

Christian PORSCHE*, Hendrik SCHUBERT & Uwe SELIG

*Universität Rostock, Institut für Biowissenschaften, Albert-Einstein-Straße 3, 18051 Rostock
christian.porsche@uni-rostock.de

Rezente Verbreitung submerser Makrophyten in den inneren Küstengewässern der deutschen Ostseeküste

Recent distribution of submerged macrophytes in inner coastal waters of the German Baltic Sea

Abstract

Submerged vegetation of inner coastal waters of the German Baltic Sea was analysed from 1999 to 2007. 108 transects in 23 water bodies were investigated and 28 species, including seven charophyte species, were documented. The depth limit for submerged vegetation varied between 0.5 m and 5.3 m in the coastal waters. In addition to the vegetation salinity, secchi depth and chlorophyll concentration of coastal waters were evaluated.

The results show a geographical distribution depending on the salinity along the German Baltic Coast. The recent distribution is lower than the ecophysiological potential of species (salinity tolerance) and historical description. The eutrophication of coastal waters affects a lower depth limit of submerged vegetation and a loss of species in the coastal waters.

Keywords: charophytes, angiosperms, coastal waters, salinity, Baltic Sea, eutrophication, distribution

1 Einführung und Zielsetzung

Durch ihre postglaziale Genese ist die deutsche Ostseeküste durch eine große Zahl innerer Küstengewässer geprägt. Je nach Intensität des Wasseraustausches mit der vorgelagerten Ostsee weisen diese Gewässer einen mehr oder weniger ausgeprägten Salinitätsgradienten auf, der wiederum die Gewässerflora und -fauna entscheidend beeinflusst.

Flora und Fauna der inneren Küstengewässer wurden bis 2000 nur sporadisch und punktuell im Rahmen von vereinzelt Forschungsanstrengungen untersucht. Erst mit Inkraftsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) erfolgte eine schrittweise Aufnahme von Benthosuntersuchungen in die Monitoringprogramme der Länder. Trotzdem ist für einzelne Gebiete eine sehr gute Datengrundlage vorhanden, so beispielsweise für die Darß-Zingster Boddenkette (DZBK), in der u. a. durch LINDNER (1972), BEHRENS (1982) und YOUSEF & SCHUBERT (2001) flächendeckende Erfassungen durchgeführt wurden. BLÜMEL et al. (2002) ergänzten

diese Datengrundlage mit einer umfangreichen Analyse aller verfügbaren Literatur- und Herbarangaben zur submersen Vegetation der inneren Küstengewässer der mecklenburg-vorpommerschen Ostseeküste. Leider ist die Situation für Schleswig-Holstein nicht annähernd so günstig. Eine Studie von MERTENS & SELIG (2007) zu historischen Angaben von submersen Makrophyten der inneren Küstengewässer Schleswig-Holsteins erbrachte nur wenige Belege. Auch kontinuierliche Freilanduntersuchungen über einen längeren Zeitraum sind nur sehr vereinzelt nachweisbar.

Um eine einheitliche Datenbasis für die Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die inneren Küstengewässer zu erhalten, erfolgte ab 1999 eine flächendeckende Kartierung der submersen Vegetation. Diese Arbeiten begannen 1999 am Salzhaff (STEINHARDT 2001) und wurden 2000 bis 2003 auf weitere Küstengewässer von Mecklenburg-Vorpommern ausgedehnt (SCHUBERT et al. 2003). Ab 2004 wurden Arbeiten auch für die inneren Küstengewässer Schleswig-Holsteins durchgeführt (SELIG et al. 2006). Parallel zu den noch laufenden Arbeiten zur Erarbeitung eines Bewertungskonzeptes erfolgten ab 2004 Praxistests der vorläufigen Klassifikationssysteme durch die Landesämter von Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, wodurch weitere Daten zur submersen Vegetation geliefert wurden (FÜRHAUPTER et al. 2004 bis 2007). Dadurch existiert nun ein nahezu einheitlicher Datensatz zur submersen Vegetation aller inneren Küstengewässer Deutschlands, in dem jedes dieser Gewässer mit mehreren erfassten Jahren vertreten ist.

Im Rahmen der vorliegenden Publikation soll nun eine Analyse dieses Datensatzes hinsichtlich der geographischen Verbreitung, Tiefenverbreitung sowie Salinitätstoleranz der einzelnen Arten erfolgen. Diese Analyse stellt den Grundstock für die Erstellung von Angaben zur „potenziellen natürlichen Vegetation“ dar, die neben dem sogenannten „Referenzzustand“ einen wichtigen Eichpunkt in der ökologischen Bewertung repräsentiert.

2 Material und Methoden

2.1 Auswertung der Salinitäten, Sichttiefen und Chlorophyll a-Gehalte

Zur Charakterisierung der Untersuchungsgewässer wurden die Parameter Salinität, Sichttiefe und Chlorophyll a (Chl a)-Gehalt herangezogen. Die Daten selbst wurden im Zuge der Messprogramme der Landesämter Mecklenburg-Vorpommerns und Schleswig-Holsteins erhoben und zur Verfügung gestellt. Zur Verwendung kamen die Werte der Jahre 2000 bis 2005, die mittels explorativer Datenanalyse ausgewertet wurden. Während für die Salinität der gesamte vorhandene Datensatz berücksichtigt wurde, kamen hinsichtlich Sichttiefe und Chl a-Gehalt nur die Daten aus den Sommermonaten (Mai bis September) zum Einsatz, da außerhalb dieses Zeitraumes von einer energetischen Limitation des Phytoplanktonwachstums ausgegangen werden muss. Für die Analyse wurde die Software SPSS (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) verwendet.

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Herkunft der verwendeten Salinitäts- und Sichttiefenmessungen sowie die im Folgenden verwendeten Abkürzungen. Für die Orther Bucht (OB) existieren keine Daten, da dieses Gewässer in den Monitoringprogrammen nicht regelmäßig beprobt wurde. Auch für die Untere Trave (UT) existierte kein vollständiger Datensatz, hier wurde nur die Salinität gemessen. Weitere Einschränkungen müssen für die Kieler Innenförde (KIF), die Unterwarnow

(UW) und den Kleinen Jasmunder Bodden (KJB) gemacht werden – hier existieren zwar Daten, jedoch steht die Erfassung und Auswertung dieser Daten noch aus.

Tab. 1 Verzeichnis der untersuchten Gewässer mit festgelegter Abkürzung, Angabe des Wasserkörper-Codes und der Messstationen des Monitoringprogrammes der Landesämter.

Gewässer	Abkürzung	Wasserkörper-Code	Messstation
Äußere Schlei / Schleimünde	AS	9610.07.02	S5
Achterwasser	AW	WP_17	P48
Barther Bodden	BA	WP_09	DB6
Bodstedter Bodden	BO	WP_08	DB10
Breetzer Bodden	BR	WP_11	RB6
Flensburger Binnenförde	FF	9610.07.01	KFF2
Greifswalder Bodden	GB	WP_13	GB19
Kieler Innenförde	KIF	9610.09.01	-
Kleiner Jasmunder Bodden	KJB	WP_14	-
Großer Jasmunder Bodden	GJB	WP_11	RB9
Grabow	GR	WP_09	DB2
innere Schlei	IS	9610.07.04	S2
Kubitzer Bodden	KB	WP_11	KB90
Kleines Haff	KH	OD_01	KHM
mittlere Schlei	MS	9610.07.03	S3
Orther Bucht	OB	9610.09.02	-
Peenestrom	PS	WP_16	P42
Saaler Bodden	SB	WP_07	DB16
Salzhaff	SH	WP_03	SH2
Strelasund	SS	WP_12	S66
Untere Trave	UT	9610.10.03	Schlutup
Unterwarnow	UW	WP_05	-
Wiecker Bodden	WI	WP_11	RB2
Wismarbucht	WB	WP_02	WB3

2.2 Untersuchungen der submersen Vegetation

In Tab. 2 erfolgte eine Aufstellung der Datensätze, die in einer Einheitsdatenbank vereinigt wurden um eine flächendeckende Analyse zu ermöglichen. Abb. 1 veranschaulicht die mit diesen Datensätzen erreichte Flächendeckung. Das vorherrschende Weichsubstrat der inneren Küstengewässer bedingt, dass nahezu alle hier vorkommenden Pflanzen mit Wurzeln bzw. wurzelähnlichen Rhizoiden ausgestattet sind. Ausnahmen davon bilden Epiphyten und Driftalgen, die, da nicht in jedem Fall mit ausreichender zeitlicher Auflösung erfasst, im Rahmen dieser Arbeit vorerst keine Beachtung fanden.

Tab. 2 Für die Vegetationsanalyse verwendete Datenbanken mit Projekt- und Gewässerbezeichnung, der Anzahl der untersuchten Transekte und den Untersuchungszeiträumen. Die Zuordnung der Abkürzungen zu den beprobten Gewässern ist in Tab. 1 aufgeführt.

Projekt	Gewässer	Transekte	Zeitraum	
			von	bis
Diplomarbeit STEINHARDT (2001)	SH	9	1999	1999
ELBO – Universität Rostock	BA, BO, BR, GB, GJB, PS, SB, SH, WB, WI	27	2001	2003
ÖKOBE – Universität Rostock	AW, KH, KW	19	2005	2005
Praxistest der Landesämter – durchgeführt durch MariLim	AS, BA, BO, FF, GB, , GJB, GR, IS, KIF, KJB, KB, MS, OB, PS, SB, SH, SS, UT, UW, WB	61	2004	2007
LAWA- Universität Rostock sowie Diplomarbeit MERTENS (2006)	AS, FF, MS, OB, UT	13	2004	2005
Gesamt	23	108	2001	2007

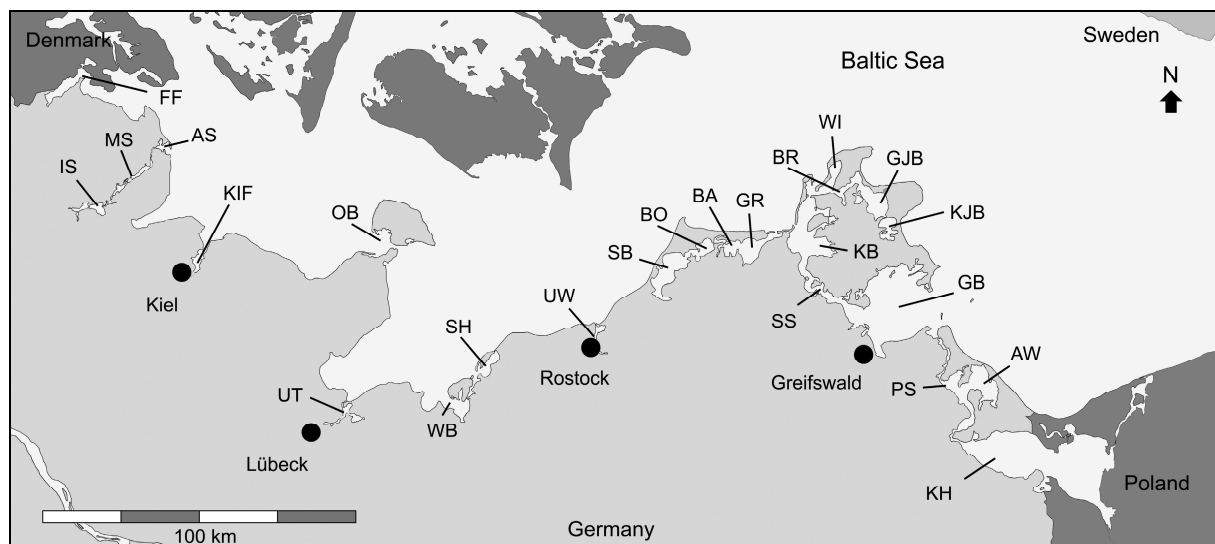


Abb. 1 Untersuchte innere Küstengewässer der Ostsee von 2000 bis 2007. Die Abkürzungen der Gewässer sind in Tab. 1 aufgelistet.

Die Beprobungen erfolgten als Transektkartierung wie in SCHUBERT et al. (2003) beschrieben. Im Untersuchungsgebiet wurde ein Transekt vom Ufer bis zur unteren Verbreitungsgrenze gelegt und mittels GPS (Global Positioning System) markiert. Die submerse Vegetation wurde entlang dieses Transektes in den Tiefenstufen 0,25 m, 0,5 m, 0,75 m, 1,00 m, 1,50 m und 2,00 m sowie jeden weiteren Tiefenmeter bis zur unteren Verbreitungsgrenze erfasst, wobei alle submersen sowie unter der Mittelwasserlinie wurzelnden Makrophyten berücksichtigt wurden. Die Anzahl und Größe der Beprobungsflächen in den jeweiligen Tiefenstufen variierte zwischen den einzelnen Projekten. Im ELBO-Projekt und durch STEINHARDT (2001) wurde jeweils eine geschlossene Fläche von 4 m² je Tiefenstufe untersucht, während bei MERTENS (2006) und im ÖKOBE-Projekt vier Flächen von je 1 m² pro Tiefenstufe untersucht wurden. Im Praxistest durch die Firma MariLim wurden viermal je 1 m² (2004-2005) bzw. fünfmal je 1 m² pro Tiefenstufe (2006-2007) beprobt. Die Bedeckung der Unter-

suchungsfläche durch die vorgefundenen Pflanzenarten wurde nach der Skala von BRAUN-BLANQUET (1964) abgeschätzt; lediglich die Daten von FÜRHAUPTER et al. (2007) basieren auf Prozentangaben.

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung der Salinitäten, Sichttiefen und Chlorophyll a-Gehalte

Wie aus Abb. 2A ersichtlich, weisen die Stationen deutlich unterschiedliche Salinitäten auf. Dabei ist eine dem Salinitätsgradienten der vorgelagerten Ostsee entsprechende Abnahme der Salinität von den westlichen Küstengebieten in Richtung der östlichen Gebiete zu erkennen. Dieser Gradient begrenzt jedoch lediglich die maximal erreichbare Salinität des jeweiligen Gewässers. Da die Mehrzahl der Küstengewässer durch Süßwasserzuflüsse beeinflusst wird, ist meist noch ein Gradient entsprechend der Lage der Messstation zum Zufluss bzw. der Öffnung zur Ostsee zu beobachten. So steigt z. B. die Salinität von etwa 7 PSU in der inneren Schlei (IS) auf ca. 14 PSU im Bereich der äußeren Schlei (AS).

Die sommerlichen Sichttiefen variieren in den inneren Küstengewässern im Median von ca. 0,25 m im Saaler und Barther Bodden (SB, BA) bis zu 4,35 m im Salzhaff (SH) (Abb. 2B). Auffallend ist hier eine sehr gute Korrelation zwischen Salzgehalt und Sichttiefe. Dabei ist vor allem in den Gewässern mit einem intensiven Wasseraustausch mit der Ostsee eine hohe Variabilität der Sichttiefe – zum Teil von mehr als einem Meter – zu beobachten.

Der Chl a-Gehalt ist umgekehrt proportional zu beiden vorab genannten Parametern (Abb. 2C). Die niedrigste mediane Chl a -Konzentration wurde mit ca. $2 \mu\text{g l}^{-1}$ im Salzhaff registriert; ein Gewässer mit vergleichsweise hohem Salzgehalt und hoher Sichttiefe. Die höchste mediane Chl a-Konzentration ($112 \mu\text{g l}^{-1}$) wurde dagegen im Saaler Bodden, einem trüben Gewässer niedriger Salinität, gemessen.

3.2 Auswertung der Vegetationsaufnahmen

3.2.1 Geographische Verbreitung

Zwischen 1999 und 2007 wurden insgesamt 25 Weichboden besiedelnde Makrophytenarten nachgewiesen (Tab. 3 bis 6). Unter diesen befanden sich sieben Characeenarten (Abb. 3): *Chara aspera* (Ca), *Chara baltica* (Cb), *Chara canescens* (Cc), *Chara horrida* (Ch), *Chara tomentosa* (Ct), *Lamprothamium papulosum* (Lp) und *Tolypella nidifica* (Tn). *C. baltica*, *C. canescens* und *C. aspera* weisen dabei eine sehr breite geographische Verbreitung auf. Diese drei Arten wurden in mehr als 10 der untersuchten Gewässer nachgewiesen. *Chara horrida* und *Chara tomentosa* wurden dagegen nur in der DZBK vorgefunden. Vorkommen von *Lamprothamium papulosum* und *Tolypella nidifica* waren auf Gewässer mit höheren Salinitäten beschränkt (Äußere Schlei, Orther Bucht sowie Wismarbuch und Salzhaff; einzelne Exemplare von *Tolypella nidifica* wurden allerdings 2006 auch im Kubitzer Bodden angetroffen). Die Orther Bucht auf Fehmarn erwies sich als das artenreichste Characeengewässer. Hier wurden sechs der sieben rezenten Arten angetroffen.

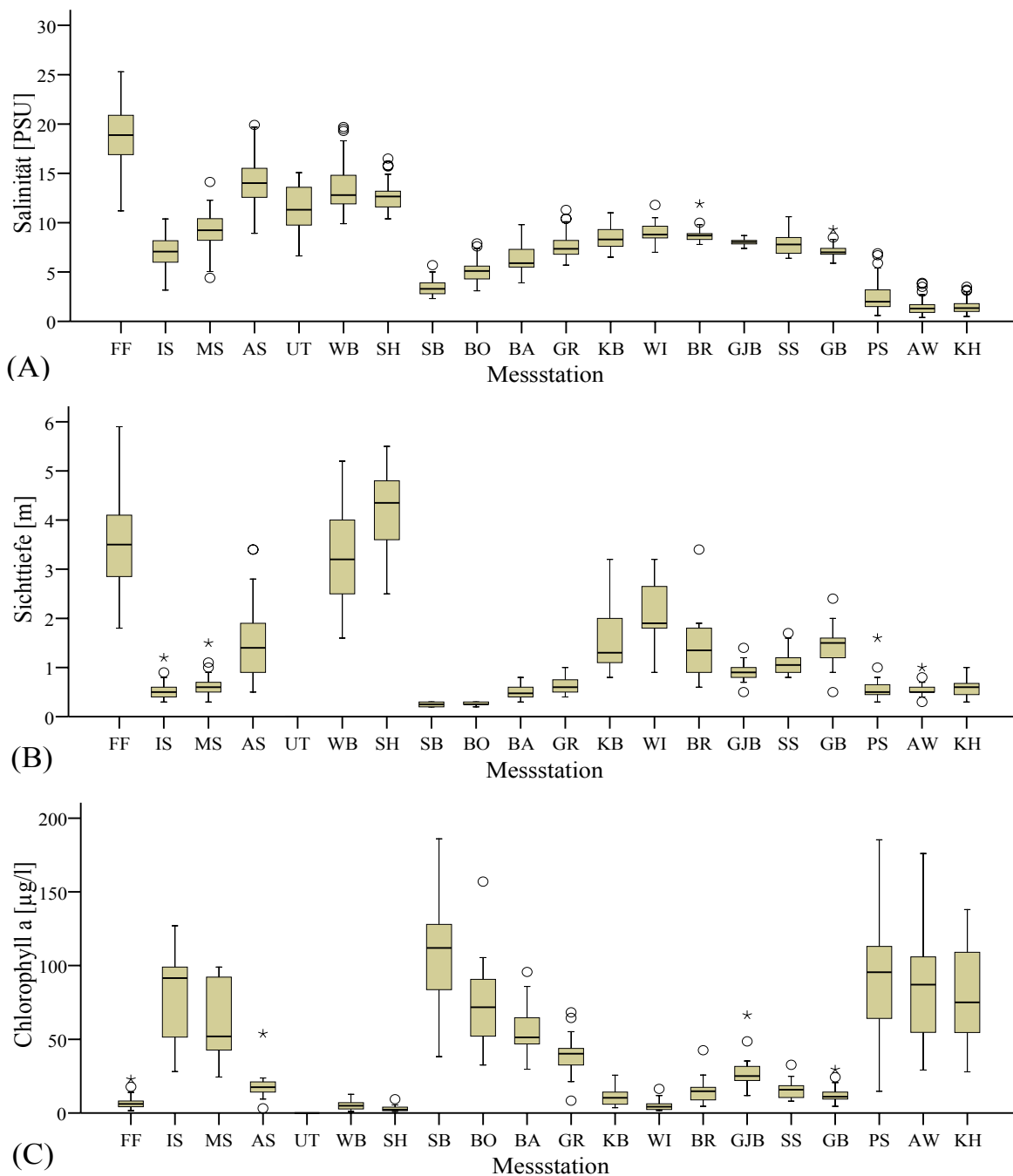


Abb. 2 Salinität (A), Sichttiefe (B) und Chl a Gehalt (C) der untersuchten Küstengewässer (Interquartilbereiche (25 bis 75 Perzentilwerte) = Box, Median = horizontale schwarze Linie; Standardabweichung = senkrechte schwarze Linien; Ausreißer = Kreise; Extremwerte = Sterne) – Abkürzung der Messstationen/Gewässer siehe Tab. 1

Von den submersen Angiospermen waren *Potamogeton pectinatus* und *Ruppia cirrhosa* die am weitesten verbreiteten Arten. Beide Arten wurden in 17 bzw. 18 Gewässern entlang der gesamten Ostseeküste vorgefunden (Abb. 4). *Najas marina* hingegen wurde nur in der DZBK sowie dem Greifswalder Bodden rezent angetroffen. Die Vorkommen der beiden Seegräser *Zostera marina* und *Zostera noltii* beschränkten sich auf Gewässer mit höheren Salinitäten. Limnische Arten traten vor allem im Bereich des Oderzufflusses auf: *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton perfoliatus* sowie *Potamogeton lucens* (Tab. 6). Die innere

Schlei und die Kieler Innenförde waren die artenärmsten Gewässer mit einer bzw. zwei submersen Arten (Tab. 3). In der Wismarbuchet bzw. im Salzhaff wurden mit 11 Arten die meisten Nachweise erbracht.

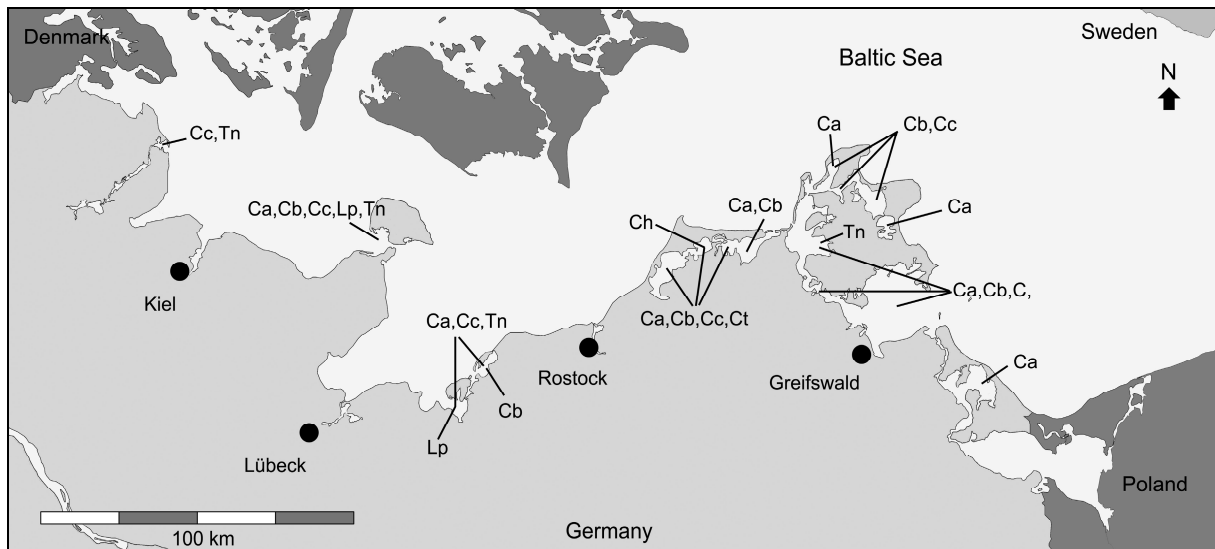


Abb. 3 Verbreitung von *Chara aspera* (Ca), *Chara baltica* (Cb), *Chara canescens* (Cc), *Chara horrida* (Ch), *Chara tomentosa* (Ct), *Lamprothamium papulosum* (Lp) und *Tolypella nidifica* (Tn) in den inneren Küstengewässern der Ostsee von 1999 bis 2007.

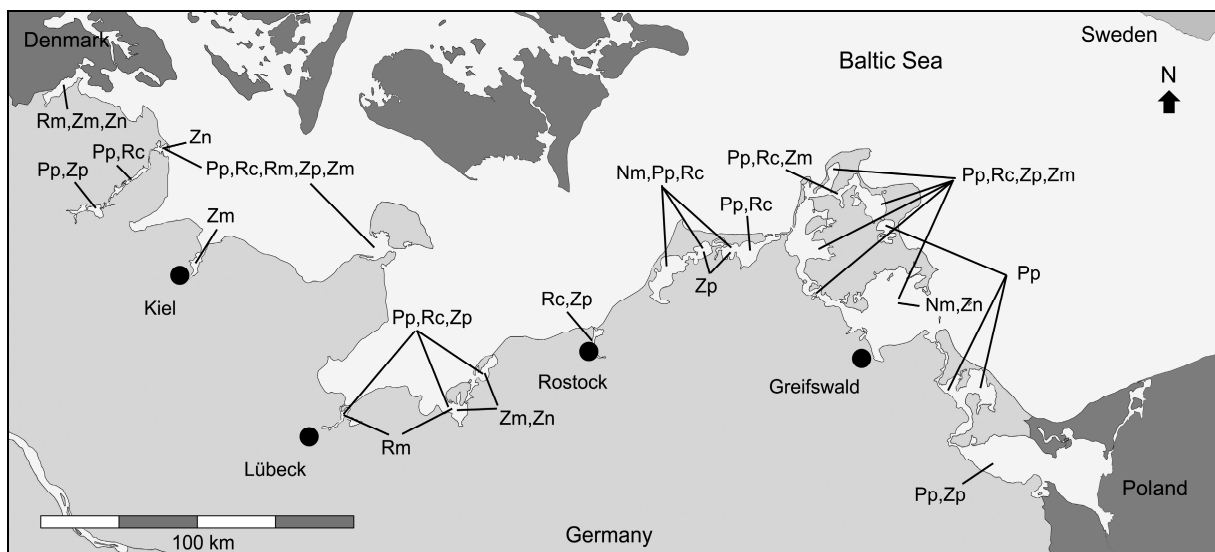


Abb. 4 Verbreitung von *Najas marina* (Nm), *Potamogeton pectinatus* (Pp), *Ruppia cirrhosa* (Rc), *Ruppia maritima* (Rm), *Zannichellia palustris* (Zp), *Zostera marina* (Zm) und *Zostera noltii* (Zn) in den inneren Küstengewässern der Ostsee von 1999 bis 2007.

3.2.2 Verbreitung der Arten in Abhängigkeit von der Salinität

Neben der geographischen Verbreitung wurde der Präsenzbereich hinsichtlich der Salinität erfasst. Dazu wurden die Salinitätsangaben mit den Kartierungsergebnissen verglichen und so die entsprechende Verbreitung der Arten über das 25 bzw. 75 Perzentil der Salinitätswerte der Gewässer berechnet (PORSCHKE 2007). Abb. 5 zeigt die Ergebnisse dieser Analyse. Stenöke Arten wie z. B. *Chara horrida* weisen eine geringe Salinitätsbandbreite auf, während euryöke Arten wie *Potamogeton pectinatus* nahezu den gesamten Salinitätsgradienten der Küstengewässer abdecken.

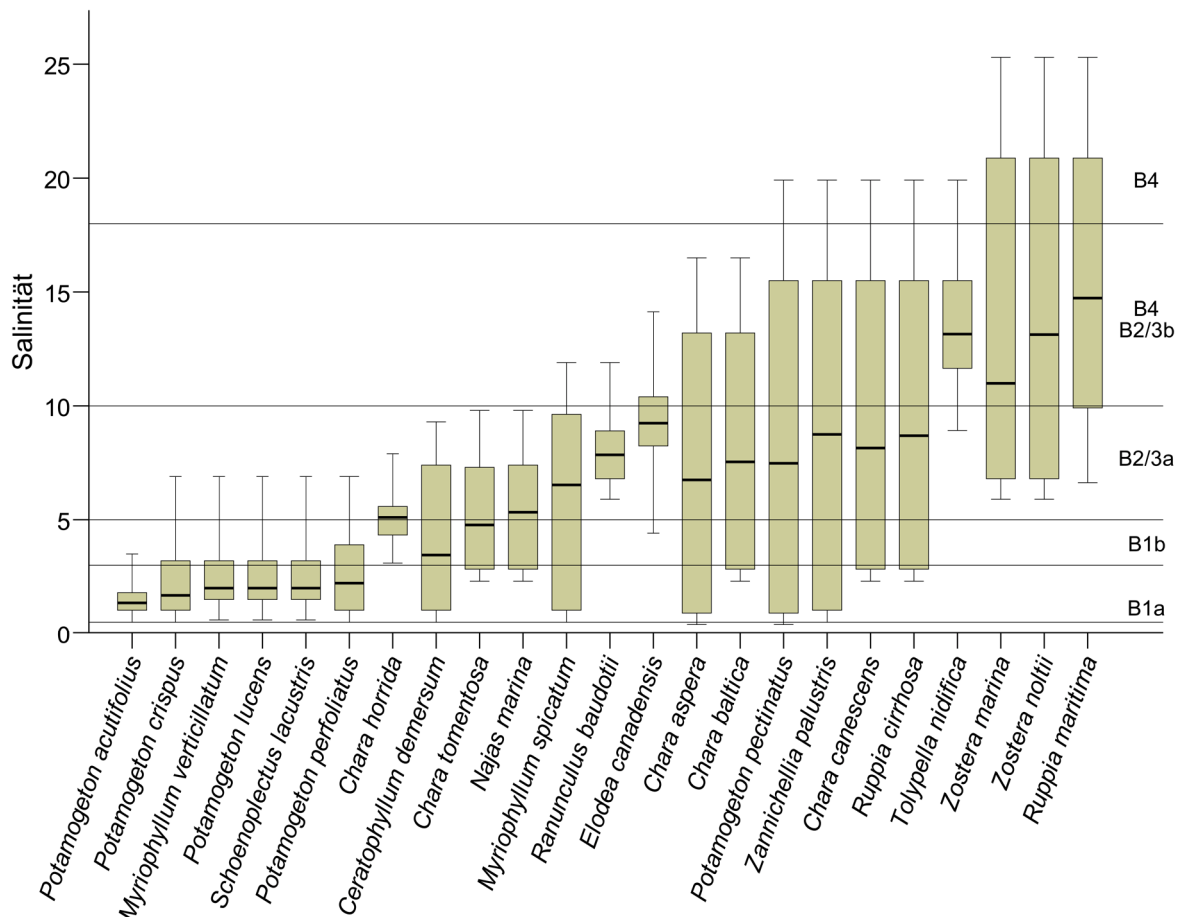


Abb. 5 Rezente Ausbreitung der Arten in Abhängigkeit der Salinität in den Küstengewässern, (Interquartilbereiche 25 bis 75 Perzentilwerte = Box, Median = dicke horizontale schwarze Linie innerhalb der Box, Standardabweichung = senkrechte schwarze Linien). Horizontale Linien kennzeichnen die Salinitätsgrenzen zwischen den Küstengewässertypen B1a, B1b, B2/3a, B2/3b, B4 (siehe SAGERT & SELIG 2008).

3.2.3 Tiefenverbreitung der Arten

Bei den Vegetationsaufnahmen wurde neben dem Artenspektrum auch die Tiefenverbreitung der Arten erfasst. Als maximale untere Verbreitungsgrenze einer Art wurde 5,7 m ermittelt; für *Zostera marina* in der Wismarbuch (Tab. 4). In diesem Gewässer wurde auch die maximale Tiefe für eine Characeenart mit 3 m nachgewiesen (*Tolypella nidifica*).

Der Hauptverbreitungsschwerpunkt der Vegetation befand sich in den meisten Gewässern bei Tiefen von 0,5 bis 1 m. Dies trifft vor allem für Küstengewässer mit einer mittleren Salinität unter 5 PSU zu. Das Verbreitungsspektrum der einzelnen Arten in den verschiedenen Gewässern ist in den Tab. 3 bis 6 aufgelistet.

Tab. 3 Tiefenverbreitung (in Meter) submerser Makrophyten in den inneren Küstengewässern Schleswig-Holsteins. Flensburger Binnenförde (FF), Äußere Schlei / Schleimünde (AS), mittlere Schlei (MS), innere Schlei (IS), Kieler Innenförde (KIF), Orther Bucht (OB), Untere Trave einschließlich Dassower See (UT).

Art	FF	AS	MS	IS	KIF	OB	UT
<i>Chara aspera</i>						0,25 - 1	
<i>Chara baltica</i>						0,5 - 1,5	
<i>Chara canescens</i>		0,25 - 1				0,25 - 1	
<i>Elodea canadensis</i>			1 - 1				
<i>Lamprothamnium papulosum</i>						0,5 - 1	
<i>Potamogeton pectinatus</i>		0,5 - 2	0,5 - 1,5	0,5 - 0,75		0,75 - 2	0,75 - 4
<i>Potamogeton perfoliatus</i>			1,2 - 1,2				
<i>Ruppia cirrhosa</i>		0,25 - 2,8	0,5 - 1,5			0,25 - 2	0,25 - 2,5
<i>Ruppia maritima</i>	0,5 - 1	0,25 - 2				0,25 - 1	0,5 - 2
<i>Tolypella nidifica</i>		0,5 - 1,5				0,75 - 2	
<i>Zannichellia palustris</i>		0,25 - 1,5		0,5 - 0,5		0,25 - 2	0,75 - 3
<i>Zostera marina</i>	1 - 4	0,25 - 2,8			1 - 2	1 - 5	
<i>Zostera noltii</i>	1 - 1	0,5 - 1					

Tab. 4 Tiefenverbreitung (in Meter) submerser Makrophyten in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. Wismarbucht (WB) einschließlich Salzhaff (SH), Saaler Bodden (SB), Bodstedter Bodden (BO), Barther Bodden (BA), Grabow (GR).

Art	WB & SH	UW	SB	BO	BA	GR
<i>Ceratophyllum demersum</i>		1 - 1				
<i>Chara aspera</i>	0,5 - 2		0,3 - 1,1	0 - 1,1	0,25 - 0,75	0,5 - 1
<i>Chara baltica/ liljebladii</i>	0,25 - 3		0,4 - 1,1	0,25 - 1,1	0,25 - 1,5	0,5 - 2
<i>Chara canescens</i>	0,25 - 2		0,3 - 0,75	0 - 0,75	0,25 - 0,65	
<i>Chara horrida</i>				0,5 - 0,5		
<i>Chara tomentosa</i>			0,3 - 0,5	0 - 0,75	0,25 - 0,75	
<i>Lamprothamnium papulosum</i>	1 - 1					
<i>Myriophyllum spicatum</i>			1 - 1		0,25 - 1,5	0,75 - 2
<i>Najas marina ssp. marina</i>			0,3 - 1,1	0 - 1,2	0,5 - 1	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,25 - 4		0,5 - 1,1	0 - 1,5	0,25 - 1,5	0,5 - 2
<i>Potamogeton perfoliatus</i>			1 - 1			1 - 1
<i>Ruppia cirrhosa</i>	0,25 - 3	0,75 - 1,5	0,5 - 0,75	0,2 - 0,75	0,25 - 0,75	0,5 - 1,5
<i>Ruppia maritima</i>	0,75 - 0,75					
<i>Tolypella nidifica</i>	0,5 - 4					
<i>Zannichellia palustris</i>	0,25 - 4	0,75 - 3		0,25 - 0,5	0,25 - 1	
<i>Zostera marina</i>	0,5 - 5,7					
<i>Zostera noltii</i>	0,25 - 3					

Tab. 5 Tiefenverbreitung (in Meter) submerser Makrophyten in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. Kubitzer Bodden (KB), Wiecker Bodden (WI), Breetzer Bodden (BR), Großer Jasmunder Bodden (GJB) Kleiner Jasmunder Bodden (KJB).

Art	KB	WI	BR	GJB	KJB
<i>Chara aspera</i>	0,5 - 2	0,5 - 1			0,25 - 0,75
<i>Chara baltica</i>	0,5 - 2	0,25 - 2	0,5 - 0,75	0,25 - 2	
<i>Chara canescens</i>	0,5 - 1	0,75 - 0,75	0,75 - 1	0,5 - 0,5	
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,5 - 2	0,5 - 0,75	0,5 - 2	0,25 - 2	
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,5 - 3	0,5 - 3	0,5 - 2	0,25 - 2	0,5 - 1,2
<i>Ranunculus baudotii</i>			0,5 - 1,5		
<i>Ruppia cirrhosa</i>	0,5 - 2	0,25 - 1,5	0,5 - 2	0,25 - 1,5	
<i>Tolypella nidifica</i>	2 - 2				
<i>Zannichellia palustris</i>	2 - 2	0,5 - 2		0,25 - 0,5	
<i>Zostera marina</i>	1 - 3	1,5 - 3	1,5 - 2	1,2 - 1,2	

Tab. 6 Tiefenverbreitung (in Meter) submerser Makrophyten in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. Strelasund (SS), Greifswalder Bodden (GB), Peenestrom (PS), Achterwasser (AW), Kleines Haff (KH).

Art	SS	GB	PS	AW	KH
<i>Ceratophyllum demersum</i>		2 - 2	0,5 - 1,5		0,25 - 1
<i>Chara aspera</i>	0,5 - 1	0,5 - 1,5		0,5 - 0,5	
<i>Chara baltica/ liljebladii</i>	0,25 - 1,5	0,25 - 2			
<i>Chara canescens</i>	0,75 - 1	0,75 - 0,75			
<i>Elodea canadensis</i>					1 - 1
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,5 - 2,4	0,25 - 3,1	0,5 - 1,5		0,5 - 2
<i>Myriophyllum verticillatum</i>			1 - 1		
<i>Najas marina ssp. marina</i>		0,25 - 0,25			
<i>Nuphar lutea</i>					0,8 - 0,8
<i>Potamogeton acutifolius</i>					0,8 - 0,8
<i>Potamogeton crispus</i>			1 - 1,25		1 - 2,5
<i>Potamogeton pectinatus</i>	0,25 - 2,5	0,25 - 4	0,25 - 1	0,5 - 1	0,5 - 2
<i>Potamogeton perfoliatus</i>			0,5 - 1,5	1 - 1	0,5 - 1,35
<i>Potamogeton lucens</i>			0,5 - 1,5		2 - 2,2
<i>Ranunculus baudotii</i>		0,5 - 1,5			
<i>Ruppia cirrhosa</i>	0,25 - 1,5	0,25 - 2			
<i>Ruppia maritima</i>					
<i>Schoenoplectus lacustris</i>			1,4 - 1,4	0,5 - 0,5	
<i>Zannichellia palustris</i>	0,5 - 2	0,25 - 3			0,5 - 1,5
<i>Zostera marina</i>	1 - 2,5	0,5 - 3,6			
<i>Zostera noltii</i>		0,5 - 0,5			

4 Diskussion

4.1 Geographische Verbreitung - Abhängigkeit der Arten von der Salinität

Das Vorkommen der Arten entlang der deutschen Ostseeküste wird primär durch den Salzgradienten (West-Ost) der vorgelagerten Ostsee sowie die Salinitätsschwankungen innerhalb der Küstengewässer bestimmt. Bereits die Arbeiten von LINDNER (1972) belegten am Beispiel der DZBK den dominierenden Einfluss des Salinitätsregimes auf die Ausbreitung der submersen Vegetation in Küsten-

gewässern. Die rezente Verbreitung der einzelnen Arten in den Küstengewässern spiegelt allerdings nicht nur Salinitätspotenzbereiche wider. Für alle gefundenen Characeenarten wird ein breiteres Salzverbreitungsspektrum beschrieben, als rezent an der deutschen Ostseeküste vorgefunden wurde (SCHUBERT & BLINDOW 2004). In der vorliegenden Untersuchung lag z. B. das untere Salinitätspräsenzlimit von *Tolypella nidifica* bei 10 PSU. In der Literatur wird diese untere Vorkommensgrenze mit 0 PSU (WINTER et al. 1996) bzw. 4 PSU (OLSEN 1944) angegeben. Diese Differenz ist offenbar nicht auf fehlerhafte Literaturangaben zurückzuführen, da Untersuchungen der Diasporenbank der Küstengewässer belegten, dass *Tolypella nidifica* in der Vergangenheit auch in Gewässern mit geringeren Salinitäten, wie z. B. die der DZBK und der mittleren Schlei, anzutreffen war (STEINHARDT & SELIG 2008). Herbarbelege und Literaturangaben bestätigen ein historisches Vorkommen dieser Art in Gewässern mit einer geringeren Salinität (BLÜMEL et al. 2002). Neben *Tolypella nidifica* konnte dies u. a. auch für *Zostera marina* nachgewiesen werden.

Als Ursache für den Ausfall der Arten wird die Eutrophierung angesehen, welche nicht nur die Tiefenausbreitung der Arten, sondern die rezente Ausbreitung in den inneren Küstengewässern generell beeinflusst. So konnten z. B. BLINDOW & SCHÜTTE (2007) bei Untersuchungen von *Chara aspera* feststellen, dass die Kombination der Faktoren Eutrophierung und hohe Salinität zum Absterben dieser Art in ihren Laborversuchen führte. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass in Gewässern mit höheren Salinitäten bereits eine vergleichsweise geringe Nährstoffbelastung zum Ausfall der Arten führen kann. Da die anthropogenen Nährstoffeinträge zuerst in den inneren Bereichen der Küstengewässer wirksam werden, ist hier eine besondere Gefährdung der Brackwasserarten gegeben. Dies ist insbesondere am Beispiel der Schlei zu sehen, bei der im inneren Teil (IS) eine völlige Makrophytenverödung vorliegt, im mittleren Bereich (MS) tolerante Angiospermen wie *Potamogeton pectinatus* anzutreffen sind und im äußeren Bereich (AS) dann sowohl Characeen als auch Seegräser vorgefunden werden.

4.2 Tiefenverbreitung der Arten

Die Eindringtiefe des Lichtes bestimmt die untere Verbreitungsgrenze der Vegetation in den Küstengewässern. Die sehr unterschiedlichen Sichttiefenverhältnisse in den Gewässern veranschaulichen das unterschiedliche Lichtklima in den Gewässern. Die sommerlichen Sichttiefen von unter einem Meter in den inneren Küstengewässern mit geringer Salinität erklärt daher auch die maximale Verbreitungstiefe von 1 bis 1,5 m. Neben dem Lichtangebot bestimmt aber auch der unterschiedliche Lichtbedarf der Arten die Ausbreitungsgrenzen in den Gewässern. Entsprechend der differenzierten Lichtansprüche der Makrophyten wurden durch SCHUBERT et al. (2003) fünf verschiedene relative Eindringtiefen des Lichtes als Ausbreitungsgrenzen von Pflanzen festgelegt, wobei die 1% Eindringtiefe des Lichtes allgemein als untere Grenze der euphotischen Zone angesehen wird (KIRK 1994):

- 85% Ausbreitungsgrenze der Darmtang-Bestände (STEINHARDT 2001)
- 40% Ausbreitungsgrenze der Characeen (YOUSEF 1999)
- 10% Ausbreitungsgrenze der Spermatophyten (MUR & VISSER 1996)
- 1% Ausbreitungsgrenze Rotalgen (LÜNNING 1990, JOHANSSON & SNOEIJIS 2002),
- 0,1% Ausbreitungsgrenze der Krustenrotalgen (siehe Zusammenfassung in MARKAGER & SAND-JENSEN 1992)

Eine Tiefendifferenzierung der unteren Verbreitungsgrenze verschiedener Arten ist vor allem in den Gewässern mit höheren Salinitäten und auch größeren Sichttiefen vorzufinden. In diesen Gewässern, wie z. B. der Wismarbucht, dem Salzhaff oder dem Greifswalder Bodden, ist eine vertikale Gliederung der submersen Vegetation zu beobachten. In inneren Küstengewässern mit Sichttiefen unter 0,5 m ist dagegen keine Tiefendifferenzierung der submersen Vegetation vorzufinden. Der Verdacht, dass die Tiefenausbreitung der submersen Vegetation mit fortschreitender Eutrophierung durch Verringerung der Sichttiefe abnimmt, ist bereits mehrfach geäußert worden. So beschrieb BEHRENS (1982) den Rückgang der unteren Verbreitungsgrenze der Makrophyten in der DZBK als einen Effekt der Eutrophierung der Küstengewässer. Er dokumentierte einen Rückgang der bewachsenen Fläche der Boddengewässer in der DZBK zwischen 1970 (Untersuchung von LINDNER, 1972) und 1979 (Tab. 7). Nach diesen Angaben nahm die mit Makrophyten besiedelte Fläche in den einzelnen Gewässern innerhalb von 10 Jahren um 50 bis 70% ab.

Zur Untermauerung dieser Annahme wurden in Laborversuchen die Lichtansprüche einzelner Arten untersucht. Dabei wurden in zweidimensionalen Ansätzen (Licht, Salinität) die Lichtabhängigkeit des Wachstums sowie die Toleranzgrenzen erfasst. So inkubierten EGGERT et al. (2006) drei Arten (*Najas marina*, *Myriophyllum spicatum* und *Zostera noltii*) und PORSCHKE (2007) zwei Arten (*Najas marina* und *Zannichellia palustris*) im Labor bei unterschiedlichen Lichtintensitäten und verglichen die so ermittelten Lichtansprüche mit der rezenten Verbreitung dieser Arten im Freiland. Für alle untersuchten Arten wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den Laborergebnissen und den im Freiland angetroffenen maximalen Verbreitungstiefen gefunden. Die Vermutung, dass für diese Arten die Lichtverfügbarkeit der bestimmende Parameter für die untere Verbreitungsgrenze darstellt, wurde damit bestätigt. DOMIN et al. (2004) ermittelten nun anhand eines Modells die unteren pristinen Lichteindringtiefen für verschiedene Küstengewässer und berechneten daraus die Verbreitungsgrenzen der Vegetation. Diese so ermittelten Referenzstiefen liegen deutlich unter den heute vorgefundenen Verbreitungsgrenzen. Dieses Ergebnis, das gut mit den vorhandenen historischen Angaben übereinstimmte verdeutlicht, dass in allen Küstengewässern ein Rückgang der unteren Verbreitungstiefe als Folge der Eutrophierung stattfand.

Über das Längenwachstum verfügen nun einzelne Arten über eine morphologische Akklimatisationsmöglichkeit um die individuelle Lichtverfügbarkeit zu verbessern. Damit lässt sich auch das Vorkommen von submersen Makrophyten in Tiefen über 1 m in Gewässern erklären deren sommerliche Sichttiefe weniger als 0,5 m beträgt. Der Indikatorwert von Arten mit einem ausgeprägten Längenwachstum, wie z. B. *Potamogeton pectinatus*, ist daher sehr begrenzt.

Tab. 7 Vergleich der bewachsenen Fläche der Gewässer der DZBK zwischen 1970 und 1979 nach BEHRENS (1982).

	bewachsene Fläche 1970 [%]	bewachsene Fläche 1979 [%]
Grabow	28,5	17,8
Barther Bodden	35,2	10,0
Bodstedter Bodden	20,5	6,1
Saaler Bodden	9,1	5,0

Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen des durch das BMBF geförderte Forschungsvorhaben „Erarbeitung eines ökologischen Gesamtansatzes für die Bewertung der Küstengewässer an der deutschen Ostseeküste entsprechend der Vorgaben der EU-WRRL“ (FKZ: 0330678) finanziert. Die Autoren danken den Landesämtern Schleswig-Holsteins (LANU) und Mecklenburg-Vorpommerns (LUNG), insbesondere Dr. Rolf Karez und Mario von Weber, für die Bereitstellung der Messdaten aus den Monitoringprogrammen.

Literatur

- Behrens, J., 1982. Soziologische und produktionsbiologische Untersuchungen an den submersen Pflanzengesellschaften der Darss-Zingster-Boddengewässer. Dissertation, Universität Rostock, 139 pp.
- Blindow, I. & M. Schütte, 2007. Elongation and mat formation of *Chara aspera* under different light and salinity conditions. *Hydrobiologia* 584: 69–76.
- Blümel C., A. Domin, J. C. Krause, M. Schubert, U. Schiewer & H. Schubert, 2002. Der historische Makrophytenbewuchs der inneren Gewässer der deutschen Ostseeküste. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 10: 5-111.
- Braun-Blanquet, J., 1951. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 2. Aufl. Springer Verlag, Wien, 631 pp.
- Domin, A., H. Schubert, J. C. Krause & U. Schiewer, 2004. Modelling of pristine depth limits for macrophyte growth in the southern Baltic Sea. *Hydrobiologia* 514: 29-39.
- Eggert A, S. Ihnken, U. Selig, U. Karsten & H. Schubert, 2006. Distribution of three submersed macrophytes in coastal lagoons of the German Baltic Sea: Comparison of laboratory and field data. *Botanica Marina* 46: 386-395.
- Fürhaupter K. & T. Meyer, 2004. Makrophytenmonitoring der inneren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns - Erprobung einer neuen Monitoringstrategie für die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Untersuchungen im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern, 85 pp.
- Fürhaupter K., H. Wilken, T. Berg & T. Meyer, 2005. Makrophytenmonitoring der inneren und äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns. 2. Praxistest zum Makrophyten-monitoring der inneren Küstengewässer Untersuchungen im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern, 95 pp.
- Fürhaupter K., H. Wilken, T. Berg & T. Meyer, 2006. Makrophytenmonitoring der inneren und äußeren Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns - 3. Praxistest einer Monitoringstrategie für die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Untersuchungen im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern, 141 pp.
- Fürhaupter, K., H. Wilken, T. Berg & T. Meyer, 2006. Praxistest zum Makrophyten-monitoring in Schleswig-Holstein 2006. Bericht für das Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, 199 pp.
- Fürhaupter K., H. Wilken & T. Meyer, 2007. WRRL-Makrophytenmonitoring in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. Untersuchungen im Auftrag des Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern, 95 pp.
- Fürhaupter K., H. Wilken & T. Meyer, 2007. WRRL-Makrophytenmonitoring in den inneren Küstengewässern Schleswig-Holstein. Untersuchungen im Auftrag des Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, 196 pp.
- Johansson, G. & P. Snoeijs, 2002. Macroalgal photosynthetic responses to light in relation to thallus morphology and depth zonation. *Marine Ecology Progress Series* 244: 63-72.
- Kirk, J. T. O., 1994. Light and photosynthesis in the aquatic environment. 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 509 pp.
- Krech, M., 2003. Leitbildorientierte Bewertung und Analyse der ökologischen Beschaffenheitssituation der inneren Küstengewässer im südlichen Ostseeraum sowie Möglichkeiten ihrer Verbesserung als Grundlage für die fachliche Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation, Universität Rostock, 173 pp.

- Lindner, A., 1972. Soziologisch-ökologische Untersuchungen an der submersen Vegetation der Boddenkette südlich des Darß und des Zingst. Dissertation, Universität Rostock, 201 pp.
- Lüning, K., 1990. Seaweeds. Their environment, biogeography and ecophysiology. John Wiley & Sons, New York, USA, 527 pp.
- Markager, S. & K. Sand-Jensen, 1992. Light requirements and depth zonation of marine macroalgae. - Marine Ecology Progress Series 88: 83-92.
- Mertens, M., 2006. Landschaftsökologische Untersuchungen zu Makrophyten (einschließlich Makroalgen) in ausgewählten inneren Küstengewässern Schleswig – Holstein, 108 pp.
- Mertens M. & U. Selig, 2007. Vergleich von historischen und rezenten Makrophytenbeständen in den inneren Küstengewässern Schleswig-Holsteins. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 17: 55-66.
- Mur, L. R. & P. M. Visser, 1996. Aquatische Milieubiologie. Deel I. Amsterdam, 1-133 pp.
- Olsen, S., 1944. Danish Charophyta. Chorological, ecological and biological investigations. Kongelige Danske Videnskaberne Selskabs Biologiske Skrifter 3: 1-240.
- Porsche, C., 2007. Ökophysiologische Untersuchungen zur Salz- und Lichttoleranz an *Najas marina* und *Zannichellia palustris* in den inneren Küstengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. Diplomarbeit, Universität Rostock, 99 pp.
- Sagert, S., C. Porsche & U. Selig, 2008. Die Typologie im Kontext der Bewertungsverfahren für die deutsche Ostseeküste. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 20: 7-24.
- Schubert, H. & I. Blindow I, 2004. Charophytes of the Baltic Sea. The Baltic Marine Biologists Publication No. 19. Koeltz Scientific Books, Königstein, 325 pp.
- Schubert, H., C. Blümel, A. Eggert, T. Rieling, M. Schubert & U. Selig, 2003. Entwicklung von leitbildorientierten Bewertungsgrundlagen für innere Küstengewässer der deutschen Ostseeküste nach der EU-WRRL. BMBF Forschungsbericht FKZ 0330014, 167 pp.
- Selig, U., D. Schories & H. Schubert, 2006. Küstengewässer-Klassifizierung deutsche Ostsee nach EU-WRRL. Teil B: Innere Küstengewässer Schleswig-Holstein, 150 pp.
- Steinhardt, T., 2001. Landschaftsökologische Untersuchungen an Standorten submerser Makrophytenvegetation im Salzhaff (Wismarbuch). Diplomarbeit, Universität Greifswald, 103 pp.
- Steinhardt, T. & U. Selig, 2008. Diasporen von Characeen und Angiospermen in Sedimenten von Küstengewässern der südlichen Ostseeküste. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 20: 175-190.
- Winter, U., I. Soulié-Märsche & G. O. Kirst, 1996. Effects of salinity on turgor pressure and fertility in *Tolypella* (Characea). Plant, Cell and Environment 19: 869-879.
- Yousef, M. A. M. & H. Schubert, 2001. Assessment of the occurrence of Charophytes in shallow coastal waters of Mecklenburg-Vorpommern, Germany. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 72: 9-16.