzgutes Boden in diesem Elbeabschnitt ähneln dann denen des Fallbeispiels 9. Das Ausmaß wird geringer ausfallen, da das Entstehen von Watten aus den Flachwasserbereichen nicht für alle Bereiche prognostiziert werden kann.

➤ Fauna

Veränderungen der flächenmäßigen Anteile von Flachwasser und flachem Tiefwasser wirken sich aufgrund möglicher Veränderungen in der Primärproduktion und des Sauerstoffhaushaltes insgesamt förderlich auf die Fauna aus. Einige Fischarten, wie beispielsweise die Scholle, die das Wattenmeer als „Kinderstube“ nutzen, profitieren vermutlich von einer Erweiterung der Flachwasserbereiche: sie halten sich bevorzugt im Flachwasser auf, da sie dort vor Fressfeinden geschützt sind und ein reichhaltiges Nahrungsangebot vorfinden.

**Fallbeispiel 11: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-11 im Anhang 2.

Fallbeispiel 11 hat keine Auswirkungen auf den Boden, die Vegetation und das Landschaftsbild. Es sind ausschließlich dauerhafte Wasserflächen in der gleichen Ausdehnung betroffen, so dass sich weder Vegetationsstandorte noch das Landschaftsbild verändern.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Die unter Fallbeispiel 7 gemachten Aussagen gelten auch für den polyhalinen Bereich.

➤ Fauna

Durch die Veränderungen von flachen und tiefem Tiefwasser sind allenfalls geringfügige Auswirkungen auf die Fauna zu erwarten. Mögliche Verschiebungen im Artenspektrum sind nicht auszuschließen. Durch die insgesamt günstigeren Bedingungen für den Sauerstoffhaushalt des Hauptstromes (siehe „Stoffhaushalt“) sind tendenziell günstigere Verhältnisse für die Fauna zu erwarten.

**Fallbeispiel 12: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt**

Zur Darstellung der Veränderungen siehe Abbildung A2-12 im Anhang 2.

➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Für das Fallbeispiel 12 gelten ähnliche Aussagen wie für die Fallbeispiele 3 und 7, wobei die biogene Belüftung des gesamten Wasserkörpers in diesem Teilabschnitt nur äußerst schwach an Bedeutung zunimmt.

➤ Boden

Eine angenommene Abnahme von Wattflächen führt zur Fortsetzung des historischen Trends, d. h. zur Abnahme von Wattflächen in diesem Elbeabschnitt (siehe Tabelle 5.3-1). Obwohl Salzwatten in großen Flächenanteilen derzeit vorhanden sind, geht ihre typische Funktionalität in der Elbmündung verloren und damit auch potenzieller Lebensraum für Vegetation und Fauna. Mit den angenommenen recht großen Flächenverlusten von ca. 1000 ha bzw. 2000 ha gehen entsprechende Massenverluste einher, die zu einer stofflichen Belastung des aquati

schen Systems führen. Potenzielle Speichermöglichkeit für aquatische Stoffeinträge geht folgerichtig verloren. Das historische funktionelle Verhältnis zwischen Watt und Marsch von 8:1 wird zu Gunsten der Vorlandflächen in Richtung 6:1 verschoben, eine weitere Abweichung vom derzeitigen Verhältnis von 7:1. Die Funktionsweise der Stoffkreisläufe zwischen den aquatischen, semisubhydrischen und semiterrestrischen Systemen wird verändert. Für diesen Elbeabschnitt kann damit der bodenökologische Wert abnehmen, das Erreichen des Schutzgut bezogenen Umweltziels wird behindert.

➤ Vegetation

Entsprechend den Ausführungen zu Fallbeispiel 9 sind auch bei der Abnahme von Wattflächen kaum Änderungen der Vegetation zu erwarten. Es ist allenfalls eine geringfügige Abnahme der mit Quellerwatt besiedelten Fläche möglich. Da Quellerwatt gebietsweise selten auftritt, kann auch ein flächenmäßig geringer Verlust der Quellervegetation zu einem Verschwinden des Quellerwatts in einem größeren Gebiet beitragen.

➤ Fauna

Infolge der Reduzierung von Watt bei gleichzeitiger Zunahme von Flachwasser können artspezifisch sowohl positive als auch negativ zu wertende Auswirkungen erwartet werden. Aufgrund der Abnahme von Wattflächen und von morphologischen Änderungen kann nicht ausgeschlossen werden, dass möglicherweise einige Seehund-Liegeplätze den Ansprüchen der Tiere nicht mehr genügen. Für einige Vogelarten (Limikolen, Brandgans) würden durch eine Abnahme der Wattflächen bedeutende Nahrungs- und Mauergebiete dezimiert werden. Hingegen würden von einer Zunahme an Flachwasser einige Fischarten (z. B. Scholle) profitieren, die das Wattmeer als „Kinderstube“ nutzen. Für die bodenlebende Wirbellosengemeinschaft kann es auf den sich verändernden Flächen aufgrund veränderter Sedimentstrukturen und -dynamik zu Verschiebungen im Artenspektrum kommen.

➤ Landschaftsbild

Ein Rückgang der Wattflächen um etwa 2000 ha würde – je nach Örtlichkeit – zu Veränderungen des Landschaftsbildes führen, die umso größer und nachteiliger wären, je näher diese Flächen am Ufer liegen würden und je stärker bestimmte Bereiche aktuell von diesen Wattflächen und gegebenenfalls markanten Wattkanten geprägt sind. Konkretere Wirkungen lassen sich allerdings nur aufgrund genauerer Angaben zur Örtlichkeit beschreiben.

Würde sich dieser Rückgang gleichmäßig entlang der gesamten jetzt vorhandenen Niedrigwasserlinie vollziehen, wären die Auswirkungen weniger beeinträchtigend als z. B. wenige großflächige Veränderungen im unmittelbaren Uferbereich, z. B. im Bereich der Ostermündung.

Für das Fallbeispiel 12b - mit einer Abnahme von Wattflächen in einer Größenordnung von 1000 ha - gelten diese Aussagen ebenfalls. Auch hier gilt, dass die Darstellung der Auswirkungen nur in Verbindung mit konkreteren Angaben zur Örtlichkeit möglich ist. Es ist davon auszugehen, dass die Auswirkungen geringer sind im Fallbeispiel 12a, lokal könnten sie jedoch vergleichbar sein.

### 5.3.6 Hinweise zur ökologischen Optimierung

Vergleichbar mit der Vorgehensweise in Kapitel 5.2.5 wird - aufbauend auf die Beschreibung der Wirkungen, die von den 12 Fallbeispielen mit unterschiedlichen Niveauflächenverteilungen auf die einzelnen Schutzgüter ausgehen - nachfolgend dargestellt, welche Niveauflächenänderung aus Sicht eines jeweiligen Schutzguts zu einer Optimierung der ökologischen Verhältnisse führen würde. Auch hier kann möglicherweise eine für ein Schutzgut beschriebene Verbesserung zu einer Beeinträchtigung bei einem anderen Schutzgut führen.

#### ➤ Wasserbeschaffenheit und Stoffhaushalt

Flache Wasserbereiche sind über die Atmosphäre und durch den biogenen Sauerstoffeintrag besser mit Sauerstoff versorgt. Tiefe Wasserbereiche sind demgegenüber nur durch advective Transportprozesse mit Sauerstoff versorgt. Ihr Selbstreinigungspotenzial, und damit die Möglichkeit Belastungen zu verkraften, ist deutlich vermindert.

Insbesondere in den limnischen und oligohalinen Abschnitten (Abschnitte III und IV) fehlen Flachwasserbereiche mit strömungsberuhigten Zonen und trotzdem sandigen Sedimenten. Die starke Ausdehnung von Schlickwatten ist ein Belastungsanzeiger für zu hohe Schwebstoffgehalte im Elbe-Ästuar. Weiterhin dient der Erhalt der Nebelbecken und die Anbindung abgetrennter Nebengewässer der ökologischen Optimierung in diesen Elbeabschnitten. Die historischen Niveauflächenverteilungen (siehe Tabelle 5.3.-1) zeigen die genannten Verluste an, wobei insbesondere durch Abdeichungsmaßnahmen aquatische Flächen, die einst an die Tideelbe angebunden waren, verloren gegangen sind.

Im polyhalinen Bereich (Abschnitt VI) besteht durch einen Zugewinn an Flachwasserbereichen nur ein vergleichsweise geringeres ökologisches Verbesserungspotenzial.

#### ➤ Boden

Eine ökologische Optimierung für das Schutzgut Boden kann als Annäherung an das Schutzgut bezogene Umweltziel sowie den Zielzustand für den Boden im Elbe-Ästuar verstanden werden (siehe Einleitung zu den Grundlagen für die bodenbezogene Bewertung in Kapitel 4). Will man die Verteilung der Niveauflächen ökologisch optimieren, müssen deren Änderungen und Effekte auf das Schutzgut Boden zunächst bewertet werden.

Die Existenz von adäquaten Flächen von Watten und Vordeichsböden gewährleistet, dass mit der Entwicklung und dem Erhalt natürlicher Bodenfunktionen in naturnahen und gegebenenfalls seltenen Böden das übergeordnete Umweltziel überhaupt ausgefüllt werden kann. Die Zunahme dieser Flächen ist somit Voraussetzung, um den Zielzustand für das Schutzgut Boden im Unter- und Außenelberaum zu erreichen. Dies betrifft vor allem die oligohalinen und limnischen Elbeabschnitte. Das Erreichen breiter Vorländer soll dabei jedoch nicht allein aus dem wasserseitigen Gewinn von Watten sondern auch mit fortschreitender Bodengenesen (unter Umständen durch veränderte Tidekennwerte) langfristig durch einen Gewinn von Rohmarschen oder auch Marschen an Stelle der Watten erreicht werden. Da die landseitige Verbreiterung der Vorländer durch Barrieren (im allgemeinen Deiche) behindert ist, geht eine Ausbreitung semisubhydrischer Watten relativ zu Lasten semiterrestrischer Vordeichsböden. Eine rein wasserseitige „Verlandung des Systems Unter- und Außenelbe“ entspricht nicht dem

Zielzustand für das Schutzgut Boden, da der Wassereinfluss zentraler und unverzichtbarer Einflussfaktor für die ästuartypische Bodenfunktionalität im Unter- und Außenelberaum ist.

Der Verlust von Watten entnimmt dem System entsprechende Bodenfunktionen und führt ebenfalls zu einer Entfernung vom übergeordneten Umweltziel. Die Vorländer werden schmaler, wenngleich sich einem Funktionsgleichgewicht zwischen semisubhydrischer und semiterrestrischer Bodenfunktionalität angenähert wird.

Die getroffenen Aussagen müssen jedoch sowohl auf die topomorphologische Differenzierung im Längsverlauf der Elbe als auch auf die historische Entwicklungstendenz seit etwa dem Beginn des letzten Jahrhunderts (siehe Tabelle 5.3.-1) angepasst werden. In den limnischen und oligohalinen Bereichen (Abschnitte III und IV) führt ein Gewinn von Wattflächen nicht unbedingt zum Zielzustand für das Schutzgut Boden, vielmehr ist langfristig eine Weiterentwicklung von Watten zu semiterrestrischen Vordeichsböden anzustreben. Ein Wattenverlust in den Größenordnungen der entsprechenden Fallbeispiele ist hier weniger kritisch zu sehen. Im polyhalinen Bereich (Abschnitt VI) hingegen führt eine Zunahme an Wattflächen trotz schon vorhandener beträchtlicher Flächenausdehnung zur Annäherung an den Zustand vor etwa hundert Jahren. Analog dazu bedingt eine Abnahme von Salzwatt eine Entfernung von diesem Zustand.

Maßnahmen zur ökologischen Optimierung müssen sich an diesen Aussagen orientieren. Für die Abschnitte III und IV sollten demnach keine strombaulichen Maßnahmen in der Elbe ergriffen werden, die in diesen Bereichen eine einsetzende Verlandung mit Wattenbildung fördern. Vielmehr sollte auf eine Weiterentwicklung von Watten zu Rohmarschen und Marschen gesetzt werden. Strombauwerke mit entsprechenden Effekten können den Kapiteln 4.1 und 4.2 entnommen werden. Weitere Maßnahmen mit Möglichkeiten zur Verbesserung des ökologischen Bodenwertes der Vorländer beinhalten Teil 1 und Teil 2 der ökologischen Potenzialanalyse (BFG 2002 und BFG 2003).

Für den Abschnitt VI sollten Maßnahmen bevorzugt werden, die eine Wattenbildung hier begünstigen. Zielbereich ist hier vor allem das Südufer der Elbe. Strombauwerke mit entsprechenden Effekten können ebenfalls aus den Kapiteln 4.1 und 4.2 ausgewählt werden. Deren Wirkungen kann durch weitere Maßnahmen zur Nutzung des ökologischen Potenzials an der Außenelbe ergänzt werden (siehe BFG 2002 und BFG 2003).

Alle getroffenen Aussagen zeigen fachliche Trends auf, können derzeit jedoch nicht ausreichend quantifiziert werden. Dazu ist eine genaue Kenntnis der morpho-hydraulischen Prozesszusammenhänge, deren flächenbezogene Quantifizierung im Rahmen einer historischen Betrachtung sowie eine Trennung der maßnahmenbezogenen Effekte von der natürlichen Variabilität notwendig.

#### ➤ Vegetation

Wie bereits ausgeführt wurde, betreffen die Niveauflächenveränderung nur dann die Vegetation, wenn dabei von Pflanzen besiedelbare Höhenbereiche betroffen sind. Flächenänderungen der oberen Wattbereiche wirken sich dabei im limnischen Bereich stärker auf die Vegeta

tion aus als im polyhalinen Bereich, da im äußeren Ästuar – bezogen auf das MThw – die Untergrenze der Vegetationsbesiedlung höher liegt als im inneren Ästuar.

Aus vegetationskundlicher Sicht ist dabei die Zunahme der oberen Wattbereiche auf Kosten aquatischer Bereiche als positiv anzusehen. Dies gilt in besonderem Maße dann, wenn dabei für eine Vegetationsbesiedlung günstige Standortbedingungen vorherrschen, z. B. flache Ufer mit geringer Wellenbelastung in strömungsberuhigten Nebenelben.

Daneben würde sich auch die Zunahme von Vorlandbereichen - insbesondere angesichts des deutlichen Verlusts von Vorlandflächen im vergangenen Jahrhundert (siehe Tabelle 5.3-1) - positiv auf die Vegetation des Elbe-Ästuars auswirken. Dies gilt allerdings nur dann, wenn dies nicht auf Kosten von vegetationskundlich wertvollen höheren Wattbereichen erfolgt.

#### ➤ Fauna

Aus den Veränderungen der Niveauflächenverteilungen lassen sich prinzipiell nur grobe Schlussfolgerung bezüglich der Auswirkungen auf die Fauna ziehen, da wesentliche qualitative Aspekte von Lebensräumen wie die Sedimentzusammensetzung, die Strömungsverhältnisse, die Vegetationsstruktur etc., die entscheidende Faktoren für die Besiedlung und die Nutzung als Teillebensraum darstellen, in diese Betrachtung nur bedingt mit einfließen.

Aufgrund der hohen ökologischen Bedeutung der Flachwasserbereiche - insbesondere im limnischen und oligohalinen Abschnitt der Tideelbe - sollte eine weitere Abnahme dieser Flächen vermieden werden. Aufgrund des starken Rückgangs dieses Lebensraumes in der Vergangenheit wäre aus faunistischer Sicht eine Erweiterung der Flachwasserbereiche, z. B. durch die Anbindung abgetrennter Nebengewässer oder die Anlage tidebeeinflusster Dauerwasserflächen, eine Verbesserung.

#### ➤ Landschaftsbild

Änderungen der Niveauflächenverteilung tragen zu einer Aufwertung des Landschaftsbildes bei, wenn durch sie der landschaftstypische Charakter in den einzelnen Abschnitten des Elbe-Ästuars gefördert wird. Dies bedeutet ein ausgewogenes Verhältnis der verschiedenen Niveauflächen (Wasserflächen, Wattflächen, Vordeichsländer) und die Sicherung bzw. die Entwicklung landschaftstypischer Strukturelemente, z. B. auch bei Tideniedrigwasserständen dauerhaft wasserführende Nebenelben und -rinnen sowie Priele. Ebenso gilt es aber auch, die Vegetation entlang der Ufer zu erhalten. Dies betrifft in besonderem Maße das Uferröhricht.

## 6 EG-Wasserrahmenrichtlinie

### 6.1 Allgemeine Zielsetzungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie

Die allgemeinen Zielsetzungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) wurden bereits in Teil 2 der Ökologischen Potenzialanalyse beschrieben (BFG 2003). Nachfolgend werden die wichtigsten Umweltziele nach Artikel 4 für Oberflächengewässer nochmals zusammengefasst:

- Schutz, Verbesserung und Sanierung der (natürlichen) Oberflächenwasserkörper mit dem Ziel, einen guten (ökologischen und chemischen) Zustand der Oberflächengewässer zu erreichen.
- Schutz und Verbesserung der erheblich veränderten Wasserkörper mit dem Ziel, ein gutes ökologisches Potenzial und einen guten chemischen Zustand der Oberflächengewässer zu erreichen.
- Verhinderung einer Verschlechterung des (ökologischen oder chemischen) Zustands der Oberflächenwasserkörper.

Demnach besteht die Zielsetzung der EG-WRRL im Wesentlichen darin, eine weitere Verschlechterung des Gewässerzustands zu vermeiden (im nachfolgenden Text als „Verschlechterungsverbot“ bezeichnet) bzw. einen Schutz und eine Verbesserung des Gewässerzustands zu erreichen (im nachfolgenden Text als „Verbesserungsgebot“ bezeichnet). Während das „Verschlechterungsverbot“ für alle Oberflächengewässer gilt, bestehen hinsichtlich des „Verbesserungsgebots“ für „erheblich veränderte Oberflächengewässer“ weniger strenge Umweltziele.

Dem Entwurf des Berichts über die Umsetzung der Anhänge II, III und IV der Richtlinie 2000/60/EG für den Koordinierungsraum Tideelbe (B-BERICHT, STAND 17. 09. 2004) zufolge wurde vor allem aufgrund der wesentlichen Veränderung der Hydromorphologie der gesamte Tideelbestrom vorläufig als „erheblich verändert“ gekennzeichnet. Jedoch soll erst im Bewirtschaftungsplan entschieden werden, welche Wasserkörper im Sinne der EG-WRRL tatsächlich als *erheblich verändert* einzustufen sind. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der *gute ökologische Zustand* hauptsächlich wegen der strukturellen und morphologischen Veränderungen verfehlt werden wird.

Die Einstufung der Tideelbe als ein *erheblich veränderter Wasserkörper* würde demzufolge das Ziel haben, ein *gutes ökologisches Potenzial* und einen *guten chemischen Zustand* des Oberflächengewässers zu erreichen. Die Begriffsbestimmungen für die biologische Qualitätskomponenten sind in Tabelle 6-1 erläutert. Die hydromorphologische Komponenten für ein gutes ökologisches Potenzial sind die Bedingungen, unter denen die für die biologischen Qualitätskomponenten beschriebenen Werte erreicht werden können.

**Tabelle 6-1: Begriffsbestimmungen für die biologische Qualitätskomponente des höchsten und des guten ökologischen Potenzials von erheblich veränderten Wasserkörpern**

Komponente	Höchstes ökologisches Potenzial	Gutes ökologisches Potenzial
Biologische Qualitätskomponenten	Die Werte für die einschlägigen biologischen Qualitätskomponenten entsprechen unter Berücksichtigung der physikalischen Bedingungen, die sich aus den erheblich veränderten Eigenschaften des Wasserkörpers ergeben, soweit wie möglich den Werten für den Oberflächengewässertyp, der am ehesten mit dem betreffenden Wasserkörper vergleichbar ist.	Die Werte für die einschlägigen biologischen Qualitätskomponenten weichen geringfügig von den Werten ab, die für das höchste ökologische Potential gelten.

## 6.2 Lokale Wirkungen von Strombauwerken und ihr Bezug zur EG-Wasserrahmenrichtlinie

Durch die Anlage von Strombauwerken kann sowohl der ökologische als auch der chemische Zustand des Elbe-Ästuars beeinflusst werden, so dass sich hierdurch zahlreiche Querbezüge zu den Zielsetzungen der EG-WRRL ergeben. Hinsichtlich der ökologischen Optimierung von Strombauwerken sind vor allem zwei Fragestellungen relevant:

- Können durch Strombauwerke ökologische Verbesserungen erzielt und gegebenenfalls wirksam dazu beitragen, ein *gutes ökologisches Potenzial* der Tideelbe zu erreichen? (im Sinne des „Verbesserungsgebots“ der EG-WRRL)
- Können mögliche ökologische Beeinträchtigungen, die durch Strombauwerke verursacht werden können, wirksam vermieden werden? (im Sinne des „Verschlechterungsverbots“ der EG-WRRL)

Hinweise zu ökologischen Verbesserungen durch die Anlage von Strombauwerken und zur Minimierung ökologischer Beeinträchtigungen sind in Kapitel 4.3 zusammengefasst. Diese Aussagen beschränken sich auf die lokalen Auswirkungen von Strombauwerken. Nachfolgend werden diese Empfehlungen hinsichtlich möglicher Querbezüge zur EG-WRRL geprüft.

Da wichtige Grundlagendaten (aufgrund der EG-WRRL) zur Bearbeitung der oben genannten Fragestellungen derzeit aber noch nicht vorliegen, insbesondere da teilweise das *höchste* und das *gute ökologische Potenzial* noch nicht bestimmt sind, sind nachfolgende Ausführungen nur als vorläufig einzustufen und es ist auch nur eine grobe Einschätzung wesentlicher Querbezüge zur EG-WRRL möglich. Die Frage, ob mit den Strombauwerken ein *gutes ökologisches Potenzial* erreicht werden kann, muss deshalb zum gegenwärtigen Zeitpunkt offen bleiben.

### 6.2.1 Linienhafte Strombauwerke

Durch die Anlage linienhafter Strombauwerke wird selbst keine Verbesserung des Gewässers im Sinne der EG-WRRL erreicht. Allerdings sind - siehe Überlegungen aus Kapitel 4.3.1 - indirekte Verbesserungen im lokalen Umfeld von linienhaften Strombauwerken durchaus möglich. So können durch die Anlage von Leitwerken strömungsberuhigte Flachwasserzonen erweitert oder neu geschaffen werden. Sofern diese Flachwasserzonen ein mildes Strömungsklima mit langen Verweilzeiten des Wassers aufweisen – können sie (bevorzugt im limnisch-oligohalinen Bereich) wertvolle Lebensräume für die ästuartypische aquatische Fauna sein und eine Verbesserung für den Sauerstoffhaushalt bedeuten, was den Zielsetzungen der EG-WRRL entsprechen würde. Dies gilt auch für die Senkung der hydraulischen Belastung am Ufer durch die Anlage von Leitwerken. Dadurch könnten sich ufernah wertvolle Vegetationsbestände erweitern, was sich auch förderlich für die darauf angewiesene Fauna (Brut-, Laichmöglichkeit) auswirken kann.

Bei der Anlage linienhafter Strombauwerke gilt es, Beeinträchtigungen des ökologischen und chemischen Zustands des Gewässers durch das Bauwerk selbst so wirkungsvoll wie möglich zu vermeiden. Dies kann z. B. durch die Wahl des Baumaterials (Wasserbausteine) erfolgen, das nach dem jeweiligen Kenntnisstand die geringere Freisetzung von Schwermetallen und deren Anreicherung in der Nahrungskette verursacht und das Gewässer und die Gewässerfauna somit weniger beeinträchtigt. Da durch eine Vollverklammerung der Wasserbausteine die Besiedlungsmöglichkeit von Strombauwerken deutlich eingeschränkt wird, sollte dies ebenfalls vermieden werden. Darüber hinaus können Beeinträchtigungen durch den Bau von Strombauwerken gering gehalten werden, wenn die Strombauwerke nicht in Uferbereichen mit hochwertigen naturnahen Vegetationsbeständen angelegt werden.

Eine geringere Bedeutung hinsichtlich des „Verschlechterungsverbots“ nach EG-WRRL haben bei der Anlage von linienhaften Strombauwerken die sonstigen Empfehlungen zur Wahl des Materials (Verwendung von Bitumen; Abdeckung geotextiler Behälter) und zur Bauweise (heterogene Oberflächenstruktur), da sie eher unbedeutendere und kleinflächige ökologische Auswirkungen verursachen. Dies gilt auch für Empfehlungen zur Minimierung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild, dem im Rahmen der EG-WRRL keine Bedeutung zukommt.

### 6.2.2 Flächenhafte Strombauwerke

Die Empfehlungen zur ökologischen Optimierung flächenhafter Strombauwerke - siehe Überlegungen aus Kapitel 4.3.2 - gleichen teilweise den Empfehlungen für die linienhaften Strombauwerke. Im Gegensatz zu den vorwiegend aus Wasserbausteinen angelegten linienhaften Strombauwerken können bei den flächenhaften Strombauwerken ästuartypischere Substrate verwendet und naturnähere Gestaltungen ermöglicht werden.

Dies gilt beispielsweise für das Substrat des Verbringungsmaterials und die Verwendung von Abdeckungen. Hier handelt es sich um Parameter, welche die Besiedlung des Strombauwerks vor allem auch mit ästuartypischen Arten entscheidend beeinflussen. Daneben sind auch morphologische Umlagerungsvorgänge möglich, wenn diese Strombauwerke mit naturnahen

Ufern und Böschungen ausgebildet werden können, d. h. nicht mit Randsicherungen versehen werden. Dies würde zu einer Erhöhung der morphologischen Strukturvielfalt des Gewässers führen und somit auch Zielsetzungen der EG-WRRL entsprechen.

Flächenhafte Strombauwerke können vor allem dann zu wirksamen ökologischen Verbesserungen im Sinne des „Verbesserungsgebots“ der EG-WRRL beitragen, wenn damit die Entstehung von Nebengewässern mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten verbunden ist, die aus hydrologischer, morphologischer und faunistischer Sicht als derzeit unterrepräsentierte Bereiche anzusehen sind. Wenn dabei eine naturnahe, ästuartypische Biotopabfolge von Flachwasser, Watt und tidebeeinflusster Vegetationsstruktur geschaffen wird, können Brut-, Aufwuchs- und Aufenthaltsräume ästuartypischer Fisch- und Vogelarten erweitert werden.

Die Veränderung des Durchflussquerschnitts kann zu Auswirkungen auf die Strömungsgeschwindigkeit und den Sedimenttransport in der Hauptrinne führen. Hinsichtlich des „Verschlechterungsverbots“ der EG-WRRL stellt eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in der Hauptrinne eine ökologische Beeinträchtigung dar. Eine Minimierung dieser Beeinträchtigung ist dadurch möglich, dass die Strombauwerke den Durchflussquerschnitt möglichst gering einschränken. Unterwasserablagerungsflächen und Inseln sollten daher aus hydrologischer Sicht möglichst mit geringer Höhe und Breite gebaut werden.

Auch die Umwandlung von aquatischen in terrestrische Lebensräume durch die Anlage flächenhafter Strombauwerke bzw. durch die Förderung von Sedimentationsprozessen in Nebenelben kann zu Beeinträchtigungen führen, wenn dabei gleichzeitig wertvolle aquatische Lebensräume verloren gehen. Deshalb sind flächenhafte Strombauwerke so zu planen, dass bei ihrer Anlage wertvolle Lebensräume möglichst nicht beeinträchtigt werden. Darüber hinaus gilt die Empfehlung, dass Strombauwerke nicht in Bereichen anzulegen sind, die großflächigere Sedimentablagerungen mit hohen Schadstoffkonzentrationen und –mengen aufweisen.

### **6.3 Großräumige Wirkungen hydrologischer und morphologischer Änderungen und ihr Bezug zur EG-Wasserrahmenrichtlinie**

In Anlehnung an Kapitel 6.2 werden nachfolgend Querbezüge zwischen verschiedenen großräumigen hydrologischen und morphologischen Wirkungen, die von flächenhaften Strombauwerken ausgehen können und hier im Wesentlichen durch Wasserstands- oder Niveauflächenänderungen beschrieben sind, dargestellt und hinsichtlich des „Verbesserungsgebots“ bzw. des „Verschlechterungsverbot“ der EG-WRRL überprüft. Aus den bereits auch unter Kapitel 6.2 aufgeführten Gründen ist auch hier keine abschließende Aussage möglich, inwieweit mit den beschriebenen Maßnahmen zur Erreichung des *guten ökologischen Potenzials* der Elbe beigetragen werden kann.

#### **6.3.1 Wasserstandsänderungen**

Nachfolgend sind die Empfehlungen aus Kapitel 5.2.5 zu möglichen ökologischen Verbesserungen durch Wasserstandsänderungen zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Zielen der EG-WRRL dargestellt.

Vor allem durch die Reduzierung des Tidehubs können bedeutende ökologische Verbesserungen im Sinne des „Verbesserungsgebots“ der EG-WRRL bewirkt werden, da sich das System nicht weiter von einem historischen Zustand (Zeit etwa zu Beginn des 20. Jahrhunderts) entfernt, sondern sich ihm wieder annähert. Eine Reduzierung des Tidehubs könnte dazu beitragen, dass sich der bodenökologische Wert vor allem im semiterrestrischen Bereich verbessert, die ästuartypische Ufervegetation, insbesondere Röhricht, sich ausbreiten könnte, was sich auch förderlich für die darauf angewiesene Fauna auswirken kann.

Bei einer Abnahme des Tidehubs und der damit verbundenen Reduzierung des MThw und einem Ansteigen des MTnw ist eine wasserseitige Ausdehnung der Ufervegetation zu erwarten, die zu einer Zunahme der Flächengröße der Ufervegetation führen kann. Angesichts der hohen ökologischen Bedeutung der Röhrichte der Unterelbe würde diese Entwicklung eine Verbesserung der biologischen Qualitätskomponenten des Gewässers (sowohl Vegetation als auch Fauna) bedeuten. Dabei sind die zu erwartenden positiven Auswirkungen im limnischen Bereich des Elbe-Ästuars am größten, da sich hier in den letzten hundert Jahren der größte Anstieg des MThw ereignet hat.

Vor allem würde aber die durch einen Rückgang des Tidehubs stattfindende Ausdehnung der aquatischen Bereiche, hauptsächlich der Flachwasserbereiche, in hohem Maße den Zielsetzungen der EG-WRRL entsprechen. Neben vorteilhaften Auswirkungen für die aquatische Fauna würden sich bei gleichzeitig milderem Strömungsklima die Aufenthaltszeiten in den Nebenelben und angeschlossenen Nebengewässern erhöhen und sich positiv auf die Wasserbeschaffenheit auswirken. Zusätzlich wäre ein als positiv einzuschätzender Rückgang der Schwebstoffgehalte zu erwarten. Diese Wirkungen stärken die ökologischen Funktionen der Flachwasserbereiche.

Aus Kapitel 5.2.5 lassen sich aber auch Hinweise zur Minimierung ökologischer Beeinträchtigungen durch Wasserstandsänderungen ableiten und ihre Bedeutung hinsichtlich des „Verschlechterungsverbots“ der EG-WRRL darstellen. Wesentlich ist dabei die Aussage, dass Beeinträchtigungen durch strombauliche Maßnahmen umso geringer ausfallen, je kleiner die mit den Strombaumaßnahmen verbundene Erhöhung des Tidehubs/MThw ist bzw. je mehr der Tidehub/MThw reduziert werden kann.

### **6.3.2 Niveauflächenänderungen**

Aussagen zu möglichen ökologischen Verbesserungen durch Niveauflächenänderungen und ihre Übereinstimmung mit den Zielen der EG-WRRL werden nachfolgend aufgrund der wichtigsten Empfehlungen aus Kapitel 5.3.6 beschrieben.

Die hauptsächliche Bedeutung der Niveauflächenänderungen liegt – ähnlich wie bei den Wasserstandsänderungen - in einer Zunahme von Flachwasserbereichen mit strömungsberuhigten Zonen und mit möglichst sandigen Substraten, durch die ökologische Verbesserungen im Sin

ne des „Verbesserungsgebots“ der EG-WRRL bewirkt werden können. Dies betrifft vor allem die limnischen und oligohalinen Abschnitte der Elbe. Die Niveauflächenverteilungen aus der Zeit etwa zu Beginn des 20. Jahrhunderts (siehe Tabelle 5.3-1) zeigen Verluste vor allem dieses Niveauflächenbereiches an. Diesem historischen Zustand könnte sich durch die Schaffung von Flachwasserzonen wieder stärker angenähert werden. Mit der Schaffung von Flachwasserzonen verbundene Verbesserungen wurden im Kapitel 6.3.1 aufgezeigt.

Niveauflächenveränderung können auch die Bodenfunktionalität und die Vegetation betreffen. Flächenänderungen in Form von Zunahmen der oberen Wattbereiche können langfristig zu einer Weiterentwicklung von Watten zu semiterrestrischen Vordeichsböden führen. Zunahmen der oberen Wattbereiche würden sich auch zu Gunsten der Vegetation auswirken, wenn dabei von Pflanzen besiedelbare Höhenbereiche betroffen sind. Diese Verbesserungen würden ebenfalls vor allem in den limnischen und oligohalinen Bereichen wirksam werden.

Aus Kapitel 5.3.6 lassen sich darüber hinaus Hinweise zur Minimierung ökologischer Beeinträchtigungen durch Niveauflächenänderungen ableiten und ihre Bedeutung hinsichtlich des „Verschlechterungsverbots“ der EG-WRRL darstellen.

Aufgrund der hohen ökologischen Bedeutung der Flachwasserbereiche - insbesondere im limnischen und oligohalinen Abschnitt der Tideelbe - sollte durch Niveauflächenänderungen infolge von strombaulichen Maßnahmen eine weitere Abnahme dieser Flächen vermieden werden, ebenso eine einsetzende Verlandung des Gewässers mit Wattenbildung.

## Literatur / Quellen

AHRENS, B. (1994): Untersuchung zur Wiederbesiedlung des Dortmund-Ems-Kanals (km 1,2-13,9) durch aquatische Makrozoen nach dem Einfluss der pH-Wert-Erhöhung infolge Schlackeverklappung bei DEK-km 8,45-9,68. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

AHRENS, B. (2000): Untersuchung zur Wiederbesiedlung des Dortmund-Ems-Kanals (km 1,2-13,9) durch aquatische Makrozoen nach dem Einfluss der pH-Wert-Erhöhung infolge Schlackeverklappung bei DEK-km 8,45-9,68. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

ARGE ELBE (2001): Vorstudie zur Klärung der Relevanz der Gewässerflora (Makrophyten, Angiospermen, Großalgen) für die Bewertung des ökologischen Zustands im Teileinzugsgebiet Tideelbe – Endbericht.

BAUMGARTEN, H., MÖBES, A., SCHNEIDER, J., SCHRAPS, W.G. UND H.K. SIEM (2001): Stadtbodenkartierung. Ergänzung der KA4 um stadtbodenspezifische Besonderheiten. Ad-hoc-AG Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung.

BAW – BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (2003): Potenzialanalyse für die Unter- und Außenelbe, Systemanalysen zur hydraulischen Kompensation nachteiliger Entwicklungen der kennzeichnenden Tidewasserstände.

B-BERICHT - BERICHT ÜBER DIE UMSETZUNG DER ANHÄNGE II, III UND IV DER RICHTLINIE 2000/60/EG FÜR DEN KOORDINIERUNGSRAUM TIDEELBE (ENTWURF STAND 17. 09. 2004), Herausgeber: Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg; Niedersächsisches Umweltministerium; Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft des Landes Schleswig-Holstein.

BFG – BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (1999): Gütemodellrechnungen zur Auswirkung der Fahrrinnenvertiefung auf den Sauerstoffhaushalt in den Mosel-Stauhaltungen Palzem und Grevenmacher, BfG-1182, Koblenz.

BFG – BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2002): Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe (Ökologische Potenzialanalyse) Teil 1, BfG-1346, Koblenz.

BFG – BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2003): Untersuchung des ökologischen Entwicklungspotenzials der Unter- und Außenelbe (Ökologische Potenzialanalyse) Teil 2 – Konkretisierung von Maßnahmen, BfG-1388, Koblenz.

BFG – BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (2004): Bedeutung der Stillwasserzonen für die Nährstoffeliminierung in der Elbe. Abschlußbericht zum BMBF-Förderschwerpunkt Elbe-Ökologie, Projekt 0339603, BfG-1406, Koblenz.

BFG-MERKBLATT (VERSION JULI 2004): Merkblatt für die umweltverträgliche Verwendung von Eisenhütten- und Metallhüttenschlacke als Wasserbausteine (Entwurf); BfG im Auftrag des BMVBW; Koblenz, Version Juli 2004

BELOW, H., POPPENDIECK, H.-H., HOBHOM, C. (1996): Verbreitung und Vergesellschaftung von *Oenanthe conioides* (Nolte) Lange im Tidegebiet der Elbe. *Tuexenia* 16: 299-310. Göttingen.

BERNAT, N., KRIEG, H.-J., MAASER, G. & H. KAUSCH (1997): UVU zur Anpassung der Fahrrinne der unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Materialband VII. Tiere und Pflanzen. Aquatische Lebensgemeinschaften. - Gutachten im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, Freien und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Amt Strom- und Hafenbau.

BERTSCH, W. & H.-M. SEEHAUS (2002): Einsatz von Schlackesteinen im Wasserbau - Bewertung der Ergebnisse von Ring-, Trog- und Perkolationsversuchen. *Hydrologie und Wasserwirtschaft*, Heft 1.

BIOCONSULT (1997A): Faunistische Erhebungen und Bewertungen in den Bereichen Wischhafener Fahrwasser und Hahnöfer Nebenelbe/Mühlenberger Loch (Untere Elbe). Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

BIOCONSULT (1997B): Zum Vorkommen von Fischlarven im Wischhafener Fahrwasser und der Hahnöfer Nebenelbe im April 1997. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

BIOCONSULT (1998): Zum Makrozoobenthos von Buhnen im Weserästuar. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

BIOCONSULT (2004): Untersuchung zum Makrozoobenthos verschiedener Klappstellen im Bereich der Unter- und Außenelbe. Gutachten im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg.

BMV - BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR (1997): Sohlgleichgewicht am Rhein; Bericht der AG Rheinsohlenerosion, Münster/Mainz.

BRANDES, D. (1998): Vegetationsökologische Untersuchungen an wasserbaulich bedingten linearen Strukturen. *Braunschweiger Geobotanischer Arbeiten*, Bd.5, S. 185-197.

CASPERS, H. (1984): Die Sauerstoffproduktion einer Bucht im Süßwasserbereich des Elbe-Ästuars. Untersuchungen im „Mühlenberger Loch“ in Hamburg. – *arch. Hydrobiol.-Suppl.* 61: 509-542

DBG (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. Hrsg.: Arbeitskreis für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 86.

DITTMANN, S. (1990): Mussel beds - amensalism or amelioration for intertidal fauna? Helgoländer Meeresunters. 44:335-352.

DRACHENFELS VON, O. (1996): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen in Niedersachsen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, Nr. 34.

DVWK MERKBLATT NR. 221 (1992): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

FLÜGGE (2002): Ausbauvorhaben in den Tideästuarien - Erläuterung der wirksamen hydromechanischen Prozesse, Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 53. Band, S. 86-97

FÜCHTBAUER, H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine, Schweizerbart, Stuttgart

GIERSCH, K., SCHIRMER, M. (2002): Kommentierte Literaturrecherche zum Thema „Röhricht“ Universität Bremen, 71 S.

GNIELKA, R. (1990): Anleitung zur Brutvogelkartierung. Apus 7:176-221.

HENSEN, W. (1959): Modellversuche für die Unterweser und ihre Nebenflüsse. Mitteilungen der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franzius-Institut, der Technischen Hochschule Hannover

INSTITUT FÜR NATURSCHUTZ- UND UMWELTSCHUTZFORSCHUNG (INUF) (1990): Untersuchungen über die Besiedlung von Schlackensteinen im Wasserwechselbereich mit Pflanzen und Tieren. Gutachten im Auftrag der Norddeutschen Affinerie Aktiengesellschaft.

INSTITUT FÜR NATURSCHUTZ- UND UMWELTSCHUTZFORSCHUNG (INUF) (1993): Vergleichende Untersuchungen zur Mikroskopischen pflanzlichen und tierischen Besiedlung von Natur- und Schlackensteinen auf einem Probedeckwerk im Süßwasserbereich der Tide-Elbe. Gutachten im Auftrag der Norddeutschen Affinerie Aktiengesellschaft.

INSTITUT FÜR NATURSCHUTZ- UND UMWELTSCHUTZFORSCHUNG (INUF) (1998): Akkumulation und Effekte von Schwermetallen bei weidenden Makrozoobenthosarten (hier *Littorina littorea*, die Gemeine Strandschnecke) auf Natur- und Schlackensteinen im Wasserwechselbereich. Gutachten im Auftrag der Peute Baustoff GmbH.

INSTITUT FÜR NATURSCHUTZ- UND UMWELTSCHUTZFORSCHUNG (INUF) (2000): Naturnahe Laborsimulation zur Analyse von Elution, Akkumulation und Effekten von Schwermetallen bei Schnecken auf Natur- und Schlackensteinen im limnischen Milieu. Gutachten im Auftrag der Peute Baustoff GmbH.

JANSEN, P. (1979): Principles of River Engineering, Pitman Publishing, London.

JENSEN (2000): Systemhydrologische Begutachtung der Tideästuarien Ems, Weser und Elbe. Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. Forschungsstelle Wasserwirtschaft und Umwelt an der Universität GH Siegen

KARBE, L. & U. RINGELBAND (1995): Auswirkungen von in der Elbe im Wasserbau eingesetzter Elektroofenschlacke (sEOS) der Hamburger Stahlwerke auf aquatische Lebensgemeinschaften. Gutachten im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde.

KARBE, L., H. HABLIZEL, H. HINTZE, H. HÜHNERFUSS & M. SCHLABACH (1997): Belastung von Miesmuscheln der niedersächsischen Küstengewässer mit Schwermetallen und persistenten chlororganischen Problemstoffen. Berichte der Forschungsstelle Küste, Norderney. 41:157-166.

KILS, U (1992): Untersuchungen zum Einfluss der Steinschüttungen und des Schiffsverkehrs im Nord-Ostsee-Kanal auf die Laich-Biologie des Herings, *Clupea harengus*. Institut für Meereskunde, Kiel.

KIRCHESCH, V. UND SCHÖL, A. (1999): Das Gütemodell QSim - Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktodynamik von Fließgewässern. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 43 (6): 303-309

KOLBE, K. (1997): Sedimente und Makrozoobenthos der Wesermündung. Berichte der Forschungsstelle Küste, Norderney. 41:9-31.

KÖTTER, F. (1961): Die Pflanzengesellschaften der Unterelbe. Archiv für Hydrobiologie Supplement-Band 26, S. 221-343.

LADIGES (1935): Über die Bedeutung der Copepoden als Fischnahrung im Unterelbegebiet. – Zeitschrift für Fischerei 34: 1-84.

LUCAS, L.V. UND CLOERN, J. (2002): Effects of tidal shallowing and deepening on phytoplankton production dynamics: A modelling study. – Estuaries, Vol. 25, No. 4A: 497-507

MARCHAND, J. & J.C. DENAYER (1991): Spatio-temporal comparisons of the development of fouling communities in the Loire Estuary (France).

MICHAELIS, H. & K. REISE (1994): Langfristige Veränderungen des Zoobenthos im Wattenmeer. in: Lozán, J.L., E. Rachor, K. Reise & H. von Westernhagen (Hrsg.): Warnsignal aus dem Wattenmeer. Blackwell Science, Berlin. S. 106-117.

MOHR, T. & N. SCHULZ (2001): Künstliche Unterwasserstrukturen in den Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. [www.fischumwelt.de/html/publikation5.html](http://www.fischumwelt.de/html/publikation5.html).

MÜLLER, A. (1996): Untersuchung von Schadstoffen in Schwebstoffen und Sedimenten; BfG-Jahresbericht 1996, 89-90]

OERTLING, W. (1992): Profil-Typen der Ufer-Vegetation der Unterelbe im Bereich und unterhalb der Mitteltidehochwasserlinie. In: Institut für Angewandte Botanik (Hrsg.): Ufervegetation an Elbe und Nordsee. Beiheft 3 S.5-36.

PIHL, L., A. CATTRISSE, I. CODLING, S. MATHIESON, D.S. MCLUSKY & C. ROBERTS (2002): Habitat use by fishes in estuaries and other brackish area. in Elliott, M. & K.L. Hemingway (eds.): Fishes in estuaries. Blackwell Science 2002, ISBN 0-632-05733-5.

POSEWANG-KONSTANTIN, G., SCHÖL, A. UND KAUSCH, H. (1992): Ökologische Untersuchung des Mühlenberger Lochs. – Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften, Universität Hamburg, 115 Seiten.

POTT, R. (1995): Farbatlas Nordseeküste und Nordseeinseln. Ausgewählte Beispiele aus der südlichen Nordseeinsel in geobotanischer Sicht. Ulmer.

PREISINGER, H. (1991): Strukturanalyse und Zeigerwert der Auen- und Ufervegetation im Hamburger Hafen- und Hafenrandgebiet. Dissertationes Botanicae Band 174. J. Cramer Berlin, Stuttgart.

PROJEKTGRUPPE VORUNTERSUCHUNG - FAHRRINNENANPASSUNG UNTER- UND AUBENELBE (2003): Beschreibung des Vorhabens für die Umweltrisikoeinschätzung (URE) Stand 22.07.2003.

RIECKEN, U., U. RIES, A. SSYMANK, T. MERCK & H. VON NORDHEIM (1995): Rote Liste der Biotoptypen des deutschen Wattenmeer- und Nordseebereichs. Schr.-R. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 44:15-38.

RITZERT, F. (2001): Einfluss von Regelungsbauwerken auf die Wasserspiegellagen in Flüssen, Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe, Heft 211.

SCHÖL, A. UND KAUSCH, H. (1987): Untersuchung sauerstoffzehrender Prozesse an einer Pilotanlage des Klärwerkes Dradenau. – Gutachten im Auftrag der Baubehörde Hamburg. Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften, Universität Hamburg, 79 Seiten.

SCHÖL, A., KIRCHESCH, V., BERGFELD, T. SCHÖLL, F., BORCHERDING, J. UND MÜLLER, D. (2002): Modelling the chlorophyll a content of the River Rhine - Interaction between riverine algal production and population biomass of grazers, rotifers and zebra mussel, *Dreissena polymorpha*. - International Review of Hydrobiology 87: 295-317

SEELIG, A. (1992): Profil-Typen und Standorte der Elbeufer-Vegetation zwischen Satustufe Geesthacht und Bunthäuser Spitze im Bereich der Mitteltidehochwasserlinie. In: Institut für Angewandte Botanik (Hrsg.): Ufervegetation an Elbe und Nordsee. Beiheft 3 S.5-36.

SIEFERT & JENSEN (1993): Fahrrinnenvertiefung und Tidewasserstände in der Elbe. HANSA, 130. Jhg., Nr. 10, 119-125

SPANNRING, M. (1999): Die Wirkung von Buhnen auf Strömung und Sohle eines Fließgewässers, Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, Nr.86.

THIEL, R., A. SEPULVEDA & S. OESMANN (1996): Occurrence and distribution of twaite shad (*Alosa fallax* Lacépède) in the lower Elbe River, Germany. S. 157-169. In: Kirchhofer, A. & D. Hefti (Hrsg.): Conservation of endangered freshwater fish in Europe. Birkhäuser, Basel.

TITTIZER, T. & P. KOTHÉ (1983): Zum Besiedlungsverhalten von im Wasserbau verwendeten Verklammerungssubstanzen. DGM 27(4):110-113.

TITTIZER, T. & A. SCHLEUTER (1989): Über die Auswirkung wasserbaulicher Maßnahmen auf die biologischen Verhältnisse in den Bundeswasserstraßen. DGM 3/4:91-97.

TITTIZER, T. (1997): Vergleichend Untersuchung zur Besiedlung von Schlackensteinen durch höhere wirbellose Tiere (Makrozoobenthos). Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken e.V. Heft 4.

TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN FÜR WASSERBAUSTEINE (TLW), AUSGABE 1997.

TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN FÜR WASSERBAUSTEINE (TLW), AUSGABE 2003.

VILLWOCK, W. (1956): Beitrag zur Kenntnis der Tonnen- und Bodenfauna im Fahrwasserbereich des Emsmündungsgebietes. Diplomarbeit, Universität Hamburg.

ZANKE, U. (2002): Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer, Parey-Verlag, Berlin.

## **Anhang**

## Anhang A1

### Hinweise zu Tiefen- und Höhenangaben

Bei der Beschreibung der Strombauwerke in Kapitel 3 wurden bei den Höhen- und Tiefenangaben bestimmte Annahmen zugrunde gelegt, da es sich um abstrakte Darstellungen ohne räumlichen Bezug handelt. Die Annahmen sind an die tatsächlichen Verhältnisse im Elbe-Ästuar angelehnt.

Es handelt sich um folgende Annahmen:

- Das Kartennull, KN (definiert durch das örtliche mittlere Springtideniedrigwasser) liegt bei ca. 0,3 m unterhalb des mittleren Tideniedrigwassers
- Der Tidehub beträgt ca. 3 m
- Damit liegt das MTnw bei ca. KN +0,3 m und das MThw bei ca. KN +3,3 m

In den Abbildungen sind sowohl Kartennull als auch MThw und MTnw eingezeichnet.

Für verschiedene Aussagen ist jedoch der Bezug zu den Wasserständen wichtiger als der Bezug zu KN, deshalb nachfolgende „Umrechnungen“.

In den Tabellen sind die Höhen- und Tiefenangaben bezüglich Kartennull angegeben. In der Endversion des Berichts sollen sie auch bezüglich MTnw und MThw angegeben werden. Aufgrund der oben getroffenen Annahmen sind die Angaben einfach übertragbar (siehe nachfolgende Tabellen):

**Tabelle A1-1: Höhen- und Tiefenangaben bezogen auf KN (aufgrund der oben aufgeführten Annahmen)**

Angabe bzgl. KN	Angabe bzgl. MTnw	Angabe bzgl. MThw
KN -10m	MTnw -10,3m	
KN -8m	MTnw -8,3m	
KN -6m	MTnw -6,3m	
KN -4m	MTnw -4,3m	
KN -2m	MTnw -2,3m	MThw -,3m
KN	MTnw -0,3m	MThw -3,3m
KN +2m	MTnw +1,7m	MThw -1,3m
KN +4m	MTnw +3,7m	MThw +0,7m
KN +6m		MThw +2,7m
KN +8m		MThw +4,7m

**Tabelle A1-2: Höhen- und Tiefenangaben bezogen auf MTnw (aufgrund der oben aufgeführten Annahmen)**

Angabe bzgl. MTnw	Angabe bzgl. MThw	Angabe bzgl. KN
MTnw -10m		KN -9,7m
MTnw -8m		KN -7,7m
MTnw -6m		KN -5,7m
MTnw -4m		KN -3,7m
MTnw -2m	MThw -5m	KN -1,7m
MTnw	MThw -3m	KN +0,3m
MTnw +2m	MThw -1m	KN +2,3m
MTnw +3m	MThw	KN +3,3m
MTnw +4m	MThw +1m	KN +4,3m
	MThw +3m	KN +6,3m
	MThw +5m	KN +8,3m

## Anhang A2

### **Hinweise zu den Kartenausschnitten der Abbildungen A2-1 bis A2-12**

Die Farbgebung in den Kartenausschnitten der Abbildungen A2-1 bis A2-12 entspricht nicht der Farbgebung in der Kopfleiste der Abbildungen. In den Kartenausschnitten ist das Vorland in grün, die Wattfläche in gelb, die Fahrrinne in dunkelblau und alle übrigen Wasserflächen in hellblau dargestellt. Unterschiedliche Wassertiefen werden in den Kartenausschnitten nicht farblich differenziert.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils der Ist-Zustand der Niveauflächenverteilung (Stand: 2002) sowie die Flächenänderungen des Fallbeispiels für die beiden Varianten für den jeweiligen Gewässerabschnitt dargestellt. Ein Datenpunkt stellt dabei jeweils die Flächengröße eines Höhen-/Tiefenbereichs von 0,5 m für den jeweiligen Gewässerabschnitt dar. Der x-Wert zeigt dabei die unterste Bereichsgrenze, d. h., der Datenpunkt z. B. beim x-Wert 5,0 zeigt die Flächengröße der Niveaufläche für den Bereich zw. KN –4,5 m und KN –5 m an. In den Diagrammen sind Tabellen zu den Flächenänderungen der Fallbeispiele eingefügt.

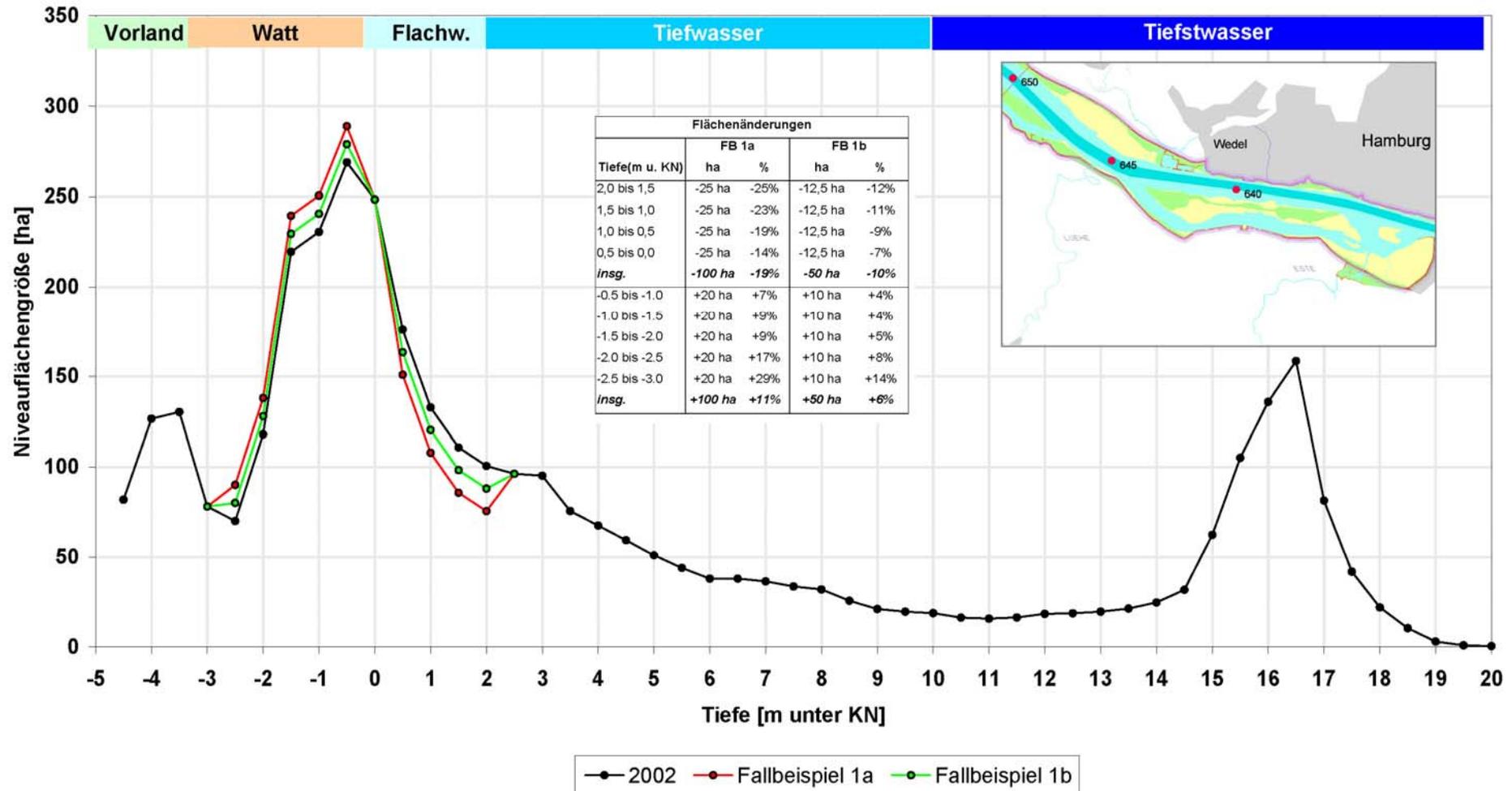


Abbildung A2-1: Abschnitt III, Fallbeispiel 1: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser (FB 1a: Veränderung von 100 ha, FB 1b: Veränderung von 50 ha)

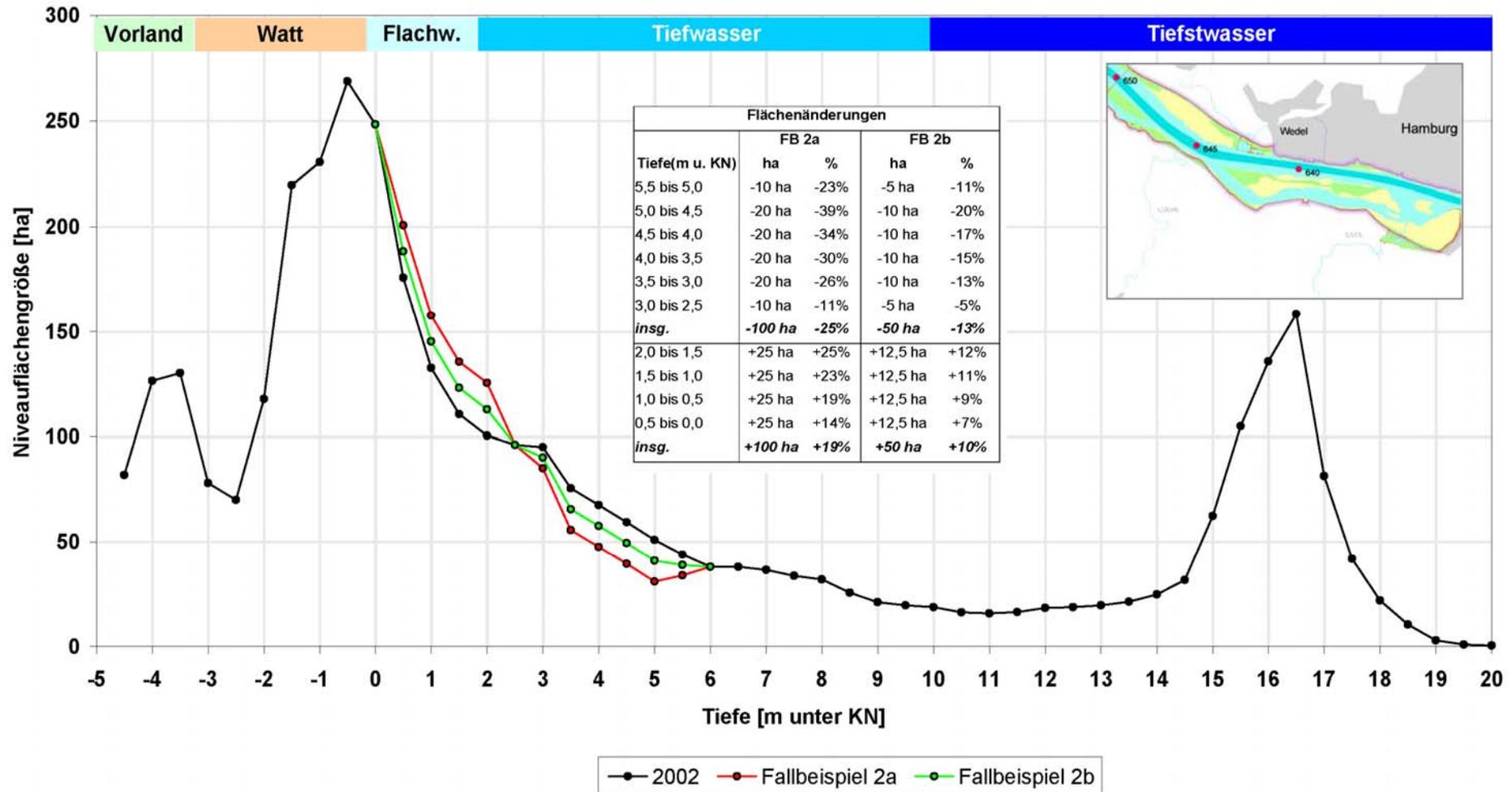


Abbildung A2-2: Abschnitt III, Fallbeispiel 2: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser (FB 2a: Veränderung von 100 ha, FB 2b: Veränderung von 50 ha)

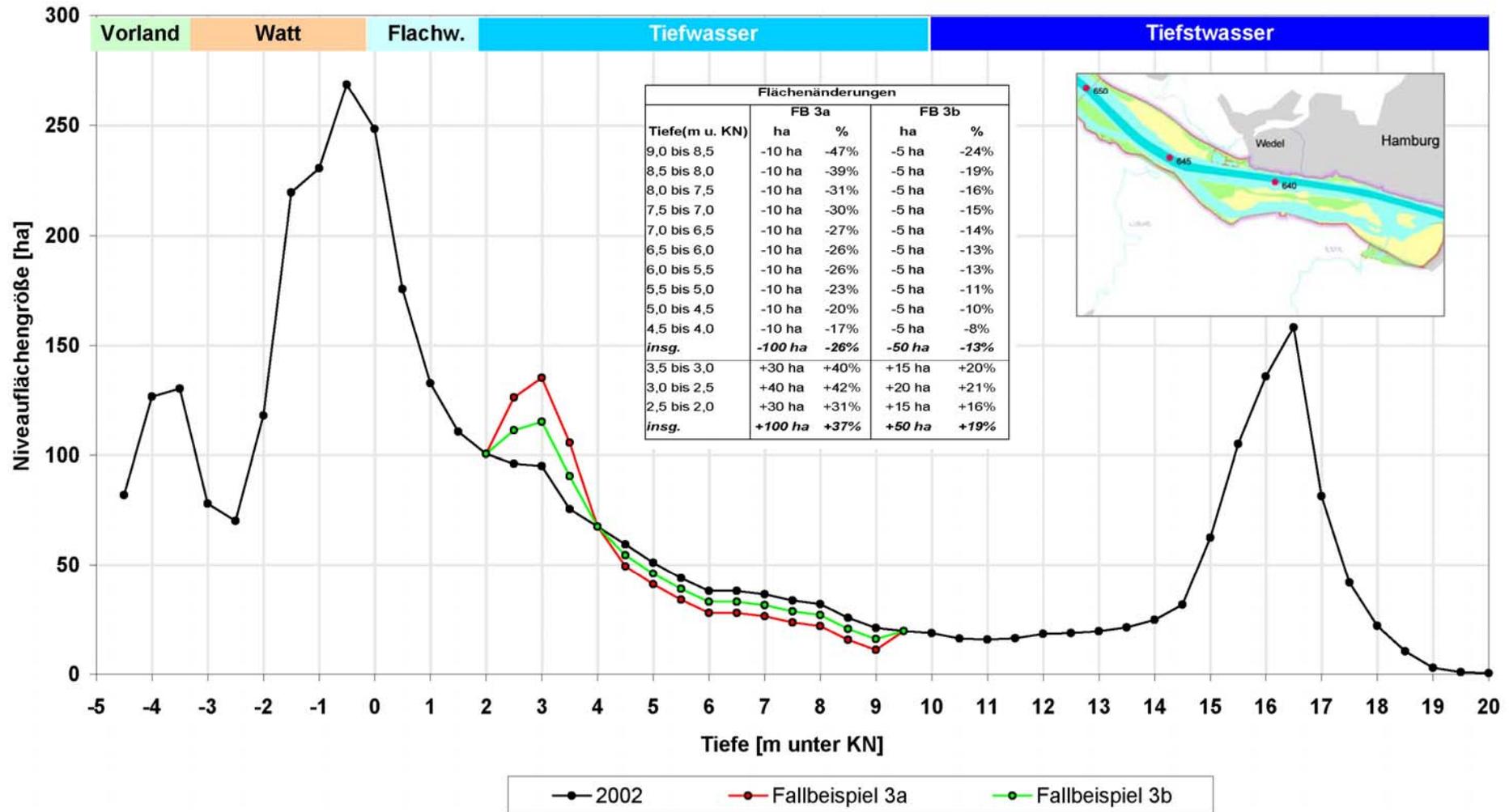


Abbildung A2-3: Abschnitt III, Fallbeispiel 3: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser (FB 3a: Veränderung von 100 ha, FB 3b: Veränderung von 50 ha)

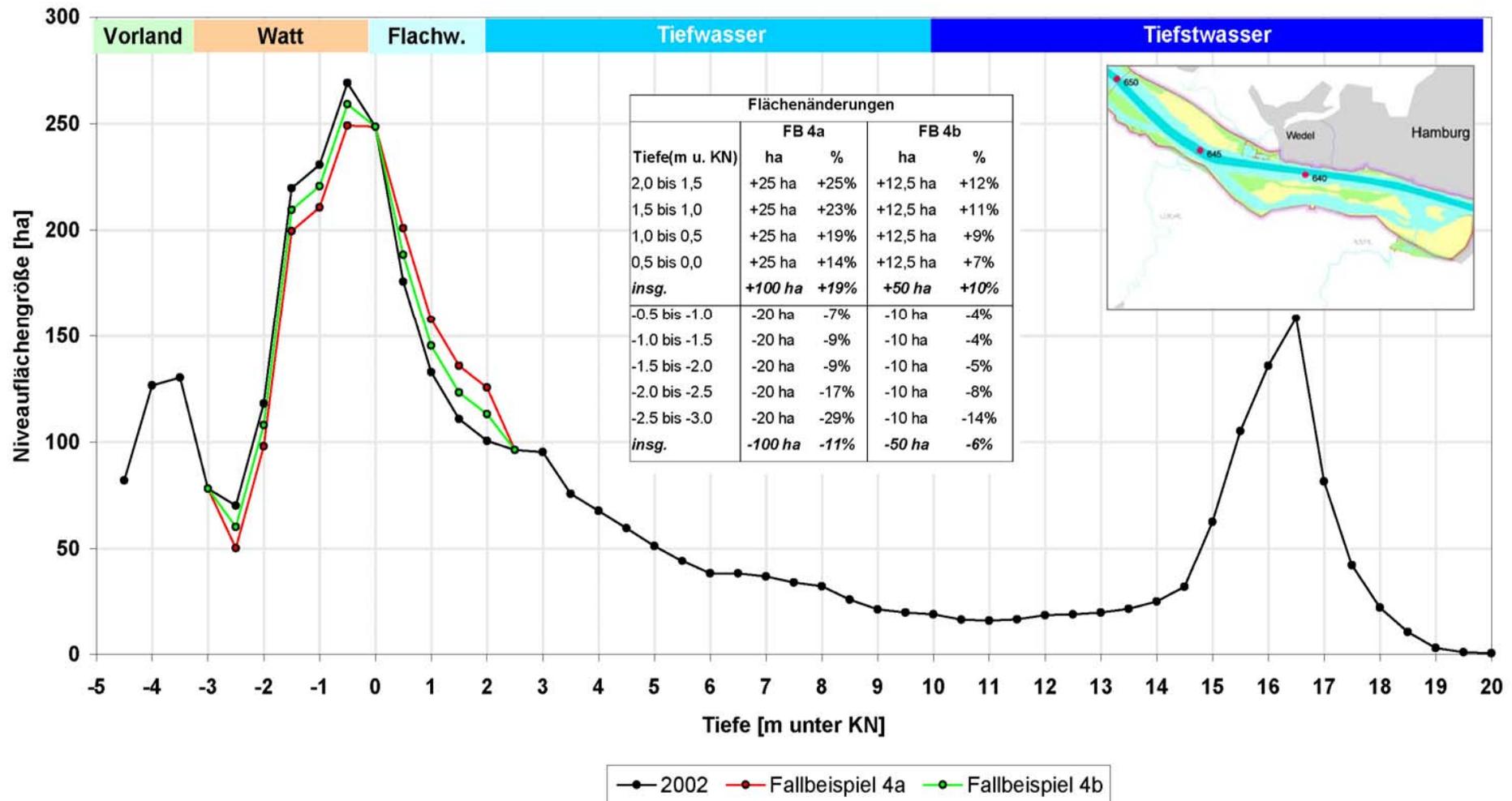


Abbildung A2-4: Abschnitt III, Fallbeispiel 4: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt (FB 4a: Veränderung von 100 ha, FB 4b: Veränderung von 50 ha)

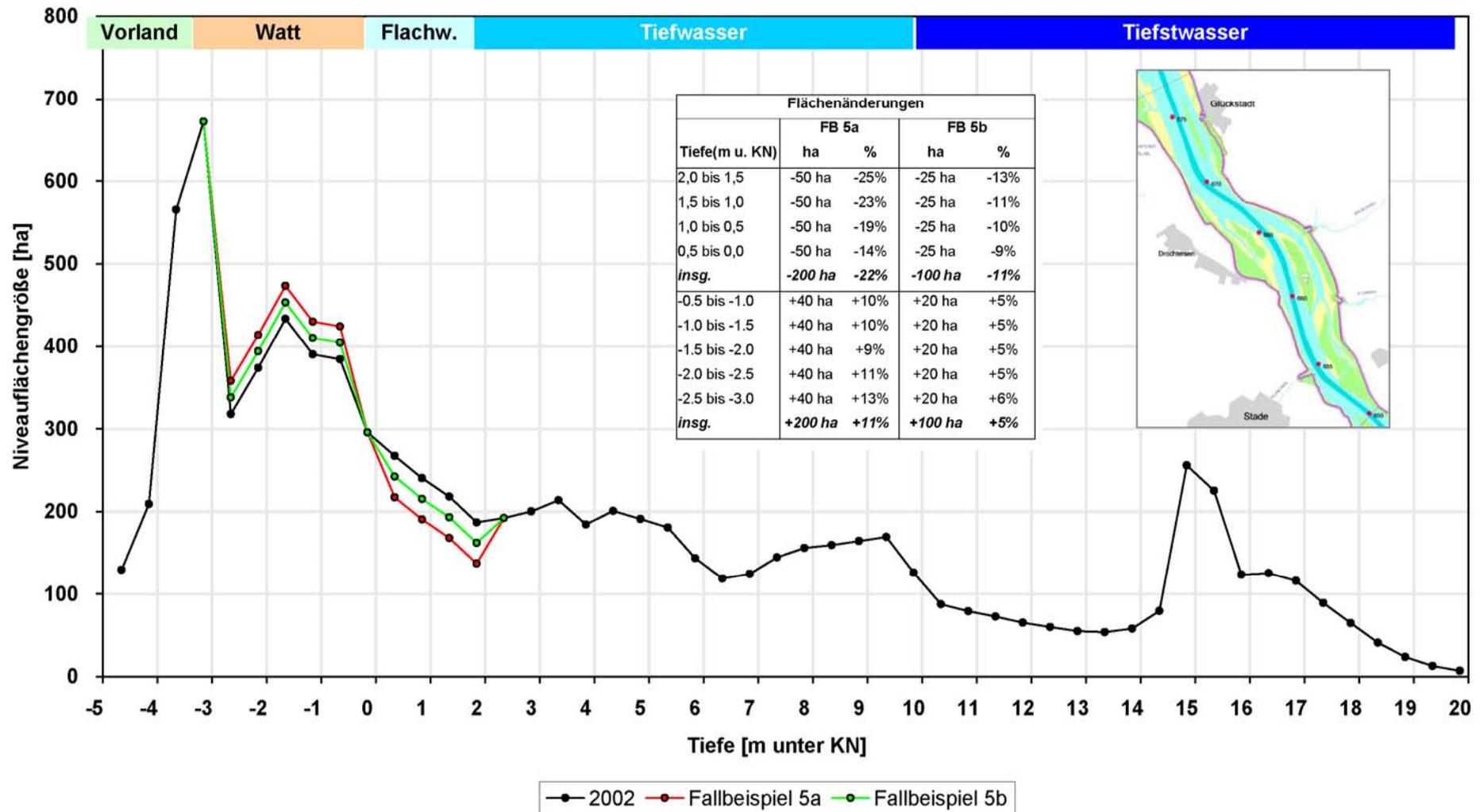


Abbildung A2-5: Abschnitt IV, Fallbeispiel 5: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser (FB 5a: Veränderung von 200 ha, FB 5b: Veränderung von 100 ha)

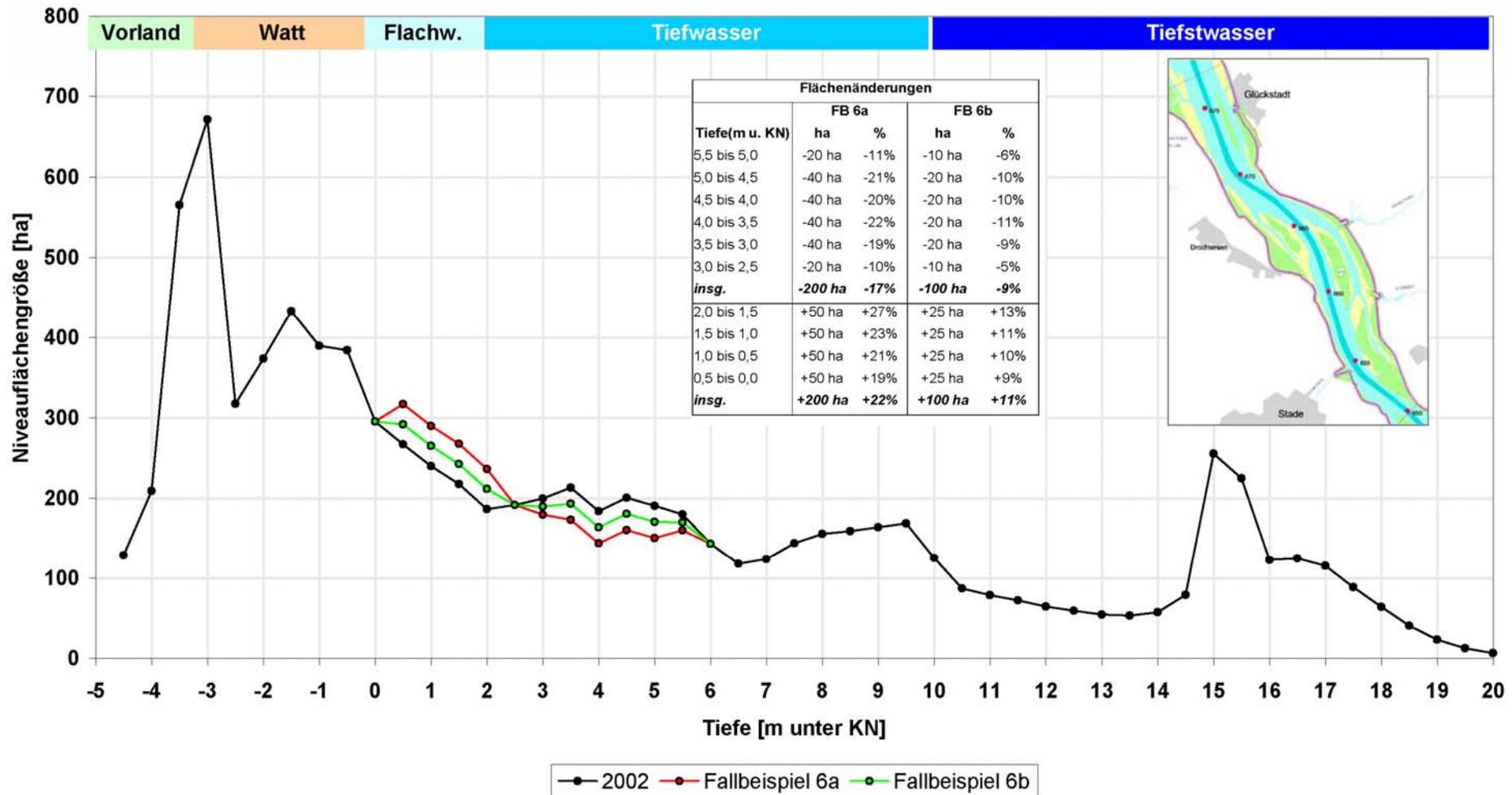


Abbildung A2-6: Abschnitt IV, Fallbeispiel 6: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser (FB 6a: Veränderung von 200 ha, FB 6b: Veränderung von 100 ha)

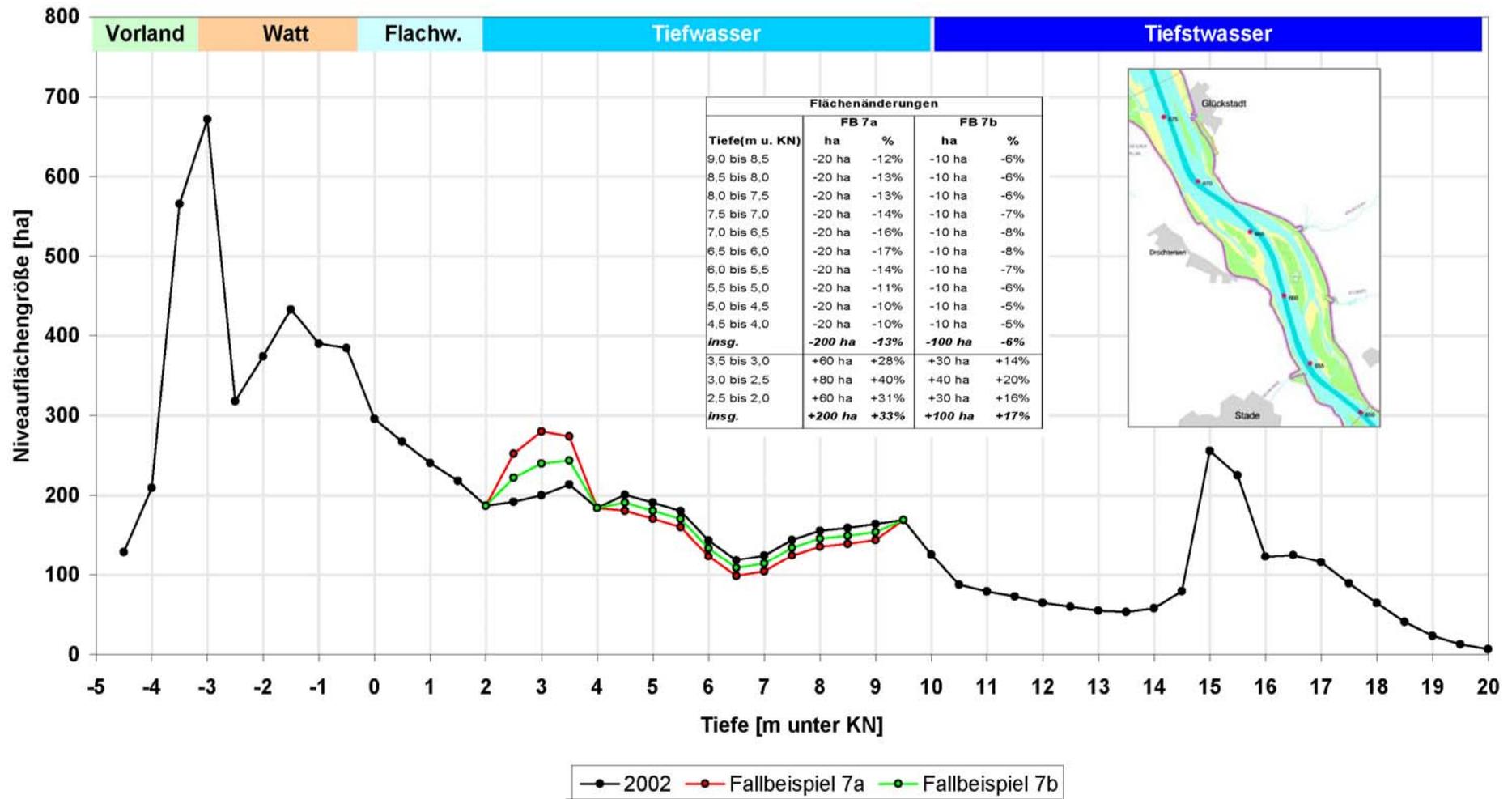


Abbildung A2-7: Abschnitt IV, Fallbeispiel 7: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser (FB 7a: Veränderung von 200 ha, FB 7b: Veränderung von 100 ha)

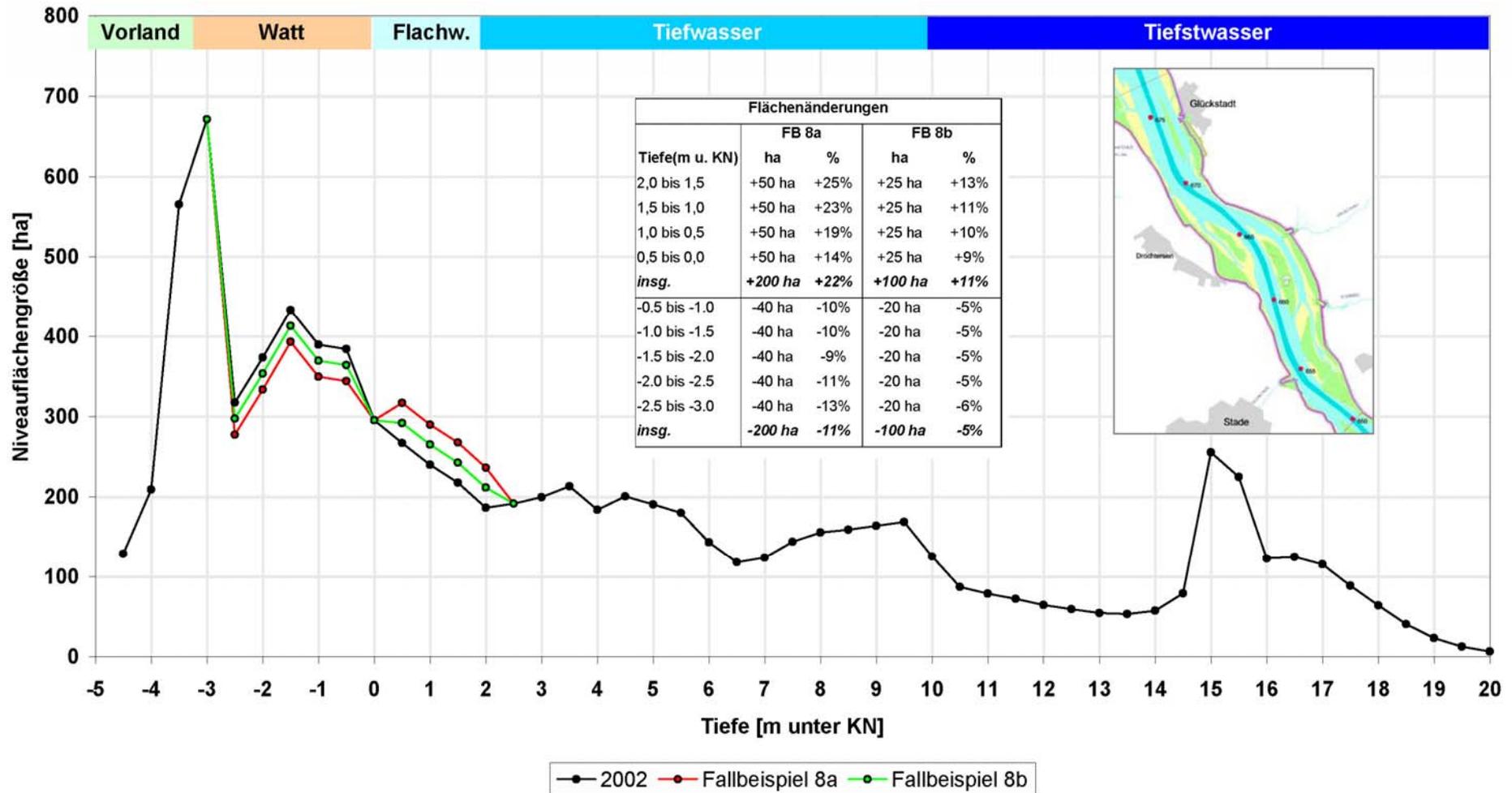


Abbildung A2-8: Abschnitt IV, Fallbeispiel 8: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt (FB 8a: Veränderung von 200 ha, FB 8b: Veränderung von 100 ha)

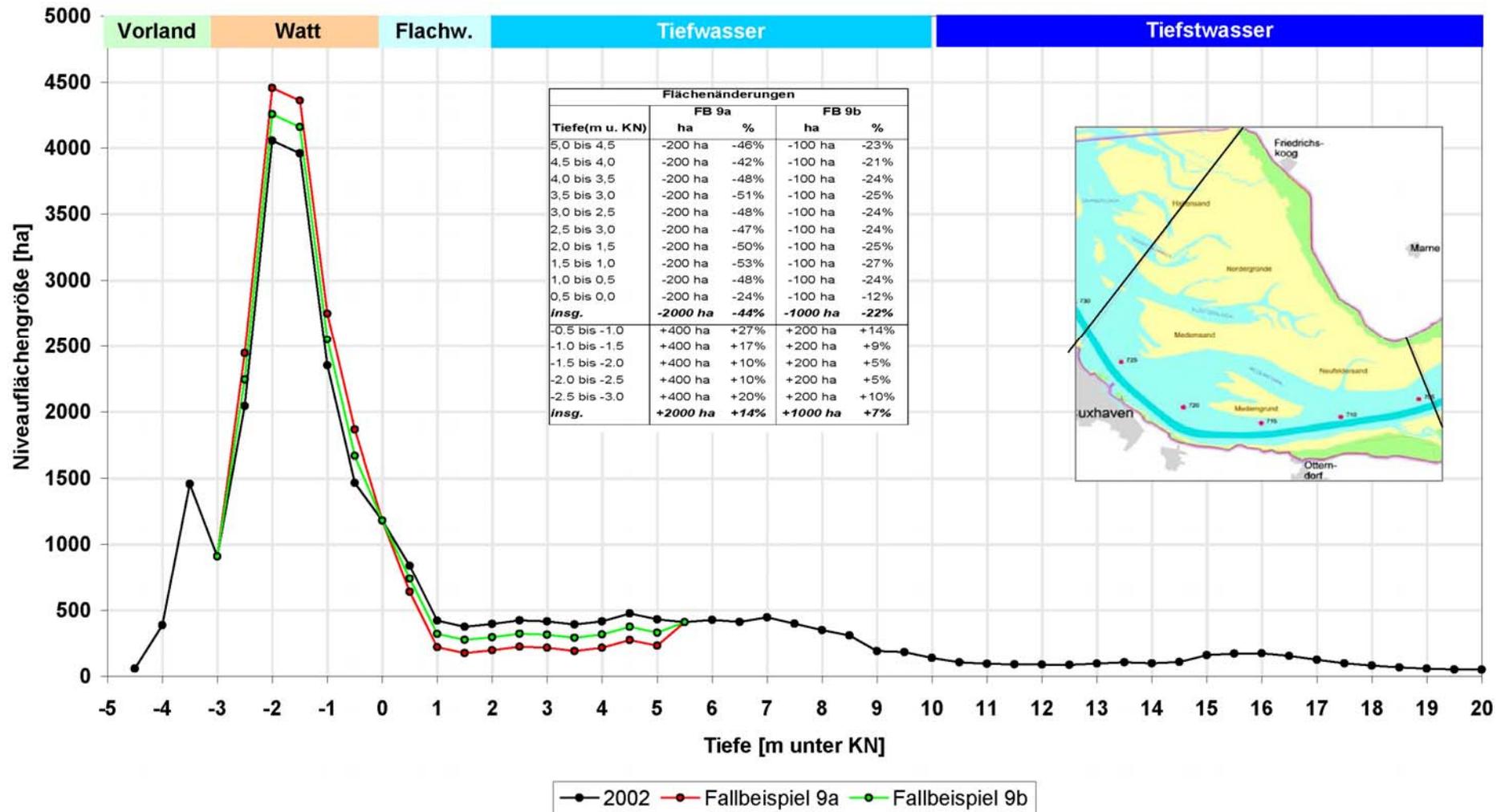


Abbildung A2-9: Abschnitt VI, Fallbeispiel 9: Zunahme von Watt/Abnahme von Flachwasser und flachem Tiefwasser (FB 9a: Veränderung von 2000 ha, FB 9b: Veränderung von 1000 ha)

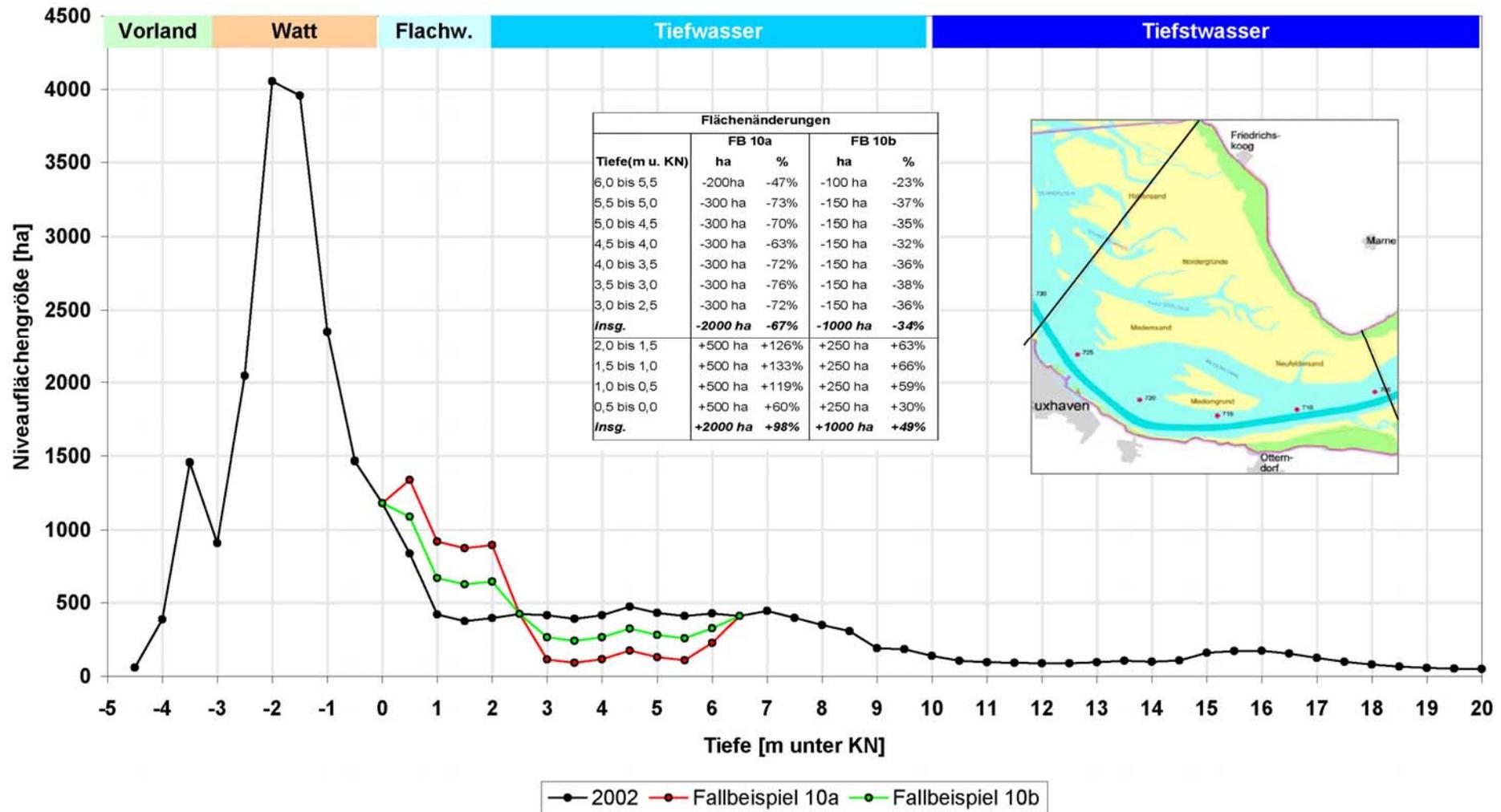


Abbildung A2-10: Abschnitt VI, Fallbeispiel 10: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von flachem Tiefwasser (FB 10a: Veränderung von 2000 ha, FB 10b: Veränderung von 1000 ha)

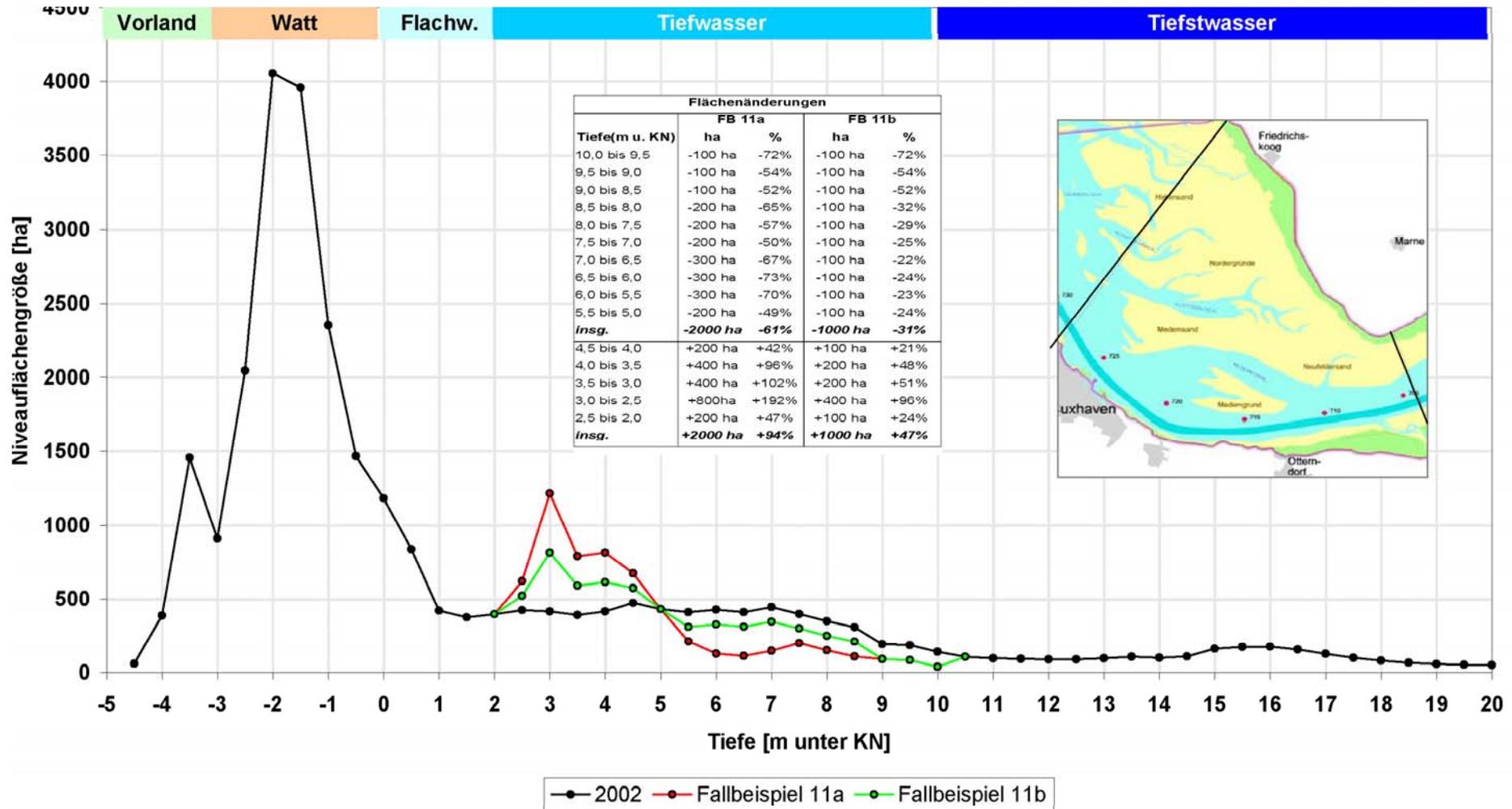


Abbildung A2-11: Abschnitt VI, Fallbeispiel 11: Zunahme von flachem Tiefwasser/Abnahme von tiefem Tiefwasser (FB 11a: Veränderung von 2000 ha, FB 11b: Veränderung von 1000 ha)

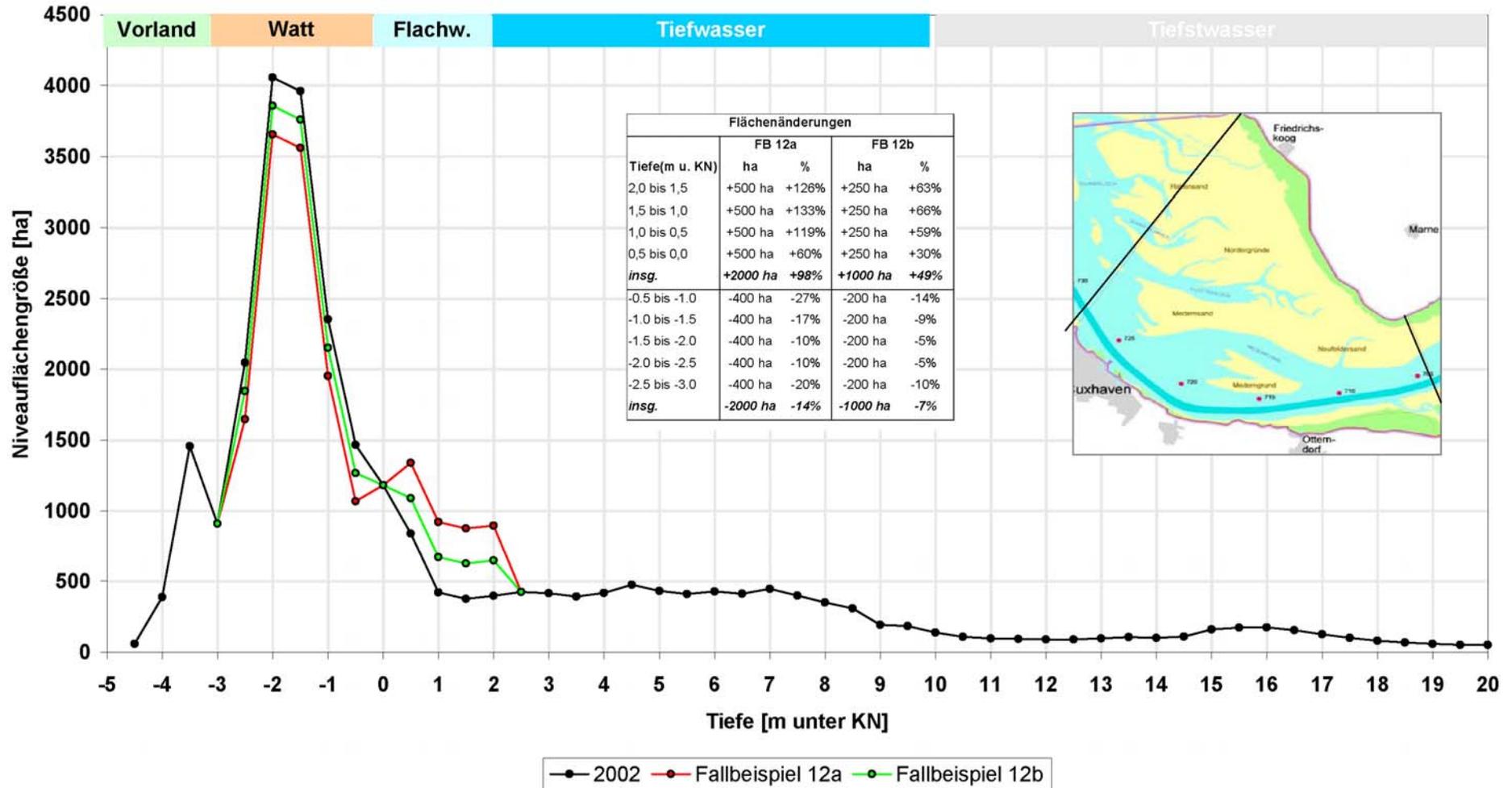


Abbildung A2-12: Abschnitt VI, Fallbeispiel 12: Zunahme von Flachwasser/Abnahme von Watt (FB 12a: Veränderung von 2000 ha, FB 12b: Veränderung von 1000 ha)

