

Die Ufer der Tideelbe im Wechselspiel von Mensch und Umwelt

Vegetation, Boden und Ökosystemleistungen

Ergebnisse der Forschungsprojekte *ElbService* und *tibass* sowie Zwischen-
ergebnisse des Makrophytenmonitorings der Beweissicherung Tideelbe



Foto: G. Grenzdörffer

Dezember 2018

Impressum

Herausgeberinnen: Carolin Schmidt-Wygasch & Maike Heuner
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz

Redaktion: Carolin Schmidt-Wygasch, Maike Heuner, Yvonne Strunck

Autorenschaft: **Florian Beyer**, Universität Rostock
Elmar Fuchs, BfG, Koblenz
Maike Heuner, BfG, Koblenz
Rainer Horn, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Rainer Marggraf, Georg-August-Universität Göttingen
Görres Grenzdörffer, Universität Rostock
Wiebke Kathelhön, Georg-August-Universität Göttingen
Vanessa Minden, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Roland Riggert, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Uta Sauer, Georg-August-Universität Göttingen
Carolin Schmidt-Wygasch, BfG, Koblenz
Uwe Schröder, BfG, Koblenz
Ken Schoutens, Universiteit Antwerpen
Tilla Schulte Ostermann, Carl von Ossietzky Univ. Oldenburg
Nina Stoppe, Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, jetzt LUH
Stijn Temmermann, Universiteit Antwerpen
André Terwei, BfG, Koblenz

Abbildungsrechte: BfG (wenn nicht anders angegeben)

Druck: Druckerei des BMVI
DOI: 10.5675/BfG_Tideelbe_ElbService_tibass

Zitiervorschlag:

Schmidt-Wygasch, C. & Heuner, M. (Hrsg.) 2018: Die Ufer der Tideelbe im Wechselspiel von Mensch und Umwelt. Vegetation, Boden und deren Ökosystemleistungen. BfG-Bericht 1970. Ergebnisse der BfG-Forschungsprojekte *ElbService* und *tibass* sowie Zwischenergebnisse des Makrophytenmonitorings der Beweissicherung Tideelbe. 53 Seiten; DOI: 10.5675/BfG_Tideelbe_ElbService_tibass

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	5
2. Vegetation.....	8
2.1. Schiffswellen an den Pflanzen	10
2.2. Die Wellen hinter den Pflanzen	12
2.3. Pflanzen in Augenhöhe	14
2.4. Pflanzen aus der Luft	18
2.5. Pflanzen im Experiment.....	22
2.6. Pflanzen als C-Speicher	24
3. Boden.....	26
3.1. Böden der Ufer.....	28
3.2. Böden der Ufer als Karte	30
3.3. Böden unter der Lupe.....	32
3.4. Böden unter Druck	34
3.5. Sedimentdynamik im Jahresverlauf	36
4. Ökosystemleistungen	38
4.1. Wie sehen die Menschen die Ufer?.....	40
4.2. Wieviel sind die Ufer den Menschen wert?	42
4.3. Wie werden Ufermaßnahmen ganzheitlich bewertet?	44
5. Zusammenfassung	46
6. Literatur	49
Danksagung.....	53

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Die Ufer der Tideelbe
im Wechselspiel von
Mensch und Umwelt

2018

1. Einführung

Carolin Schmidt-Wygasch, Maike Heuner, Elmar Fuchs und Uwe Schröder

Die Tideelbe, der Mündungstrichter (Ästuar) des Elbestroms zwischen Geesthacht und Cuxhaven, ist als Bundeswasserstraße (BWaStr) eine wichtige Handelsroute zwischen Hamburg und der Welt. Zugleich ist sie ein bedeutender und vielfach naturschutzfachlich geschützter Lebensraum für zahlreiche, teils nur hier vorkommende Tier- und Pflanzenarten. Die Tideelbe bietet zudem landwirtschaftliche Flächen und vielfältige Möglichkeiten für Erholungssuchende aus nah und fern (Abbildung 1-1).



Abbildung 1-1:
Eindrücke an der
Tideelbe.

Fotos:
C. Schmidt-Wygasch

Das größte Ästuar Deutschlands ist unterschiedlichsten Einflüssen, die das System auf Wasser- und Landflächen ändern und stören können, ausgesetzt.

Die Uferbereiche verbinden diese aquatischen und terrestrischen Ökosysteme (Abbildung 1-4). Technische Ufersicherungen, Wellenschlag, Änderungen der Hydromorphologie und die Landnutzung belasten die natürlichen Ufer mit unterschiedlichen Ausprägungen. Durch verschiedene europäische und nationale Gesetzgebungen sind Bund und Länder angehalten, die Natur zu erhalten und bei Möglichkeit mehr Raum zu geben. Um Flussabschnitte, unter Wahrung des Hochwasserschutzes und der verkehrlichen Nutzung, ökologisch zu fördern, bedarf es langfristiger Beobachtung (Monitoring) von Entwicklungen. Auch Grundlagenforschung zur Vertiefung des Verständnisses der Prozesse und Zusammenhänge im Ökosystem Ästuar wird benötigt. Die neuen Erkenntnisse sind wichtige Bausteine für eine ausgeglichene Kombination von Ökologie und Schifffahrt. Aber erst unter Einbeziehung sozioökonomischer, gesamtgesellschaftlicher Aspekte, erlangen diese Bausteine ihre eigentliche Bedeutung.

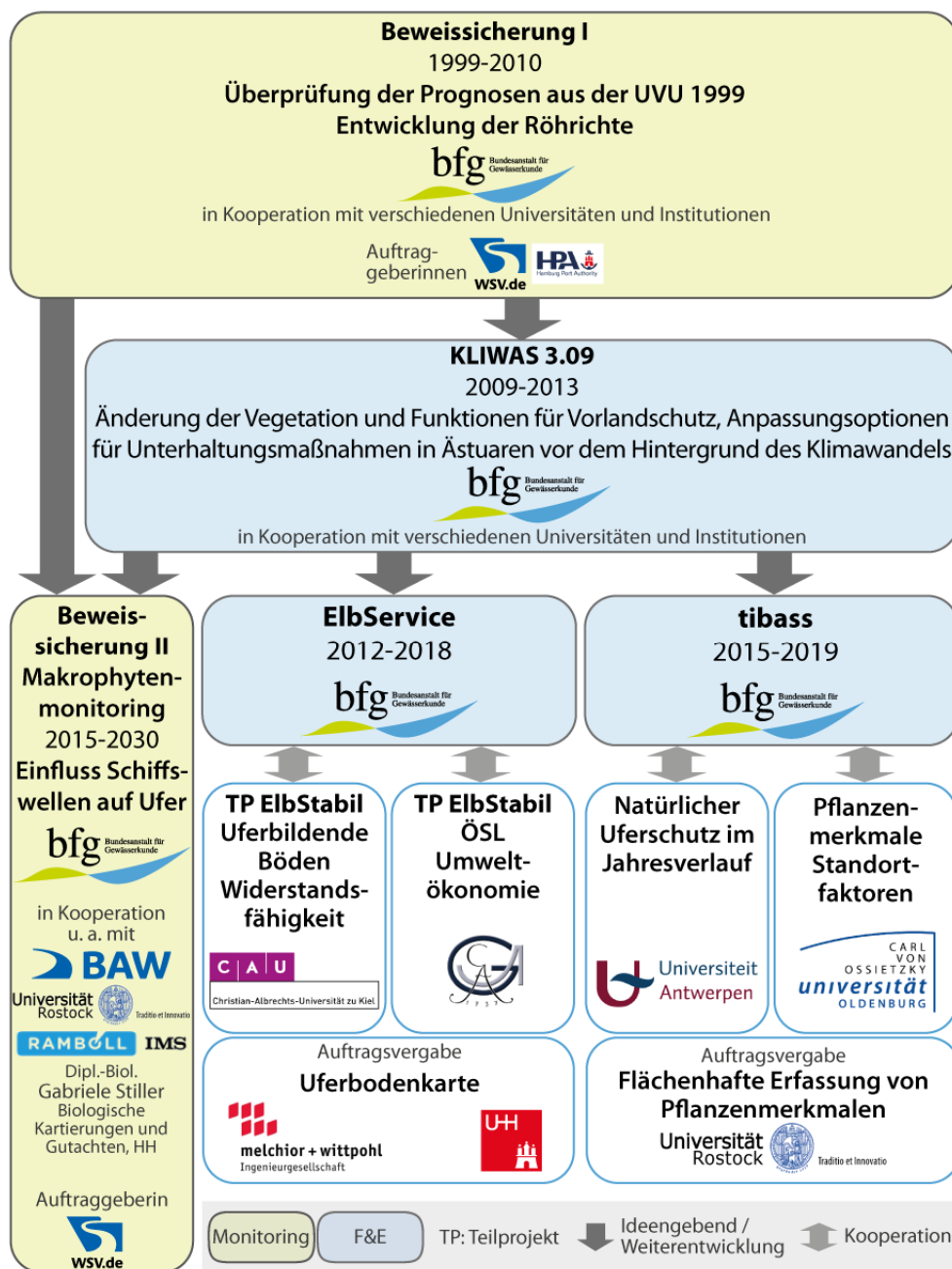


Abbildung 1-2:
Projekte und unter-
suchte Themen seit
1999.

Darstellung:
C. Schmidt-Wygasch

Etliche Male veränderte der Mensch das Ästuar sowie die Breite und Tiefe des schiffbaren Wassers. Bei der letzten Fahrrinnenanpassung 1999 prognostizierte die Umweltverträglichkeitsuntersuchungen (UVU 1999), dass die Tideröhrichte durch die veränderten Charakteristiken in den Gezeiten zurückgehen würden. Der Planfeststellungsbeschluss forderte, die Prognosen zu überprüfen. Daher startete im Jahr 1999 das erste Langzeitmonitoring an der Tideelbe. Die Entwicklungen der Röhrichte wurden im Rahmen der Beweissicherung I von 2000 bis 2002 für die Bundesstrecke (SCHRÖDER 2004) sowie bis 2006 und 2010 für die Delegationsstrecke (SCHRÖDER 2008; SCHRÖDER 2012) detailliert im historischen und aktuellen Kontext untersucht. Diese Arbeiten waren die ersten innovativen Schritte, um

Umwelt und Funktionen des Ufersystems an der Tideelbe zu verstehen (SCHRÖDER *et al.* 2010a; SCHRÖDER *et al.* 2010b).

Der in der UVU angenommene flächenhafte Verlust von Röhrichten konnte nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigten die Flächen alle Formen von Rückgang, Stagnation, aber auch Ausbreitung. Durch die Untersuchungen konnten mittleres Tidehoch (MThw) und Tideniedrigwasser (MTnw) als steuernde Faktoren bestätigt werden. Diese sind immer gekoppelt mit morphodynamischen Prozessen der Sedimentation und Erosion (Abbildung 1-3).



Abbildung 1-3:
Sedimentations- und
Erosionsprozesse an
der Vegetationskante.

Foto:
C. Schmidt-Wygasch

Die Monitoringdaten und -ergebnisse bildeten die Basis für weiterführende statistische Analysen. Habitatmodelle wurden entwickelt, um das Potenzial von Lebensräumen für Röhrichte über Geländehöhen und Wasserstände zu quantifizieren (HEUNER 2007; HEUNER *et al.* 2016). Daraus entwickelten sich neue Fragestellungen. Neben vertieften Analysen der Ufervegetation rückten auch die Wellen- und Strömungsbelastung (SILINSKI 2015; HEUNER 2016; CARUS 2017), sowie die uferbildenden Sedimente und Böden (NEUGEBAUER 2015; STOPPE 2015) mit in den Fokus. Das Ziel ist, ein umfassendes Verständnis zwischen den Wechselwirkungen von Hydrodynamik, Boden und Vegetation zu erlangen.

Mehrere Forschungsprojekte entwickelten sich parallel (Abbildung 1-2), die die laufenden Arbeiten ergänzten, vertieften bzw. neue Impulse zu den „klassischen Untersuchungen“ lieferten. Als Teil der umweltökonomischen Bewertung ist die Betrachtung der Ökosystemleistungen hinzugekommen. Diese zusätzliche Sichtweise berücksichtigt auch gesellschaftliche Bedürfnisse, wie z. B. das Bedürfnis nach Erholung. Zudem wird ein Weg aufgezeigt, ökologische Maßnahmen durchzuführen, indem vorab sowohl Kosten als auch Nutzen für Wirtschaft, Natur und Mensch analysiert und bewertet werden.

Dieser Ergebnisband fokussiert auf die beiden Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F&E) *ElbService* und *tibass (tidal bank science and services)*. Sie haben in den letzten Jahren mit neuen Ansätzen und Perspektiven die Uferbereiche der Tideelbe untersucht. Ergänzend werden aktuelle Arbeiten aus der Beweissicherung II vorgestellt. Da die Arbeiten gemeinsam das Systemverständnis stärken, verzichten wir auf eine projektstrukturierte Darstellung. Der Band ist nach Vegetation-Boden-Sozioökonomie gegliedert. Die eigenständigen Projekte verzahnen sich in den Untersuchungsräumen und -objekten. Zusammen bilden sie für die Tideelbe einen einzigartigen Wissens- und Datenpool für künftige Fragestellungen in der Forschung und wissenschaftlichen Beratung der Stakeholder an der Tideelbe.



Abbildung 1-4:
Naturnahes Ufer auf
der Insel Schwarztönnensand.

Foto:
C. Schmidt-Wygasch

2. Vegetation

Uwe Schröder und Maike Heuner

Das Deichvorland der Tideelbe ist häufig durch Grünländer und Röhrichte geprägt. Als strukturreiche Lebensräume für schützenswerte Arten der Flora und Fauna sind sie überwiegend als Vogelschutz-, Naturschutz- und FFH-Gebiete ausgewiesen. Wird das Vorland bewirtschaftet, sind Arten wie Weißes Straußgras, Flutender Schwaden oder das Wiesen-Rispengras häufig (SUNDERMEIER *et al.* 2018). Fällt das Vorland brach, dehnen sich Röhrichtarten wie Schilf, Rohr-Glanzgras, Meer-Strandsimse oder Salz-Teichsimse v. a. in Ufernähe bis in die Watten aus.

Abbildung 2-1:
Schrägluftbild 2007
eines Uferabschnittes
am Allwördenr Au-
Bendeich. Deutlich
erkennbare Ufer-
erosion im mittleren
Abschnitt als Folge
von Beweidung und
Viehverbiss bis zur
Uferkante. Ober- und
unterhalb ist natür-
licher Uferschutz
durch Röhrichtzonen
in Folge der Aus-
zäunung der Ufer zu
erkennen.

Foto:
U. Schröder



Die Röhrichte sind an die Ti-
de angepasst und ertragen die
täglichen Überflutungen. Sie
stellen ein wichtiges Binde-
glied zwischen Wasser und
Land dar. Sie halten u. a. mit
ihren Wurzeln Sediment und
Boden fest (vgl. Kapitel 3.5)
und verringern die Strö-
mungsgeschwindigkeit und

Wellenhöhe (vgl. Kapitel 2.2). Sie kämten mit Stängeln und Blättern Schwebstof-
fe aus der Wassersäule aus. Des Weiteren belüften sie mit dem produzierten Sauer-
stoff den Boden, binden Nähr- und Schadstoffe und arbeiten Kohlenstoff in den
Boden ein (vgl. Kapitel 2.6). Auch wirken Röhrichte auf uns Menschen – im Ge-
gensatz zu versteinten Ufern – erholsam und werden positiv wertgeschätzt (vgl.
Kapitel 4.1 und 4.2).

Abbildung 2-2:
Ein Beispiel eines
durch Erosion frei-
gespültes Rhizom an
der Nordspitze der
Insel Schwarztannen-
sand 2003.

Foto:
E. Fuchs



Neben der natürlichen Tidedynamik sind Röhrichte
mannigfaltigen menschlichen Einflüssen ausgesetzt
und unterliegen somit beständigen Veränderungen.
Durch die Erneuerung des Landschutzdeiches gin-
gen in den siebziger Jahren große Vordeichsflächen
und typische Ästuarvegetation verloren. Komplexe
Nebenarmsysteme wurden vom Hauptarm der
Tideelbe abgeschnitten (Abbildung 2-3). Zusammen
mit wiederholten Anpassungen der Fahrrinne
erhöhte sich der Tidehub und der Flutstrom erlangte
gegenüber dem Ebbstrom an Dominanz. Dieses
geht einher mit der Zunahme an klimawandelbe-

dingten Sturmflutereignissen (HEIN *et al.* 2014). Zunehmender Gütertransport mit größeren und unter Umständen auch schnelleren Schiffen ist für die Ufervegetation ein weiterer Belastungsfaktor. Die hydrodynamischen Belastungen können zu stärkeren Erosionsprozessen führen (Abbildung 2-2). Großräumige Nutzungsveränderungen beeinflussten zudem die Vegetation der Ufer (Abbildung 2-1 und Abbildung 2-3).

Die Lebensräume der Ufer mit ihren oben genannten Funktionen und Leistungen für Mensch und Umwelt bedürfen Schutz vor weiteren drohenden Verlusten (Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5). Die Erhaltung und Wiederherstellung wertvoller Lebensräume wird auch vom Menschen vermehrt gewünscht. Dieser Schutz ist durch die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im nationalen Recht u. a. im Wasserhaushaltsgesetz verankert. Eine Forderung ist die natürliche Uferentwicklung, die durch integrierte Bewirtschaftungspläne, Maßnahmenprogramme und Uferunterhaltung umgesetzt wird. Durch Uferschutz, der durch natürliche Röhrichtbesiedlung entsteht, kann die Strukturvielfalt und -güte der Ufer aktiv verbessert werden. Weitere naturraumtypische Pflanzen und Tiere können geeignete Lebensbedingungen zurückerobern und ihre Bestände sichern. Für die effektive Umsetzung und um die Schifffahrt nicht zu gefährden, ist die Quantifizierung wichtig, unter welchen Rahmenbedingungen sich ein natürlicher Uferschutz im Ästuar entwickeln kann und wo seine Grenzen liegen. In anderen Ästuare sind z. T. die Rahmenbedingungen für Salzwiesenarten schon quantifiziert worden (z. B. MÖLLER *et al.* 1999, TEMPEST *et al.* 2015). Für Röhrichtarten im Elbeästuar bedarf es vermehrter Forschung. Die folgenden Unterkapitel geben Einblicke in die einzelnen forschungsrelevanten Themen der Ufervegetation und zeigen Ergebnisse auf. Die Uferböden werden im Kapitel 3, die Thematik Ufer aus Sicht der Gesellschaft im Kapitel 4 betrachtet.

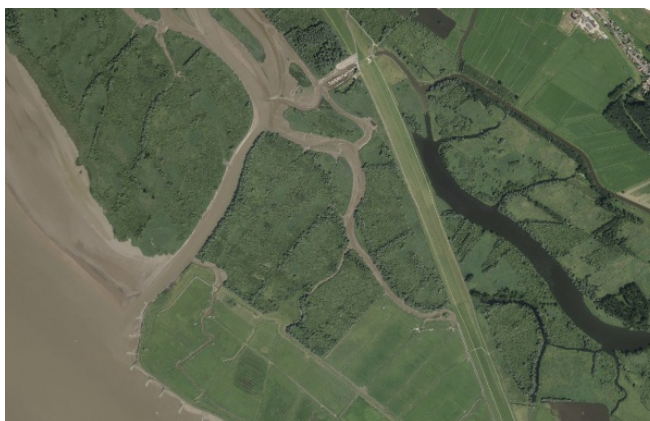


Abbildung 2-3:
Luftbilder der Haseldorfer Binnenelbe
oben: 1953
Die Haseldorfer Binnenelbe ist noch an die Tideelbe angeschlossen. Große Bereiche auf Bishorst und Twielenfleth sind landwirtschaftlich bewirtschaftet.
unten: 2016
Der Landschutzdeich trennt die Haseldorfer Binnenelbe vom Tidegeschehen ab. Ehemals bewirtschaftete Flächen unterliegen der freien Sukzession.

Aufnahme 1953:
Royal Airforce, Air Photo Library, Department of Geography, University of Keele, Staffordshire, ST5 5BG, England

Aufnahme 2016:
WSA HH, BSH, BAW-DH, BfG

2.1. Schiffswellen an den Pflanzen

Uwe Schröder, André Terwei und Maike Heuner

Fragestellung

Einige naturnahe Uferabschnitte der Tideelbe erodieren mit ihrer Vegetation, an anderen lagert sich fortwährend Sediment ab mit der Folge, dass sich die Vegetation ausbreiten kann. Weitere Abschnitte weisen kurzfristige, wechselnde Dynamiken auf. Um zu quantifizieren, welchen Einfluss der schiffsbedingte Wellenschlag hat, wurde 2015 im Rahmen der Beweissicherung zur kommenden Fahrrinnenanpassung der Tideelbe eine sechswöchige Messkampagne zur Wellenbelastung durch Schiffspassagen durchgeführt. An drei exponierten Standorten wurden u. a. Wellenhöhen, Strömung (Abbildung 2-4) gemessen. Die Messungen werden jährlich durch detaillierte Vegetations- und Topographiedaten ergänzt (SCHRÖDER *et al.* 2018). Dazu werden kameratragenden Drohnen, sogenannte *Unmanned Aerial Systems*, eingesetzt. Bisher können folgende Fragen beantwortet werden: Welche Eigenschaften weisen die Wellen auf, die auf naturnahe Ufer treffen? Welche Parameter (Wassertiefe, Schiffseigenschaften, Ufertopographie, Entfernung) beeinflussen die Wellenhöhen? Und wie beeinflussen die Wellen die drei Standorte?

Abbildung 2-4:
Messkonzept zur
Strömungs- und Wel-
lenmessung durch
Drucksonden (Abbil-
dung nach PETERS *et al.* 2016).

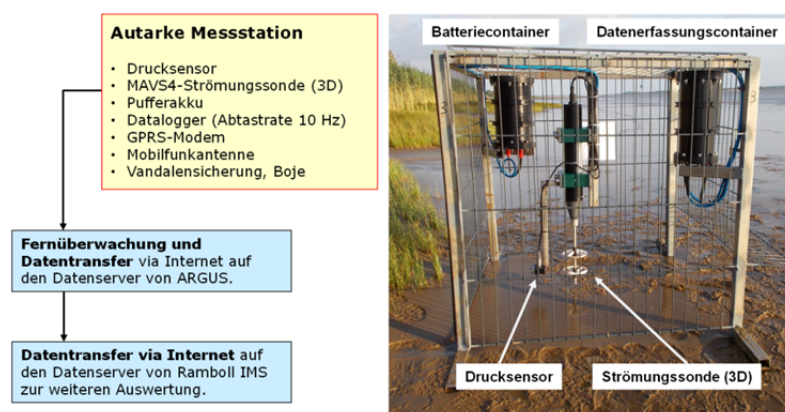


Tabelle 2-1:
Gemessene Wellen-
kennwerte:
 H_p : Primärwellen-
höhe,
 T_p : Primärwellen-
periode,
 H_s : Sekundärwellen-
höhe,
 T_s : Sekundärwellen-
periode,
 V_{HP} : Primärwellen-
strömung,
 V_{HS} : Sekundärwellen-
strömung,
Min: Minimum,
Max: Maximum,
Mean: Mittelwert,
 $X_{1/3}$: Mittelwert der
33%-höchsten Werte,
 $X_{1/10}$: Mittelwert der
höchsten 10 %-Werte.

Ergebnisse

Das Wellenklima der Schiffe ist durch eine Primärwelle und mehrere Sekundärwellen charakterisiert. Die Primärwelle ist langsamer mit größerer Wellenperiode und kleineren Geschwindigkeiten (Tabelle 2-1) und bewegt dadurch mehr Wasservolumen zum Ufer als die Sekundärwellen. Obwohl die maximale Wellenhöhe der Primärwelle wesentlich größer ist, unterscheiden sich die kleinsten und gemittelten Wellenhöhen zwischen Primär- und Sekundärwellen kaum.

	H_p [m]	H_s [m]	T_p [s]	T_s [s]	V_{HP} [m/s]	V_{HS} [m/s]
Min	0.01	0.02	0.70	0.60	0.04	0.04
Max	1.07	0.57	204.90	7.60	1.38	1.48
Mean	0.15	0.18	95.54	2.73	0.29	0.45
$X_{1/3}$	0.29	0.29	152.76	4.11	0.59	0.53
$X_{1/10}$	0.46	0.47	104.02	4.86	0.49	0.73

Die Primärwelle tritt als singuläres Ereignis auf. Sekundärwellen hingegen treffen als Wellenpaket auf das Ufer, so dass sie für die Vegetation wahrscheinlich

von entscheidenderer Bedeutung sind. Daher werden im Folgenden die Ergebnisse zu den Sekundärwellen detaillierter dargestellt. Die Höhe der Sekundärwellen wird vor allem von der Schiffsgeschwindigkeit und vom Wasserstand beeinflusst (Abbildung 2-5). Die Größe des Schiffes ist auch wichtig, jedoch nachgeordnet. Die drei Standorte differenzieren sich bei unterschiedlichen Wasserständen hinsichtlich der auf sie einwirkenden Wellenbelastung. Der Standort Bielenberg, der von den drei Standorten am weitesten von der Fahrrinne entfernt ist, erfährt bei niedrigen Wasserständen eine höhere Wellenbelastung und somit auch eine höhere Sohlschubspannung als die Standorte Schwarztonnensand und Hollerwettern. Bei höheren Wasserständen ist die Belastung erwartungsgemäß wegen der größeren Entfernung zur Fahrrinne niedriger (siehe Tabelle 2-1).

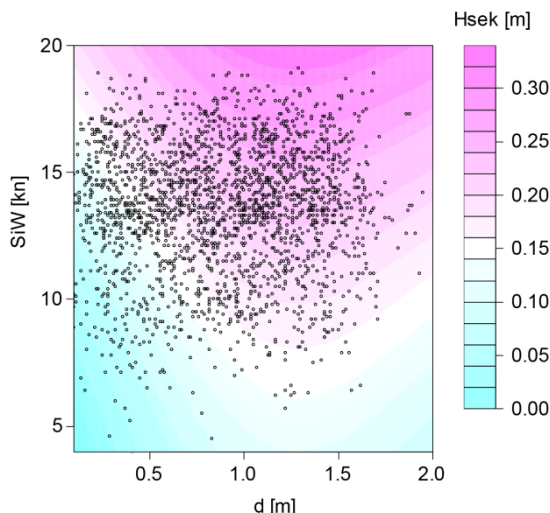


Abbildung 2-5: Sekundärwellenhöhen (Hsek) in Bezug zur Schiffsgeschwindigkeit im Wasser (SIW) und dem Wasserstand an der Messsonde (d). Die bunten Bögen spiegeln die Korrelation der Faktoren wider. Als Regression wurde ein *Generalized Additive Model* getestet.

Gleichzeitig zeigen die Vegetationsaufnahmen am Standort Bielenberg einen Rückgang der Makrophyten an, während sie sich an den anderen beiden Standorten eher ausbreiten. Die Form der Ufer vom Flachwasser bis zum vorgelagerten Watt ist an den Standorten Hollerwettern und Schwarztonnensand konvex, hingegen besitzt Bielenberg eine konkave Uferform und weist sandigere Böden auf (Tabelle 2-2).

Kenngrößen	Hollerwettern	Bielenberg	Schwarztonnensand
reg. Schiffspassagen	3 282,00	3 472,00	3 381,00
reg. Schiffswellenereignisse	921,00	599,00	974,00
sig. Wellenhöhe [m] (d < 0,6 m)	0,33 (0,16)	0,26 (0,16)	0,29 (0,15)
mittl. Sohlschubsp. [N/m ²] (d < 0,6 m)	0,95 (0,54)	0,76 (1,43)	0,82 (0,58)
Uferform	konvex	konkav	konvex
Bodenart	sandig/schluffig	sandig	sandig/lehmig
Entfernung zur Fahrwassermite [m]	750	1055	700

Tabelle 2-2: Zusammenstellung der wichtigsten Kenngrößen: reg. = registriert, sig. = signifikant, mittl. = mittlere (arithmetisches Mittel), Werte in Klammern = Wasserstände (d) unter 0,6 m.

Schlussfolgerungen

- Eine geringere Schiffsgeschwindigkeit wird die Belastung der Ufer(vegetation) reduzieren.
- Die Entfernung zur Fahrrinne ist kein ausreichender Parameter für eine schiffs-induzierte Wellenbelastung auf die Ufervegetation.
- Je nach Wasserstand können Standorte unterschiedlichen Wellenbelastungen ausgesetzt sein.
- Die Ufertopographie scheint in Wechselwirkung mit der sich durch den Wasserstand ändernden Wellenbelastung zu stehen. Sohlreibung, Position der Wellenbrechung sowie daraus resultierende Uferneigung und Bodensubstrat sind Indizien für diesen Zusammenhang.

2.2. Die Wellen hinter den Pflanzen

Ken Schoutens, Maike Heuner und Stijn Temmerman

Fragestellung

Tidebeeinflusste Marschen sind bekannt für ihre natürliche Uferschutzfunktion (TEMMERMAN *et al.* 2013). Ihre Wellenreduktion und ihr Erosionsschutz werden typischerweise im Sommer untersucht, wenn die Biomasse am stärksten ausgeprägt ist. Zu Zeiten mit geringer Biomasse wie im Winter liegen keine ausreichenden Daten vor. Die Pioniervegetation an den Ufern der Ästuare bilden des Öfteren nur schmale Säume von wenigen Metern. Als erste höhere Pflanzen besiedeln die Pio-



Abbildung 2-6:
Installierte Sonden
zur Messung der Well-
lenhöhe und Strö-
mung an der Vegeta-
tionskante und in der
Pionierzone in Hol-
lerwettern.



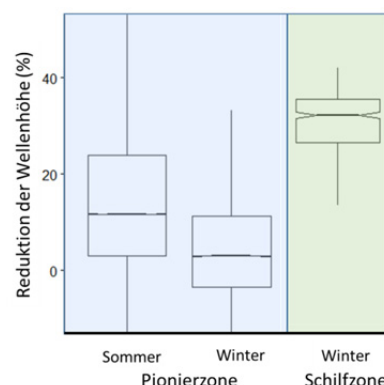
Abbildung 2-7:
Übergang von Pio-
nier- zur Schilfzone.

Fotos:
K. Schoutens

nierröhrichte die freien Wattflächen und trotz der Hydro- und Morphodynamik (Abbildung 2-10). Im Winter stirbt im Gegensatz zum höherliegenden Schilf ihre oberirdische Biomasse ab, dessen trockene Halme vielerorts bis ins nächste Frühjahr stehen bleiben (Abbildung 2-7). Deshalb stellt sich uns die Frage, in wie weit Röhrichte effektiv im Jahresverlauf das Ufer vor Wellen schützen. In den Jahren 2016-2018 wurden umfangreiche Messungen der jahreszeitlichen Veränderungen von Vegetation und Pflanzeigenschaften, von Wellen, Strömungen und Sedimentdynamik an den Standorten Balje, Holler-

wettern und Krautsand durchgeführt und ausgewertet (Abbildung 2-6). Die Wellenreduktion wurde über eine Strecke von 10 Metern gemessen. Die Unterschiede der Wellenreduktion zwischen Sommer und Winter werden im Folgenden vorgestellt.

Abbildung 2-8:
Vergleich der Wellenreduktion durch Röhrichte im Sommer und Winter. Die Distanz der Messsensoren beträgt 10 m. Messzeitraum: Pionierröhricht: Sommer 2016 und 2017, Winter 2015/2016, Schilfröhricht: Winter 2017/2018.



Ergebnisse

Die Ergebnisse der Wellenmessungen belegen die oben beschriebenen Beobachtungen. Im Sommer können die Wellenhöhen durch die Pioniervegetation bis über 40% reduziert werden (Abbildung 2-8). Hingegen wird die Wellenhöhe im Winter weniger als 10% über eine Strecke von 10 Metern minimiert. Dieser Prozentwert entspricht auch der Wellenreduktion, die nur durch Bodenreibung über eine vegetationslose Wattfläche erreicht wird. Die fehlende Leistung der Pionierzone im Winter wird durch das Schilf kompensiert, welches ebenfalls die Wellenhöhen bis zu 40% reduzieren kann. Die Hälfte der gemessenen Wellenreduktion liegt hier über 30%.

Schlussfolgerungen

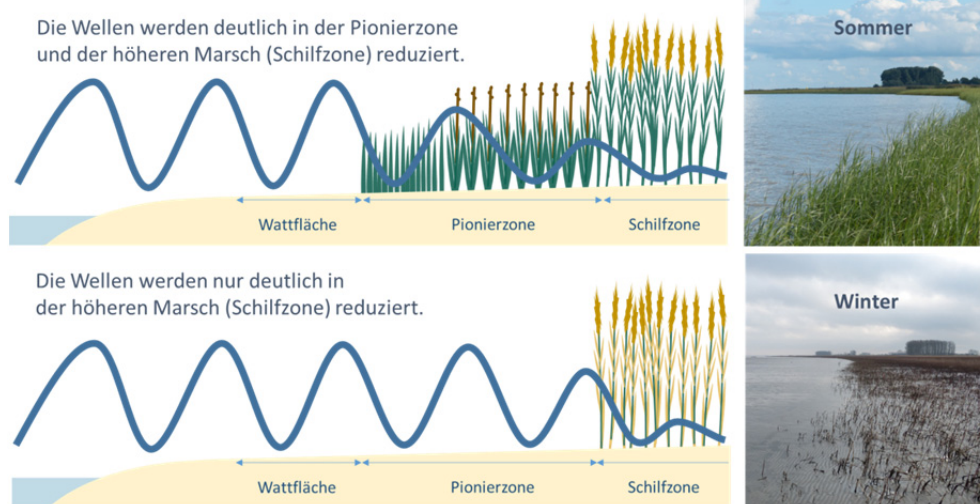


Abbildung 2-9:
Prinzip der Wellenreduktion durch Röhrichte, Sommer und Winter im Vergleich.

Fotos:
K. Schoutens

- Die Wellenreduktion in der Pionierzone variiert stark im jahreszeitlichen Verlauf. Im Sommer ist sie deutlich messbar, während im Winter zum Teil keine Wellenreduktion durch Pioniere vorhanden ist.
- Die Schilfzone wird im Winter durch höhere Wasserstände häufiger überflutet. Die trockenen Schilfhalme leisten in solchen Situationen eine effektive Reduktion der Wellenhöhen.
- Wenn die Röhrichtzone breit genug ist und sich hinter der Pionierzone auch Schilf ansiedeln kann, ist eine kontinuierliche Reduktion der Wellenhöhen durch Röhrichte im Jahresverlauf gewährleistet (Abbildung 2-9).



Abbildung 2-10:
Wellen, die an ein Röhricht bestandenes Ufer treffen

Foto:
K. Schoutens

2.3. Pflanzen in Augenhöhe

2.3.1. Pflanzenarten, ihre Merkmale und Wechselwirkungen

Tilla Schulte Ostermann und Vanessa Minden

Fragestellung

Die Pflanzenarten des Elbeästuars unterscheiden sich hinsichtlich ihres Vorkommens auf niedrig gelegenen, wellenexponierten Flächen zu höher gelegenen, wellenfernen Flächen. Die Fähigkeit zur Besiedlung unterschiedlicher Positionen entlang dieses Höhengradienten ist abhängig von den spezifischen Eigenschaften („Traits“) der Arten. Wie unterscheiden sich die dominanten Arten Salz-Teichsimse (*Schoenoplectus tabernaemontani*), Meer-Strandsimse (*Bolboschoenus maritimus*) und Schilf (*Phragmites australis*) hinsichtlich ihrer Eigenschaften und welche Wechselwirkungen existieren zwischen diesen Eigenschaften?

Ergebnisse

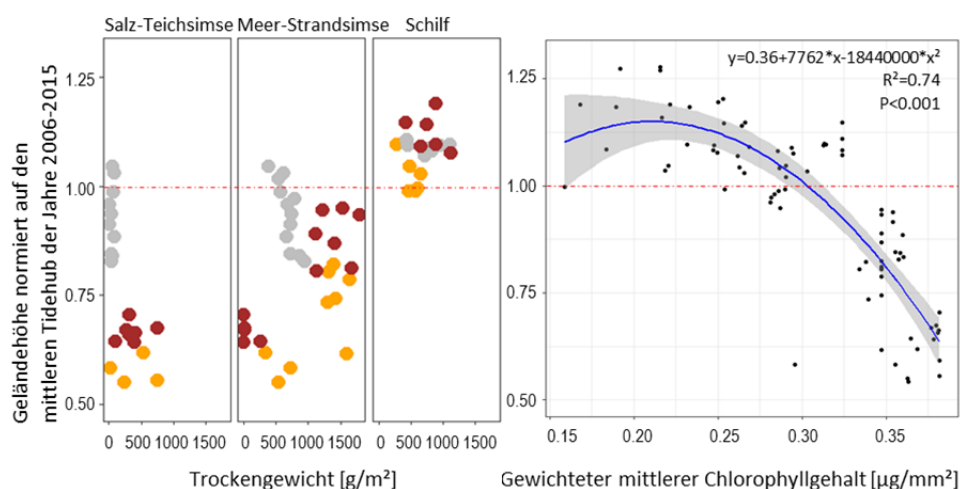
Aufgrund unterschiedlicher Stängelanzahlen und -gewichte unterscheiden sich die Trockengewichte pro m² zwischen den drei dominanten Arten und den Untersuchungsgebieten Balje, Hollerwettern und Krautsand (Abbildung 2-11).

Abbildung 2-11

(links):
Beitrag zur Stängelbiomasse (Trockengewicht) bis 1 m über Gelände-kante, berechnet in g/m² mit Bezug zur Gelände-höhe (1 = MThw-Linie, 0 = MTnw-Linie) und zum Untersuchungs-gebiet (rot: Balje, gelb: Hollerwettern, grau: Krautsand) für die Arten *S. tabernaemontani*, *B. maritimus* und *P. australis*.

Abbildung 2-12

(rechts):
Zusammenhang zwischen mittlerem Chlorophyllgehalt der Artengemeinschaft und der Geländehöhe (95%-Konfidenzintervall).



Die Meer-Strandsimse bildet die meiste Stängelbiomasse im 1 m-Abschnitt über der Geländekante, die Salz-Teichsimse am wenigsten. Das Schilf zeigt mittlere Gewichte. Die Produktion der Biomasse wird durch einen hohen Chlorophyllgehalt der Blätter ermöglicht (Abbildung 2-12). Dieser ist auf den tiefer gelegenen, länger überfluteten Flächen am höchsten. Zudem führt Konkurrenz um Sonnenlicht zu einer zeitlichen Verschiebung der Wachstumsphase zwischen einigen Arten. Die Sumpfdotterblume nutzt z. B. die kurze zeitliche Nische vor dem Aufwuchs des Schilfes für ihre Entwicklung (Abbildung 2-13). Die drei monotypisch auftretenden Röhrichtarten verfügen über ein ausgedehntes Rhizom und investieren viel ihrer Biomasse in unterirdische Organe (Abbildung 2-14).

Die Ufer der Tideelbe
im Wechselspiel von
Mensch und Umwelt
2018



Abbildung 2-13:
Sumpfdotterblumen
in Blüte.

Abbildung 2-14:
Wurzel und Rhizom
des Schilfes.

Fotos:
T. Schulte Ostermann

In der Biegefestigkeit ihrer Stängel unterscheiden sich die Arten deutlich: die der Salz-Teichsimse sind am biegsamsten, die der Meer-Strandsimse etwas steifer und Schilf-Stängel weisen die höchste Festigkeit auf (Abbildung 2-15). Die Biegefestigkeit hängt eng mit der Materialdichte des Stängels zusammen (Abbildung 2-16). Artgemeinschaften, die sich durch Stängel mit niedriger Biegefestigkeit auszeichnen, weisen auch eine geringe Materialdichte auf. Eine hohe Biegefestigkeit geht mit hoher spezifischer Materialdichte des Stängels einher.

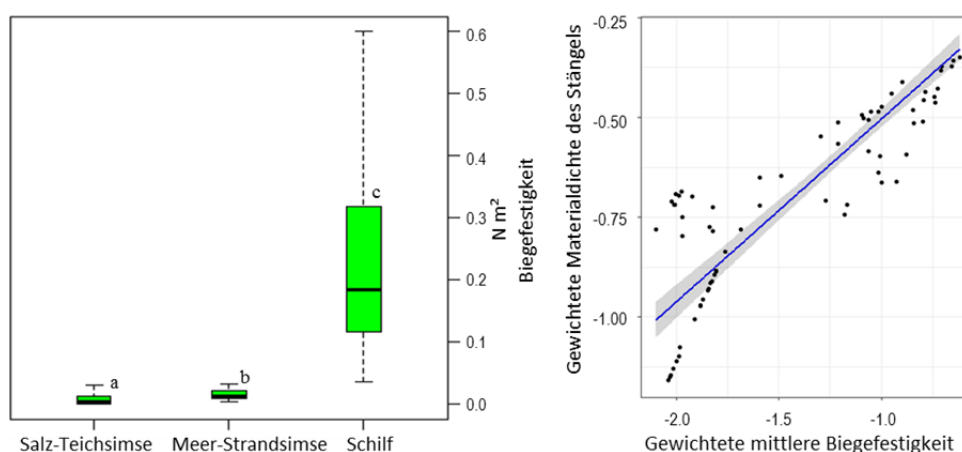


Abbildung 2-15
(links):
Biegefestigkeit des
Stängels der Salz-
Teichsimse, Meer-
Strandsimse und des
Schilfs, unterschiedliche
Buchstaben zeigen
signifikante Unter-
schiede, $p < 0.05$.

Abbildung 2-16
(rechts):
Zusammenhang zwi-
schen Materialdichte
des Stängels und mitt-
lerer Biegefestigkeit
(SMA, *standard major
axis* Regression mit
95%-
Konfidenzintervall).
Gewichtete Werte:
Produkt aus Mittel-
werten der Traits
verrechnet mit der
Häufigkeit einer Art
je Aufnahme fläche.

Die untersuchten Eigenschaften weisen auf unterschiedliche Strategien der Arten in Bezug auf die Wellendynamik der Standorte hin. Die Salz-Teichsimse ist mit dem biegsamsten Stängel der drei Arten am flexibelsten und kann sich mit den Wellen bewegen. Sie besiedelt wellenexponierte Flächen nahe den freien Wattflächen. Auf sie folgt die Meer-Strandsimse mit steiferen Stängeln. Etwa ab der mittleren Tidehochwasserlinie kommt das Schilf vor, welches über einen wenig biegsamen Stängel verfügt. Diese Art reagiert empfindlich auf mechanische Störung und besiedelt entsprechend geschütztere Bereiche als die vorherigen Arten.

Schlussfolgerung

- Die dominanten Arten zeigen deutliche Unterschiede in der Biegefestigkeit und Materialdichte des Stängels sowie ihrer oberirdischen Biomasse je Quadratmeter.
- Darüber hinaus zeichnen die dominanten Pflanzenarten dieser Standorte hohe Chlorophyllgehalte und eine hohe Investition in unterirdische Biomasse aus.
- Letzteres sorgt für Speicherung von Nährstoffen und Verankerung im Boden.

2.3.2. Pflanzenmerkmale, ihre Umwelt und Zusammenhänge

Tilla Schulte Ostermann und Ken Schoutens

Fragestellung

Die Pflanzen des gezeitengeprägten Vorlandes sind ständig Stress ausgesetzt. Trotzdem können sie dieser dynamischen und harschen Umwelt mit regelmäßiger Überflutung, Salz, Ufererosion- und Sedimentablagerung sowie Strömungen und Wellen trotzen (Abbildung 2-17). Grund hierfür sind ihre spezifischen Anpassungen an die Umweltbedingungen in Form von unterschiedlichen Pflanzeigenschaften („Traits“).



Abbildung 2-17:
Überflutete Pionier-
röhrichte sind Wind-
und Schiffswellen
ausgesetzt.

Foto:
K. Schoutens

Welche Umwelt-
faktoren filtern die
Pflanzenarten und
bedingen ihr räum-
liches Vorkommen
entlang eines Hö-
hengradienten im
Elbeästuar?
Welche Eigen-
schaften bilden die
Arten als Antwort
auf die Umwelt-
faktoren aus? Wel-
che Muster bestehen zwischen diesen Pflanzenmerkmalen und den Standortfaktoren?

Die Auswertung der Umweltparameter, der räumlichen Verteilung der Arten und ihrer Eigenschaften zeigt einen deutlichen Einfluss der Geländehöhe (Tabelle 2-3):

Ergebnisse

Die Auswertung der Umweltparameter, der räumlichen Verteilung der Arten und ihrer Eigenschaften zeigt einen deutlichen Einfluss der Geländehöhe (Tabelle 2-3):

Korrelationskoeffizienten		
Variable	Achse 1	Achse 2
Norm. Geländehöhe	-0,98	0,06
Sandgehalt	0,00	0,23
Stickstoff (min.)	-0,56	-0,31
Überflutungsdauer	0,91	0,14
Welleneinwirkung	0,76	-0,70
Wellenreduktion	-0,93	0,37
Materialdichte Stängel	-0,64	0,36
Spezifische Blattfläche	-0,85	-0,72
Chlorophyllgehalt	0,89	0,72
Massenanteil Stängel	-0,79	-0,36
Massenanteil Rhizom	0,78	0,83
Biegefestigkeit	0,24	0,91

Tabelle 2-3:
Korrelations-
koeffizienten der Va-
riablen mit den Ach-
sen der RLQ. Ein
hoher Wert zeigt eine
hohe (positive oder
negative) Korrelation
mit der jeweiligen
Achse an. Varianz
erklärt durch
Achse 1: 97%,
Achse 2: 3%.

Auf niedrigeren Flächen mit hoher Überflutungsdauer investieren die Arten viel in Rhizome und weisen einen hohen Chlorophyllgehalt auf (Abbildung 2-18, Quadrant rechts oben).

Auf höher gelegenen Flächen mit einer hohen Materialdichte und hoher Biegefestigkeit des Stängels ist auch die Wellenreduktion hoch (Quadranten links). Die Welleneinwirkung wiederum ist auf den tieferliegenden Flächen höher, wo Arten mit geringerer Biegefestigkeit wachsen (Quadrant rechts unten).

Auf Flächen mit höherem Stickstoffgehalt im Boden zeigen die Arten einen großen Anteil

Stängelbiomasse. Pflanzenarten mit einer höheren spezifischen Blattfläche, die mit wenig Material viel Blattfläche erzeugen können, sind auf den eher höher gelegenen Flächen zu finden (Quadrant links unten).

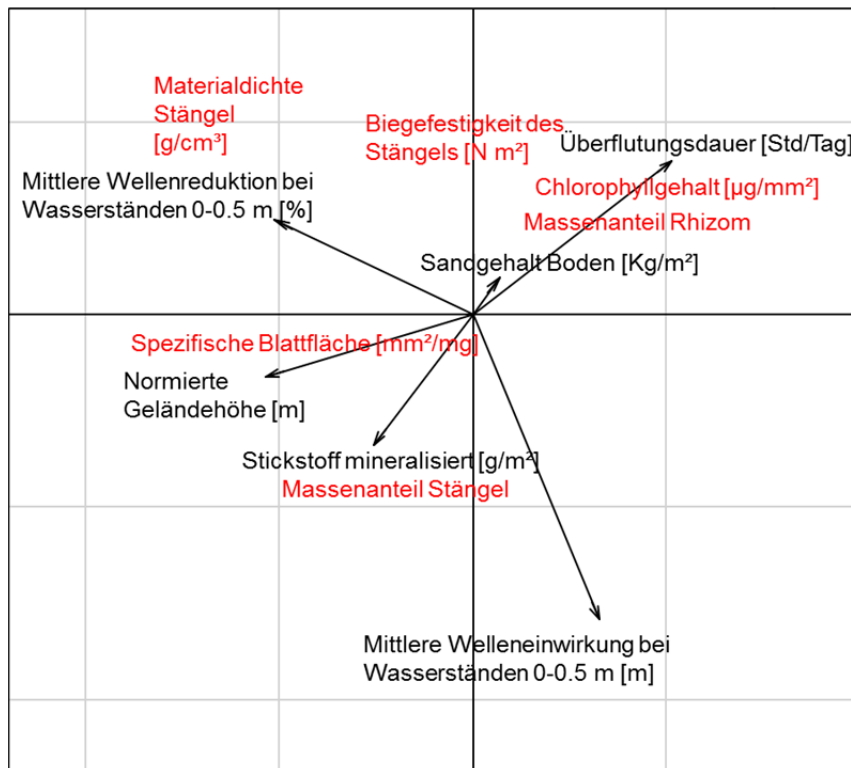


Abbildung 2-18:
Ordinationsanalyse
der Artfrequenzen
und Eigenschaften der
Pflanzen mit den
Umweltfaktoren
(RLQ). Umweltfak-
toren: Geländehöhe
normiert auf den mitt-
leren Tidehub der
Jahre 2006-2015, min-
eralischer (min.)
Stickstoff, Überflu-
tungsdauer, Sandge-
halt, Wellen-
einwirkung, Wellen-
reduktion. Eigen-
schaften der Pflan-
zen:
Materialdichte des
Stängels, Biegefestig-
keit, Chlorophyllge-
halt, Massenanteil Rhi-
zom, Massenanteil
Stängel, spezifische
Blattfläche.

Schlussfolgerung

- Die Pflanzenarten im Untersuchungsgebiet ordnen sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften vor allem entlang der Umweltgradienten Geländehöhe und Überflutungszeiten an.
- Artspezifische Pflanzenmerkmale z. B. die höhere Biegefestigkeit der Pflanzenstängel führen zu einer höheren Wellenreduktionsleistung (siehe Abbildung 2-19).

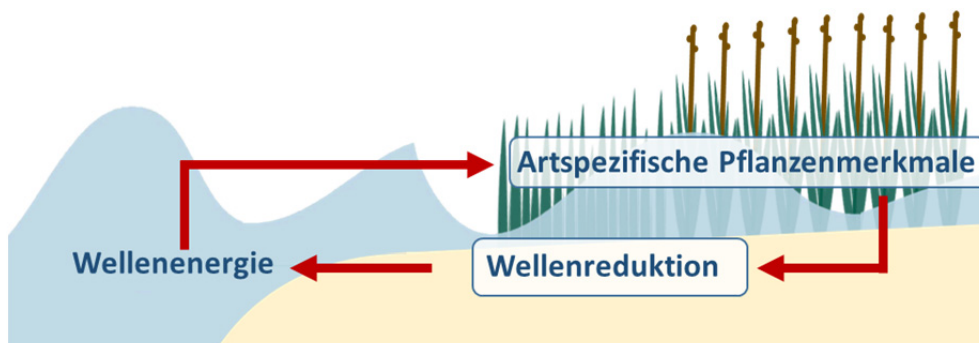


Abbildung 2-19:
Prinzip der Wechsel-
wirkungen zwischen
Welleneinwirkung,
Eigenschaft der Pflan-
zenarten und ihre
Wellenreduktion.

2.4. Pflanzen aus der Luft

2.4.1. Vegetation und Watt – Was können Drohnen erfassen?

Görres Grenzdörffer

Fragestellung

Der Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge (UAS, Abbildung 2-20), umgangssprachlich auch Drohnen genannt, bietet für vegetationskundliche Fragestellungen viele Vorteile. Drohnen können z. B. in sehr unwegsamem Gelände wie der Tideelbe schnell, berührungslos und kostengünstig hochaufgelöstes und georeferenziertes Bildmaterial liefern. Im Gegensatz zu vegetationsbestandenen Wattflächen entspricht auf freien Wattflächen das Oberflächenmodell auch dem Geländemodell,

d. h. vertikale Veränderungen sind direkt messbar. Durch Passpunkte oder einem hochgenauen GPS-Empfänger an Bord der Drohne sind mittlerweile zentimetergenaue Luftbilder und 3D-Modelle Realität. Im Folgenden, wird die Frage beantwortet, was die UAS-gestützte Erfassung der Vegetation und der Wattoberfläche an der Tideelbe leisten kann.



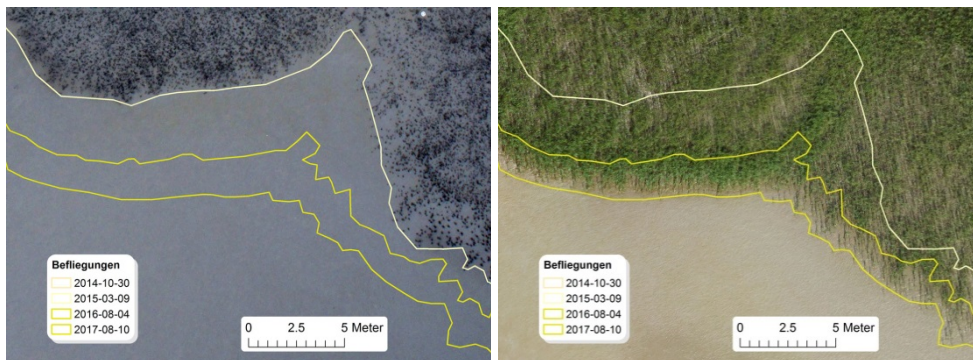
Abbildung 2-20:
Starrflügler UAS
Ebee+ mit RTK-GPS
und unterschiedlichen
Sensoren.

Foto:
G. Grenzdörffer

Ergebnisse

Die Vegetation im Tidebereich unterliegt kontinuierlichen phänologischen Veränderungen. Diese sind durch Drohnenaufnahmen zu verschiedenen Zeiten gut zu erkennen. Neben qualitativen Aussagen sind auch quantitative Informationen zur Veränderung der Pflanzenvitalität und des Bedeckungsgrads der Pflanzen über den Vergleich eines Vegetationsindex ableitbar (vgl. Kap. 2.4.2).

Abbildung 2-21:
Ausbreitung der Ve-
getation am Standort
Hollerwettern um bis
zu 8 Metern im Zeit-
raum Oktober 2014
(links) bis August
2017 (rechts).
Die Linien repräsen-
tieren die Vegetati-
onskante. Sie verän-
dert sich nicht zwis-
chen Herbst 2014
und Frühjahr 2015.



Durch multitemporale Aufnahmen können Prozesse und Entwicklungen beschrieben werden (Abbildung 2-21). Im Rückblick der letzten Jahre haben sich die Vegetationsgrenzen zum Wasser hin an verschiedenen Standorten recht unterschiedlich entwickelt. Während sich die Vegetation in Hollerwettern mit ein bis zwei Metern pro Jahr kontinuierlich ausgebreitet hat, bleibt die Vegetationsgrenze z. B. in

Bielenberg stabil. Hier verändert sich nur die Artenzusammensetzung (GRENZDÖRFFER & SCHRÖDER 2017).

Häufig können drei Zonen von dominanten Arten identifiziert werden. Die Bilddaten werden mit einem Fehler $< 5\%$ klassifiziert (Abbildung 2-22). Ausgehend von der Wattfläche ohne Vegetation in Richtung Deich kommt zunächst ein meist schmaler Saum an Salz-Teichbinse. Die zweite Zone wird dominiert von Strandbinse. Die dritte Zone bildet Schilf.

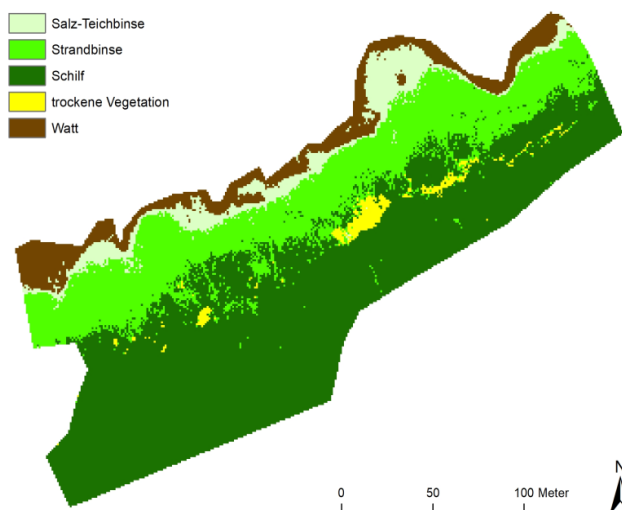


Abbildung 2-22:
Röhrichtzonierung für
den Standort Balje.
Diese Karte wurde auf
Basis des Multi-
spektral-Datensatzes
mit Hilfe eines
Random-Forest-
Klassifikators berech-
net (500 Bäume,
Klassifikations-
genauigkeit: 96.3 % ,
GRENZDÖRFFER &
BEYER 2018).

Die aus den UAS-Daten abgeleiteten Oberflächenmodelle liefern beispielsweise wertvolle Informationen über die Veränderungen der Vegetationsoberfläche und damit auch der hydraulischen Bremswirkung der Vegetation im Zeitraum zwischen Anfang August und Ende September (Abbildung 2-23).

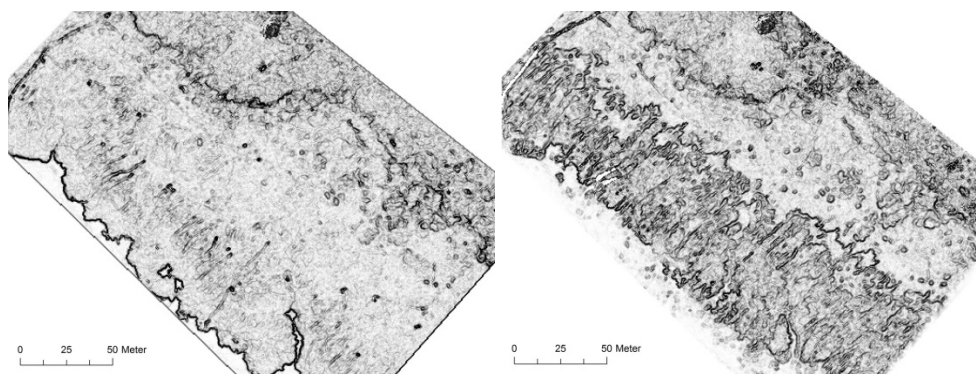


Abbildung 2-23:
Digitales Oberflä-
chenmodell (*Slope*
Gradient, KOKALJ *et*
al. 2011) Standort
Hollerwettern
10.8.2017 (links) und
25.9.2017 (rechts).

Schlussfolgerungen

- Für quantitative Aussagen zu Vegetationsstrukturen sind einerseits spektral kalibrierte Sensoren und zum anderen Geländedaten als Referenz erforderlich.
- Die UAS-Befliegungen der letzten vier Jahre beweisen, dass es möglich ist, Vegetationsentwicklungen über die Jahre zentimetergenau zu quantifizieren und saisonale Vegetationsstrukturen zu visualisieren.
- Die Dominanzbestände der Vegetation können mit einer sehr hohen Genauigkeit (Fehlerrate $< 5\%$) klassifiziert werden.
- Auch geringe vertikale Veränderungen von wenigen Zentimetern können auf den Wattflächen identifiziert werden. Häufig gleichen sich diese Veränderungen zwischen den Jahren wieder aus.

2.4.2. Pflanzenmerkmale im Feld und aus der Luft

Florian Beyer und Görres Grenzdörffer

Fragestellung

Um das Potenzial von multispektralen UAS-Befliegungen zur Erfassung von Pflanzenmerkmalen zu quantifizieren, wurden im Rahmen des tibass-Projekts an den Standorten Hollerwettern, Balje und Krautsand UAS-Befliegungen und umfangreiche Feld-Untersuchungen (*Ground Truth*) mit verschiedenen Pflanzenparameter im August und September 2017 durchgeführt. Letztere werden als punktuelle Referenzmessungen benötigt, um diese Parameter, wie z. B. die Stängelanzahl pro Fläche oder die Wuchshöhe in Kombination mit den fernerkundlichen Daten in die Fläche zu übertragen. Die Daten sollen zur Validierung von Modellen und zum Verständnis des Ökosystems genutzt werden. Zusätzlich sind in dem schwer zugänglichen Gelände hochgenaue Daten zur Topographie erfasst worden, da diese

durch die Vegetation verdeckt ist und somit nicht photogrammetrisch erfasst werden kann. Im Einzelnen sind folgende Parameter im Feld gemessen worden:

- dominierende Pflanzenarten
- Stängelanzahl pro Fläche
- Stängeldicke der Pflanzen
- Pflanzenhöhe
- Biomasse, inklusive Wassergehalt
- photosynthetisch aktive Strahlung (PAR)
- genaue GPS-Position

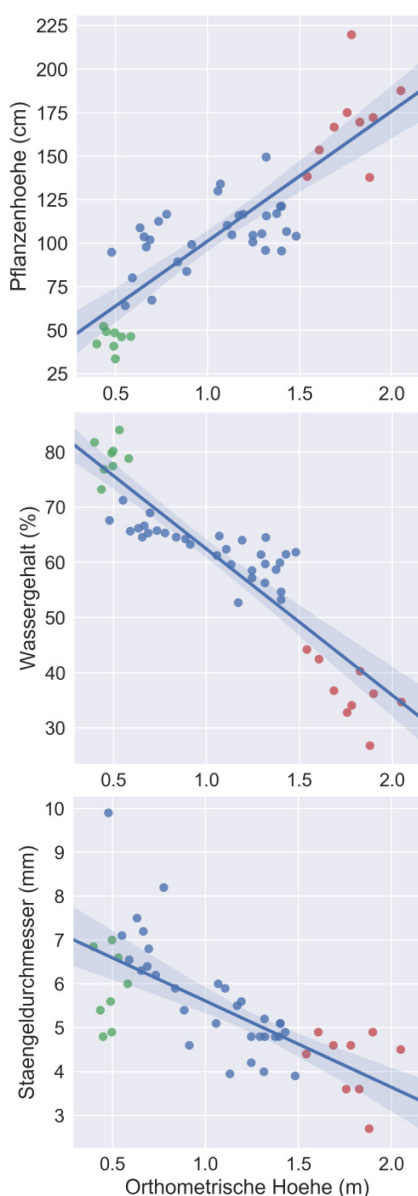


Abbildung 2-24:
Lineare Regression
der *Ground-Truth*-
Daten Pflanzenhöhe
($y = 72.72x + 29.33$,
 $R^2 = 0.71$), Wassergehalt
($y = -26.55x + 88.99$,
 $R^2 = 0.82$) und Stängeldurchmesser
($y = -2.12 + 7.80x$,
 $R^2 = 0.55$) zur Geländehöhe (x, orthometrische Höhe);
grün = Teichsimse,
blau = Strandsimse,
rot = Schilf.

Ergebnisse

Aufbauend auf einer statistischen Analyse (Abbildung 2-24) der erhobenen Vegetationsparameter untereinander, werden spezielle statistische Verfahren genutzt, um die Geländemessungen unter Nutzung eines multisensoralen Datensatzes – sprich basierend auf mehreren Kameras – in die Fläche zu übertragen (Abbildung 2-25). Betrachtet man zunächst die statistische Analyse der gemessenen Pflanzenparameter, kann Folgendes festgehalten werden: Mit steigender Geländehöhe (Orthometrische Höhe) steigt auch die Höhe der Pflanzen (Abbildung 2-24 oben), was im Gelände auch gut nachvollziehbar ist. Dies bestätigt, dass die Geländehöhe und somit die Fluss-Ufer-Lage ein Schlüsselparameter ist, der ausschlaggebend für die Entwicklung der

Pflanzen auf den Wattflächen ist. Ebenfalls nehmen der Wassergehalt und der Stängeldurchmesser mit zunehmender Geländehöhe ab (Abbildung 2-24 Mitte und unten), d. h. je näher die Stängel der Strandsimse an der Marschkante sind, desto dicker sind sie. Dies bestätigen die bisherigen Erkenntnisse, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen Stängeldurchmesser und Strömungsgeschwindigkeit (CARUS *et al.* 2016) bzw. Wellenexposition (SILINSKI *et al.* 2017) fanden. Jedoch sind die gemessenen PAR-Werte erst ab einer gewissen Stängelanzahl pro Fläche sinnvoll mit der Pflanzenhöhe und damit schlussendlich mit der Biomasse korreliert.

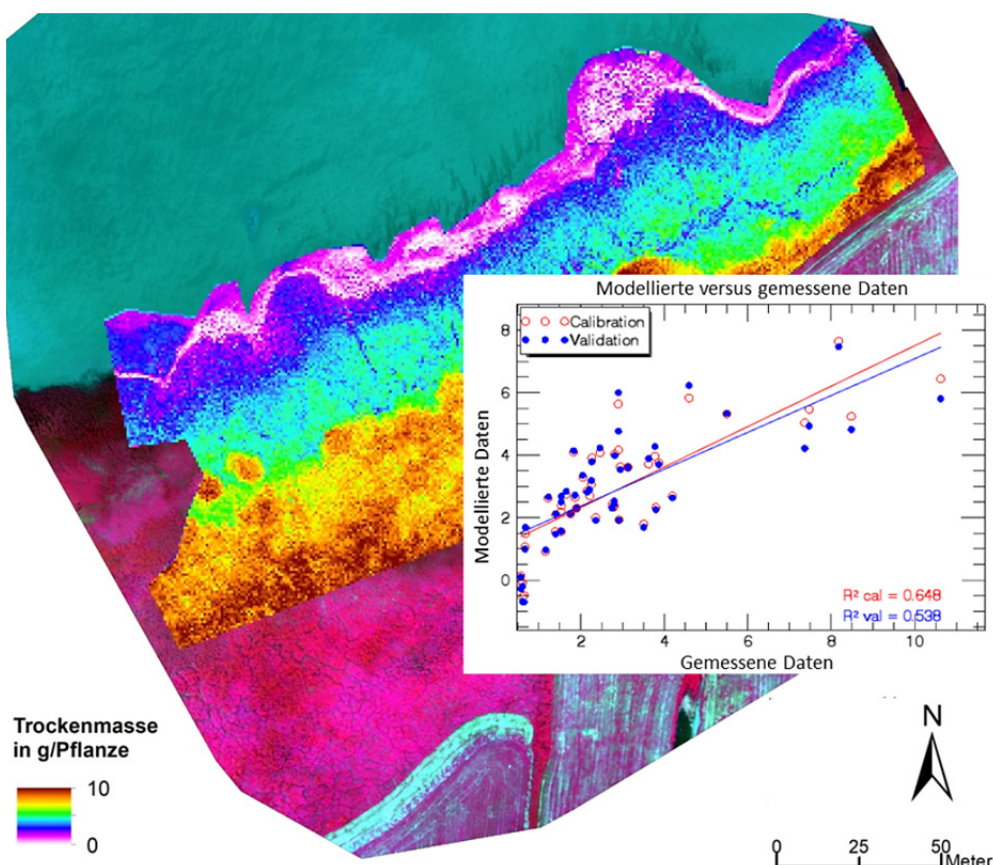


Abbildung 2-25:
Modellierte Trocken-
masse in g/Pflanze
abgeleitet aus der
gemessenen Trocken-
masse und den Da-
tensätzen der Rot-,
Grün-, Blau- sowie
Nahen Infrarotkanäle
(von zwei Kamera-
sensoren erhoben).
Der Modellierung
liegt eine *Partial Least
Squares Regression*
(PLSR) zu Grunde.

Schlussfolgerungen

- Methodisch konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe einer PLS-Regression die meisten im Feld gemessenen Pflanzenparametern mit den zeitgleich erfassten fernerkundlichen Daten in die Fläche übertragen werden können.
- Weiterhin kann die PLSR-Karte der Geländehöhe genutzt werden, um den Wassergehalt und die Stängeldurchmesser auf die gesamte Fläche zu übertragen. Dabei hat sich gezeigt, dass Pflanzenhöhe, Trockenmasse, Wassergehalt oder auch der PAR-Wert relativ eng mit den spektralen Werten der Vegetationsoberfläche korrelieren.
- Gleichwohl gibt es andere Parameter wie die Stängelanzahl pro Fläche, die nur gering korrelieren. Hier sind alternative Ansätze notwendig, um z. B. die Stängel drohnenbasiert im Winter konkret zu zählen.

2.5. Pflanzen im Experiment

Ken Schoutens und Stijn Temmerman

Fragestellung

Die tide- und brackwasserbeeinflussten Ufer der Elbe zeigen häufig eine klare Zonierung der verschiedenen Röhrichte. Vom Wasser in Richtung Land siedeln zuerst die Pionierarten Salz-Teichsimse (*Schoenoplectus tabernaemontani*) und Meer-Strandsimse (*Bolboschoenus maritimus*), die dann vom Schilf im Deichvorland abgelöst werden (*Phragmites australis*, Abbildung 2-26).

Jedoch lassen sich auch Ufer beobachten, die nur aus der Schilfzone bestehen.

GIS-Analysen zu Vegetations- und Höhendaten an Haupt- und Nebenarmen der Weser und Elbe gaben den Hinweis, dass wahrscheinlich Strömungen und Wellen die Zonierungsabfolge der Vegetation wesentlich beeinflussen (HEUNER *et al.* 2018). Diese Hypothese wurde mit einem Feldexperiment 2018 überprüft, um Erkenntnisse für den natürlichen Uferschutz zu gewinnen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse auch aus Sicht des Naturschutzes und für die Bewertungskriterien zur Zielerreichung der WRRL interessant.

Abbildung 2-26:
Ufer mit typischer
Röhrichtzonierung
(links) und Ufer, die
nur mit Schilf be-
siedelt sind (rechts).

Fotos:
Ingenieurbüro
WWK



In dem Experiment werden Überlebensraten und Wachstum der Röhrichte von wellenexponierten und wellengeschützten Wattflächen gegenübergestellt (Abbildung 2-28). Hierfür wurden im Frühjahr benachbarte Röhrichte auf die freie Wattfläche transplantiert.

Abbildung 2-27:
Einbau der Weidenfa-
schinen im Februar.

Foto:
K. Schoutens





Abbildung 2-28:
Transplantationsexperiment:
links: mit Weidenfaschinen geschützte
Vegetation,
rechts: ungeschützte,
exponierte Vegetation.

Fotos:
K. Schoutens

Die Hälfte wurde mit Weidenfaschinen geschützt, die das WSA Hamburg dankenswerterweise errichtet hat (Abbildung 2-27). Die Wellen- und Strömungsbelastung wurde über ebenfalls über die Vegetationsperiode mit Messsonden erfasst.

Ergebnisse

Die Überlebensraten von *S. tabernaemontani* und *B. maritimus* ändern sich über die Vegetationsperiode wenig. Auch lässt sich kein bedeutender Unterschied zwischen den wellenexponierten und den wellengeschützten Standorten erkennen (Abbildung 2-29). Hingegen nimmt die Überlebensrate von *P. australis* stärker über die Vegetationsperiode ab, vor allem auf den wellenexponierten Standorten. Die Wellenhöhe der geschützten Standorte weist eine Wellenreduktion von bis zu 30% gegenüber den wellenexponierten Standorten auf.

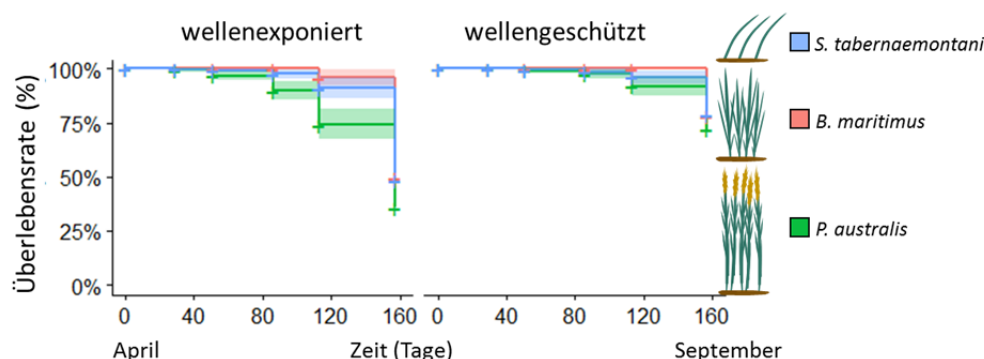


Abbildung 2-29:
Überlebensrate der
Röhrichte während
der ersten Vegetationsperiode. Das Schilf hat eine geringere Überlebensrate auf den wellenexponierten Standorten gegenüber den anderen Röhrichtarten.

Schlussfolgerungen

- Aufgrund seiner niedrigeren Überlebensrate scheint das größere, jedoch sprödere Schilf schlechter die Wellenbelastung in der Pionierzone zu ertragen als die flexiblen und kleineren Simsen (vgl. Kapitel 2.3).
- Weitere Auswertungen des Transplantationsexperimentes werden folgen.
- Spannend wird sein, ob sich die Pflanzen auch in der nächsten Vegetationsperiode gegenüber den Wellen behaupten können.

2.6. Pflanzen als C-Speicher

Vanessa Minden und Tilla Schulte Ostermann

Fragestellung

Ökosystemeigenschaften wie biogeochemische Prozesse und Kreisläufe sind stark von den Pflanzeigenschaften ('Traits') der lokalen Gemeinschaft abhängig.

Ebenso spielen die vorherrschenden Umwelteinflüsse eine große Rolle. Wie unterscheiden sich die Nährstoffgehalte von Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) im Pflanzengewebe zwischen unterschiedlichen Standorten und wie stehen diese mit den Zersetzungsraten (Dekomposition) im Zusammenhang? Dies wird mit einem Dekompositionsexperiment im Gelände an den tibass-Standorten untersucht (Abbildung 2-30).



Abbildung 2-30:
Dekompositions-
beutel verblieben
neun Monate im Ge-
lände.

Foto:
T. Schulte Ostermann

Ergebnisse

Die C- und N-Gehalte der oberirdischen Biomasse (Blätter und Stängel) steigen

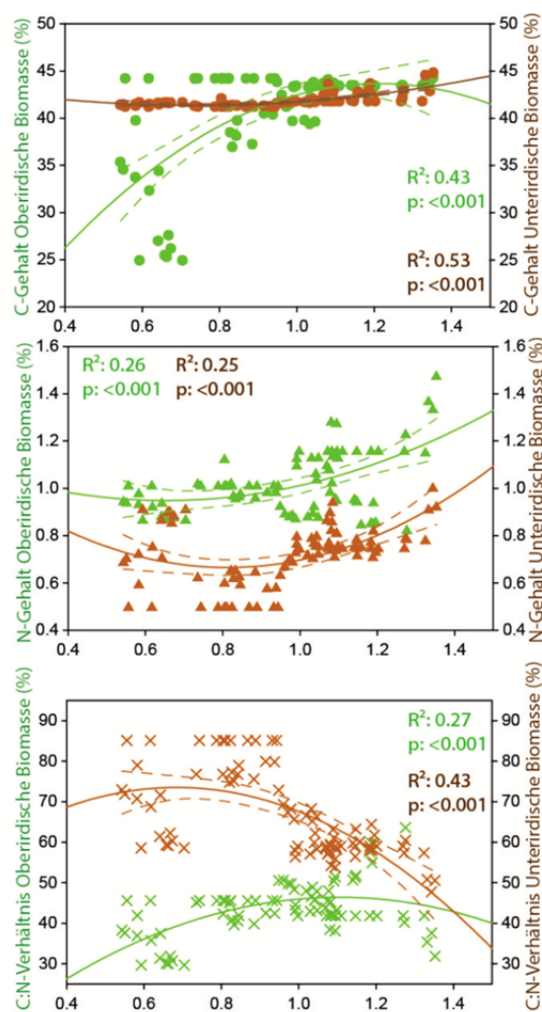


Abbildung 2-31:
C- und N-Gehalt so-
wie C:N-Verhältnis
oberirdischer (grün)
und unterirdischer
(braun) Biomasse in
Relation zur Gelände-
höhe.

entlang des Höhengradienten (Abbildung 2-31 oben und Mitte). Der C-Gehalt der unterirdischen Biomasse (Wurzel und Rhizome) unterscheidet sich entlang des Höhengradienten kaum und entspricht ungefähr dem der oberirdischen Biomasse auf den höchst gelegenen Flächen. Der N-Gehalt der unterirdischen Biomasse ist deutlich niedriger als der der oberirdischen Biomasse, was der Grund des höheren C:N-Verhältnisses der unterirdischen Biomasse ist (Abbildung 2-31).

Zur Bestimmung des Umwelteinflusses auf die Dekomposition wurden die Zersetzungsraten von Heu und ‚nativer Streu‘, d. h. der trockenen Biomasse der Pflanzen an den jeweiligen Standorten, gemessen. Die Zersetzungsraten beider sind nahe der Vegetationskante (~0.6 normierte Gelän-

dehöhe) sowie auf den höchst gelegenen Flächen am höchsten und zeigen nahe der MThw-Linie (normierte Geländehöhe =1) geringere Werte (Abbildung 2-32).

Die Zersetzungsrate von Heu ist generell höher als die der nativen Streu. Des Weiteren ist sie weniger variabel als die der nativen Streu. Die Werte der letzteren streuen stärker, d. h. die Dekompositionsraten ähnlich hoch gelegener Standorte unterscheiden sich stärker voneinander als die des Heus. Diese Unterschiede sind auf die jeweiligen Pflanzeigenschaften der Artgemeinschaften zurückzuführen.

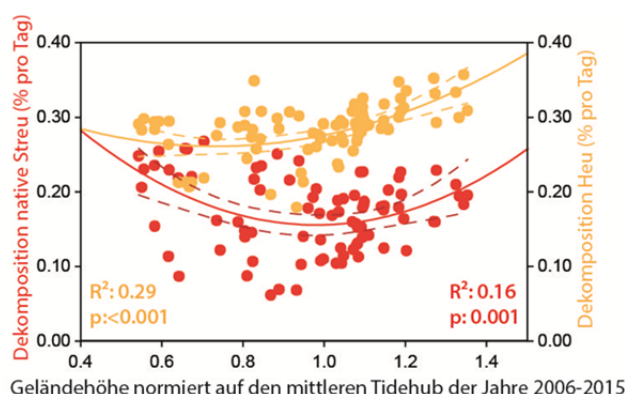


Abbildung 2-32:
Dekompositionsraten
nativer Streu (rot)
und Heu (gelb) in %
pro Tag in Relation
zur Geländehöhe.

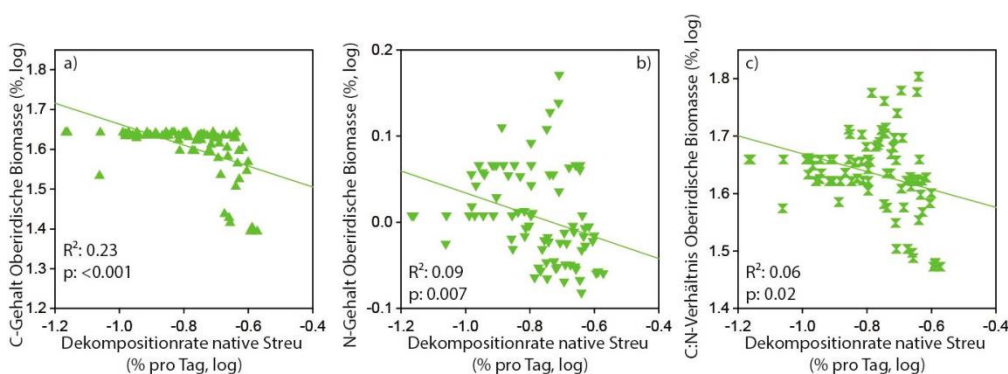


Abbildung 2-33:
C- und N-Gehalt und
C:N-Verhältnis ober-
irdischer Biomasse in
Relation zu den De-
kompositionsraten der
nativen Streu, log-
Skala.
Alle Zusammenhänge
sind statistisch signifi-
kant (*Major Axis Re-
gression*, mit $p < 0.05$).

Wie zu erwarten, konnte folgender Zusammenhang belegt werden: je höher die C-Gehalte und das C:N-Verhältnis, desto niedriger die Zersetzungsraten (Abbildung 2-33 links und rechts). Trotz starker Streuung steigt auch der N-Gehalt im Pflanzengewebe mit abnehmender Zersetzungsrate. Dies ist entgegen der Erwartungen (Abbildung 2-33 rechts), da normalerweise Pflanzengewebe mit guter N-Versorgung schneller mikrobiell abgebaut wird als solches mit geringen N-Werten. Ein Grund könnten die ähnlich hohen Zersetzungsraten auf niedrigen und hoch gelegenen Flächen sein (Abbildung 2-32).

Schlussfolgerungen

- Die geringeren Zersetzungsraten der nativen Streu im Vergleich zum herkömmlichen Heu verdeutlichen das Potenzial der Röhrichte, aufgenommenen Kohlenstoff lange zu speichern.
- Die Zersetzungsraten werden durch weitere Pflanzenvariablen und Umwelteigenschaften bestimmt, die direkten und indirekten Einfluss auf die Dekomposition organischen Materials nehmen.
- Welche Variablen den stärksten Einfluss nehmen, wird in weiterführenden Analysen evaluiert.

3. Boden

Elmar Fuchs und Carolin Schmidt-Wygasch

Mit Boden ist wissenschaftlich der oberste, im Regelfall belebte Teil der Erdkruste gemeint. Hier treffen die Substrate wie Gestein oder Sediment, Wasser, Luft und Lebewesen aufeinander. Komplexe Interaktionen, den sogenannten bodenbildenden Prozessen (Abbildung 3-4) sorgen für die Entstehung einer dreidimensionalen zeitlich sich verändernden – also vierdimensionalen – Raum-Zeit-Struktur. Die durch den Boden zur Verfügung gestellten Funktionen machen wir uns zu Eigen und ziehen daraus spezifischen Nutzen. Die prominentesten Vertreter dabei sind die Ernährung oder die Fläche.

Abbildung 3-1:
Uferböden an der
Tideelbe. Sie müssen
erheblichen Kräften
standhalten. Können
sie dies nachhaltig
leisten?

Foto:
E. Fuchs



In diesem Sinne fängt der Boden in einem Ästuar wie der Tideelbe erst am Ufer an. Die Bodenbildung ist hier zunächst ein Spiegelbild hydromorphologischer Prozesse der Elbe. Wichtige bodenbildende Prozesse im intertidalen

Bereich zwischen MTnw und MThw werden primär durch die wechselnden Wasserstände sowie das Strömungsmuster gesteuert.

Für das Management der Tideelbe ist es dabei wichtig zu wissen: Welche Rolle und Funktionen übernehmen die Uferböden für die menschlichen Nutzungen wie z. B. die Sicherstellung des Ufer- und damit des Elbeverlaufs, die Dämpfung von eingebrachter Wellenenergie (Abbildung 3-1), den Raum für ökologisch wertvolle Lebensräume und auch Erholungsmöglichkeit für den Menschen (Abbildung 3-2)?

Abbildung 3-2:
Kinder benutzen die
Wattflächen als Rutsche.

Foto:
M. Heuner



Dem Stellenwert des Bodens, seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften und den darauf aufbauenden Bodenfunktionen wie z. B. Filter für Stoffflüsse oder die Rolle im Uferumfeld wird in zahlreichen Untersuchungen an der Tideelbe wie z. B. der UVU zur Fahrrinnenanpassung 1997, der Beweissicherung oder im aktuellen Monitoringprogramm wie dem Makrophytenmonitoring Rechnung getragen.

In den Projekten *ElbService* und *tibass* haben wir uns der Fragestellung gewidmet: Wie robust und belastbar sind eigentlich die natürlichen Uferböden in der durch hydraulischen Stress geprägten Umwelt der Wasserstraße Tideelbe? Dazu haben wir die Böden vor Ort im Gelände (Abbildung 3-3) untersucht, Bodenproben im Labor analysiert und außerdem Feldversuche (vgl. auch Kapitel 3.5) durchgeführt.



Abbildung 3-3:
Geländeunter-
suchungen von Wat-
ten an der Tideelbe -
zumeist eine schlamm-
ige Angelegenheit.
Die Kenntnis der Ver-
hältnisse vor Ort ge-
hört fraglos zur Inter-
pretation aller im
Labor gewonnenen
Ergebnisse dazu.

Fotos:
N. Stoppe (links)
M. Heuner (rechts)

Alle Ergebnisse und ihre Interpretation dienen dazu, Prozesse im Uferökoton – hier verstanden als der Übergangsbereich zwischen dem Ökosystem Wasser und Ökosystem Land – zu klären und Antworten auf folgende Fragen zu finden:

Was sind die stabilisierenden und destabilisierenden Parameter? Wie gehen Erosion und Sedimentation vonstatten? Gibt es einen regionalen oder auch zeitlichen Trend? Gibt es eine jahreszeitliche Dynamik? Wie geht das Kräftemessen zwischen Wasser, Sediment und Boden aus? Wie spielen hierbei Boden und Vegetation Flora zusammen?

Und letztlich, sind die Erkenntnisse für das künftige Ufermanagement an der Wasserstraße Tideelbe verwendbar?



Abbildung 3-4:
Kalkmarsch an der
Tideelbe. Deutlich
erkennbar ist die
Schichtung mit ver-
schiedenen Korngrö-
ßen und resultieren-
den Auswirkungen auf
bodenbildende Prozes-
se.

Foto:
C. Schmidt-Wygasch

3.1. Böden der Ufer

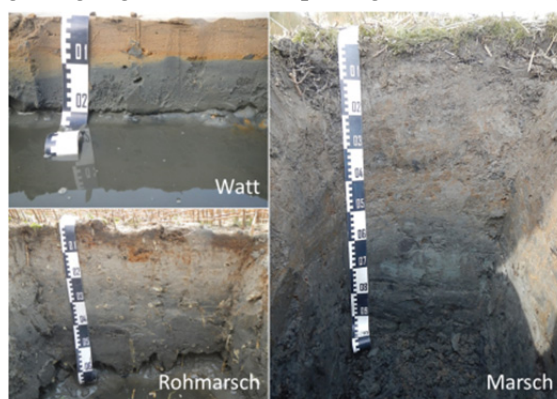
Elmar Fuchs, Peter Horchler und Carolin Schmidt-Wygash

Über die Uferböden der Tideelbe zwischen MTnw und MThw ist in verfügbaren Quellen wenig zu erfahren. Zumeist gehen die Informationen in flächigen Darstellungen von Bodentypen des gesamten Deichvorlandes auf. Feld- und Laboranalysen gibt es häufig nur punktmäßig aus einzelnen Forschungsprojekten oder an Pilotstandorten (vgl. Kapitel 3.2).

Ein Grund dafür mag sein, dass Sedimente, Watten und Marschen heterogen, kleinräumig verteilt und damit schematisch schwer darstellbar sind. Erosion und Ablagerung ergeben kleinmorphologische Änderungen und hinterlassen eine Vielzahl

Abbildung 3-5:
Entwicklungsstufen
der Böden im Quer-
gradient der Ufer an
der Tideelbe, vom
boden genetisch kaum
entwickeltem Watt
über den dominieren-
den Uferboden Roh-
marsch bis hin zur
Marsch, die sich vor-
nehmlich oberhalb
MThw etabliert.

Fotos:
N. Stoppe

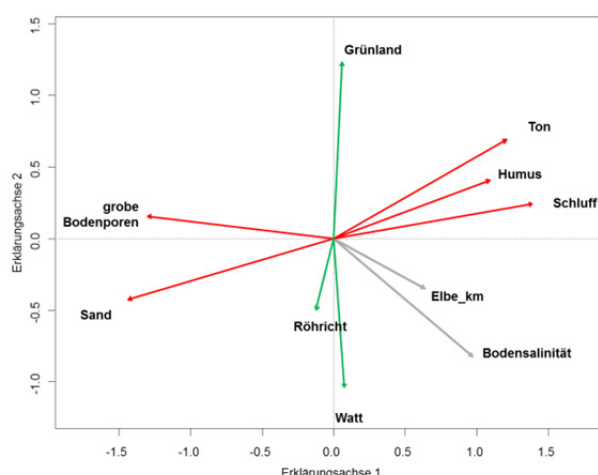


von Bodenarten in unmittelbarer Nachbarschaft. Quergradienten wie Dauer der Bodenentwicklung und Grundwasserflurabstand, Längsgradienten wie Zu- und Abnahme der Salinität aber auch Bewuchs und Landnutzung lassen ein Mosaik unterschiedlichster Bodentypen (Abbildung 3-5) entstehen. Wir haben uns intensiver mit den Uferböden befasst und

zwischen Geesthacht und Cuxhaven jeweils Watten, Rohmarschen und Marschen näher angeschaut. Auch Bodenproben wurden genommen und im Labor analysiert (vgl. Kapitel 3.3).

Im Datenpool aller untersuchten Bodenproben sind mittels statistischer Hauptkomponentenanalyse, welche die Laborergebnisse anhand ihrer Ähnlichkeit gruppiert

Abbildung 3-6:
Hauptkomponenten-
analyse (PCA) der
Laborergebnisse von
162 Bodenproben.
Erklärungsanteil der
ersten Achse 42%, der
zweiten Achse 18%.



und die dafür verantwortlichen Erklärungsanteile berechnet, die Gradienten klar zu erkennen (Abbildung 3-6). Der ausgeprägte Hauptgradient zeigt sich in der Verteilung der Bodenart zusammen mit dem Vorkommen organischer Bodensubstanz entlang der ersten Achse (rote Pfeile). Die zweite Achse spiegelt die Nutzung (grüne Pfeile),

welche mit für die Entwicklung der Böden verantwortlich ist. Ein dritter nicht mehr stark erklärender Gradient (graue Pfeile) zeigt sich im Längsverlauf der Elbe, ausgedrückt durch die Lage der Probennahme am Elbkilometer und den Längsgradient der Salinität.

Von Geesthacht elbabwärts werden die Bodenarten zunehmend feinkörniger. Der zunächst dominierende Sand wechselt bis Brunsbüttel zu Lehmen und Schluffen. Weiter in Richtung Elbmündung ergibt sich dann ein Wechselspiel aus den genannten Bodenarten.

Der Längsgradient an Salinität im Elbwasser (Tabelle 3-1) konnte bedingt in den Bodenanalysen bestätigt werden, jedoch vorwiegend in den regelmäßig überfluteten Watten. In den bodengenetisch weiter entwickelten Rohmarschen und Marschen ist der Trend weniger erkennbar. Generell wurden in den Böden elbabwärts Hamburg vorwiegend oligohaline Bedingungen vorgefunden, der Bodensalinitätsgrad ist deutlich weniger stark ausgeprägt als erwartet.

Diese Pufferung der mit der Elbe unter Tideeinfluss mit- und eingebrachten wasserchemischen Verhältnisse zeigt sich mit landeinwärts fortschreitender Bodenentwicklung auch in den pH-Werten, dem Humusgehalt

Salinität in PSU (Practical Salinity Units; 1 PSU = 0,1‰)	
Limnisch Süßwasser Geesthacht bis Wedel	< 0,5
Oligohalin brackisch-limnisch Wedel bis Glückstadt	0,5-3
Mesohalin brackisch-marin Glückstadt bis Brunsbüttel	3-18
Polyhalin Meerwasser Brunsbüttel bis Scharhörn	18-30
Euhalin Meerwasser	>30

Bodensalinitätsklassen in EC _{Sättigungsextrakt} mS cm ⁻¹	
Frisch, nicht salin	0-2
schwach salin	2-4
mäßig salin	4-8
stark salin	8-16
Sehr stark salin	>16

Tabelle 3-1:
Einstufung von Salinitätsgehalten im Wasser (linker Teil, nach BrG 2008) und im Boden (rechter Teil, nach OSMAN 2013).

oder der effektiven Austauschkapazität, einer annähernden Beschreibung des ökologisch wirksamen Stoffbestandes der Böden. Bodenschichten, die häufig tidebedingt mit Elbwasser gesättigt sind, haben eine hohe Streubreite im Stoffbestand. Bei fortschreitender Bodenentwicklung verstetigt sich der Stoffbestand, und zwar vorwiegend im Oberboden. Hier wird auch die physikochemische Aggregation der Bodenpartikel aktiv, was dem Boden eine Eigenstabilität gibt.

Für die Bodenentwicklung und damit die Ausbildung stabiler Bodenverhältnisse am Ufer ist der Quergradient vom Wasser zum Land deutlich wichtiger als der stoffliche Längsgradient der Tideelbe. Mehr zur Bodenstabilität können Sie in Kapitel 3.3 nachlesen.

Schlussfolgerungen

- Die Bodenarten der Uferböden werden elbabwärts zunehmend feinkörniger. Abwärts Brunsbüttel ist das Bodenartenmuster heterogen.
- In den Uferböden ist der Salinitätsgradient der Tideelbe deutlich weniger ausgeprägt als im Elbwasser. Es herrschen brackische Verhältnisse vor.
- Die Chemie der Elbe prägt vorwiegend die häufig gesättigten Böden unterhalb MThw wie Rohmarschen und Watten sowie in tieferen Bodenschichten.
- Die weitere Bodenentwicklung in Richtung Vorland von der Rohmarsch zur Marsch puffert die durch das Elbewasser systemisch eingetragenen wasserchemischen Verhältnisse.
- Fortschreitende Bodenentwicklung führt, vorwiegend im Oberboden, zu einer Verstetigung des Stoffbestandes. Physikochemische Prozesse werden eingeleitet, welche die stabilisierend wirkende Aggregation der Bodenpartikel anschiebt.

3.2. Böden der Ufer als Karte

Carolin Schmidt-Wygasch und Elmar Fuchs

Fragestellung

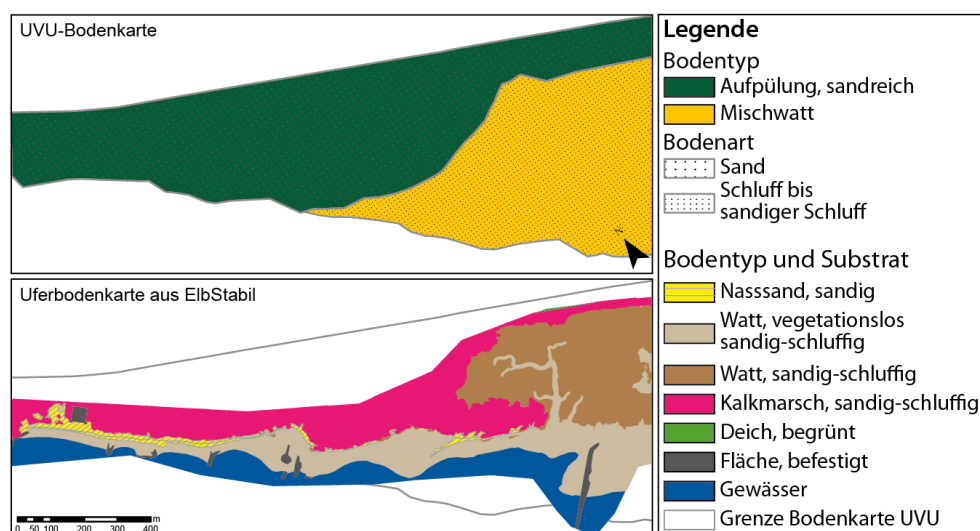
Karten sind Ausgangspunkt und Grundlage für Forschungen. Sie geben Eindruck über die räumlichen Gegebenheiten und mit ihnen werden Untersuchungsdesigns aufgestellt. Reichen für überregionale Fragestellungen kleinmaßstäbige Bodenkarten aus, sind sie für lokale Bedürfnisse häufig zu grobauslösend und spiegeln nicht genügend die kleinräumigen Gegebenheiten wider. So können z. B. vor Ort sandige Substrate vorgefunden werden, auch wenn die Karte schluffige oder tonige Böden ausweist. Die Geländearbeiten der verschiedenen Projekte an der Tideelbe fanden immer wieder andere Verhältnisse vor als erwartet. Daher war es notwendig, für die Uferböden eine neue Grundlage zu schaffen mit der Frage: Wie verteilen sich zwischen Geesthacht und Otterndorf die ufernahen Böden kleinräumig hinsichtlich ihrer Boden- und Substrattypen?

Ergebnisse

Die Abbildung 3-7 vergleicht die UVU-Bodenkarte von 1997 mit der neuen Uferbodenkarte. Der Bereich am Fährmannssander Watt, Schleswig Holstein verdeutlicht, wie wichtig eine Weiterentwicklung durch Kontrolle und Neuaufnahmen von Bodenkarten ist.

Abbildung 3-7:
Vergleich der Boden-
karten aus der UVU
1997 (oben) und der
Uferbodenkarte 2016
(unten) im Bereich
Fährmannssander
Watt.

Darstellung:
C. Schmidt-Wygasch



Die Neuauflage für den Uferbereich MThw +/- 100 Meter führten Kerstin Grabowsky, Stefan Melchior (melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft GbR) und Alexander Gröngröft (IfB der Universität Hamburg) durch. Dafür wurden vorhandene Bodendaten diverser Projekte recherchiert. Die Datenqualitäten und -vollständigkeits der Profildaten hatten dabei z. T. deutliche Unterschiede. Die Daten wurden harmonisiert, in einer Datenbank zusammengestellt und für eine flächige Darstellung im GIS aufbereitet. Anhand der Verteilung im Betrachtungsgebiet erfolgte die Konzeptionierung einer sinnvollen Datenverdichtung durch neue Geländekartierungen.

Die Ufer der Tideelbe
im Wechselspiel von
Mensch und Umwelt
2018

Insgesamt wurden 271 Profile bis 100 cm unter Geländeoberfläche fachgutachterlich neu kartiert um Lücken zu schließen (Abbildung 3-8). Dadurch ergibt sich für den gesamten Bereich der Tideelbe, dass im Längsverlauf etwa alle zwei Kilometer ein Quertransekt liegt. Seine Probepunkte wurden jeweils im Watt mit und ohne Vegetation sowie im Röhrichtgürtel und Grünland angelegt bzw. zu vorhandenen Daten ergänzt.



Abbildung 3-8:
Bodenaufnahme im
vegetationslosen Watt.

Fotos:
C. Schmidt-Wygasch

Durch Verschneidung mit der Biotoptypenkartierung unter Berücksichtigung der Bodenprofildaten, Höhenlagen über MThw, Biotoptypen, Flussmorphologie und Beobachtungen vor Ort wurden Bodeneinheiten abgegrenzt. Jeder räumlichen Bodeneinheit liegt mindestens ein Referenzprofil zu Grunde, das die Fläche charakterisiert.

Die Uferbodenkarte wurde 2016 auf dem Geoportal der BfG veröffentlicht (Abbildung 3-9) und steht zur freien Verfügung.

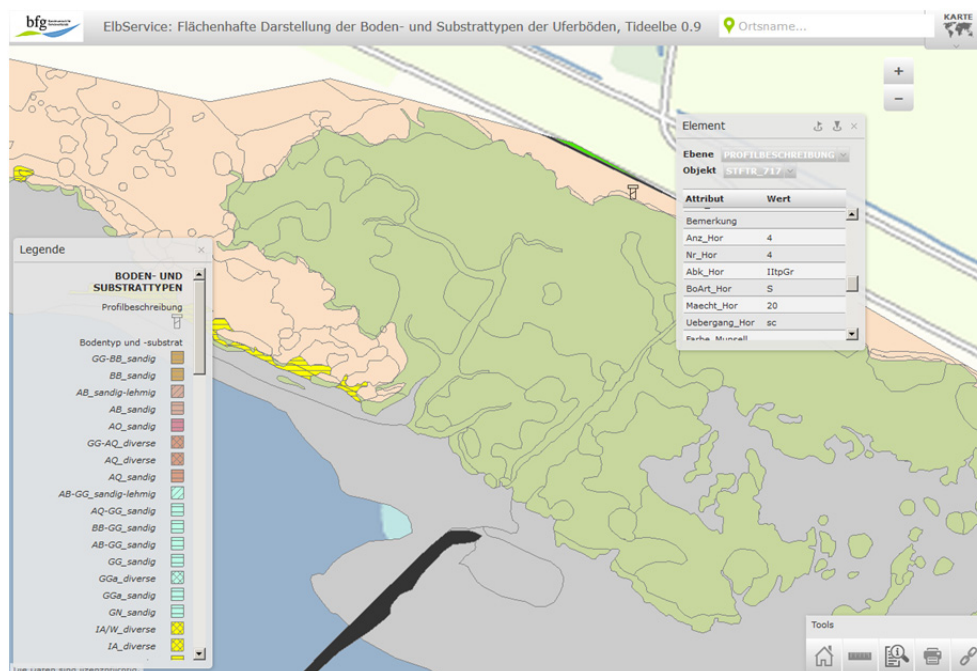


Abbildung 3-9:
Ausschnitt der
Uferbodenkarte auf
dem Geoportal. Neben
der Darstellung der
flächenhaften Boden-
und Substrattypen
stehen auch die Be-
schreibungen der Re-
ferenzprofile und ihre
jeweilige Quelle zu
Verfügung.

Schlussfolgerungen

- Für die uferbildenden Böden an der Tideelbe liegt nun eine großmaßstäbige Karte vor. Die Bodeneinheiten sind durch i. d. R. ein Meter tiefen Profildaten beschrieben.
- Online abrufbar unter: http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/ElbService_Boden/index.html?lang=de
- Die Uferbodenkarte bildet eine Grundlage für vertiefende Einsichten, z. B. die Darstellung der intrinsischen Bodenstabilität wie auch weiterführende Analysen der Wirkungskette Boden-Vegetation im Uferbereich.

3.3. Böden unter der Lupe

Nina Stoppe, Rainer Horn und Carolin Schmidt-Wygasch

Fragestellung

Naturnah ausgebildete Ufer besitzen einen besonderen Wert für Artenvielfalt, Erholung und Gewässerqualität. Allerdings sind speziell die uferbildenden Böden, Watten und Sedimente hydromechanischen Belastungen durch bspw. Wellenschlag ausgesetzt. Sind die Belastungen zu groß, müssen die Ufer technisch geschützt werden, um Erosion und damit den Verlust der Vorländer zu vermeiden. Wie wi-

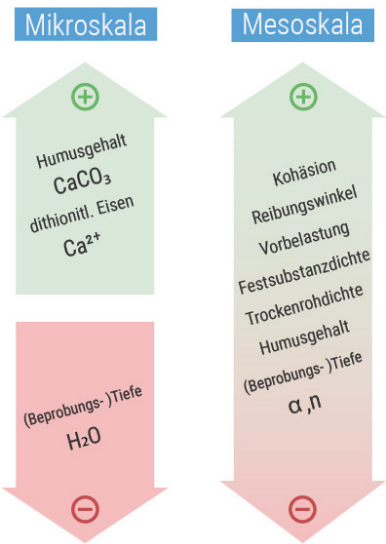


derstandsfähig die Böden gegenüber einwirkenden Belastungen sind bzw. wie sich das mechanische Verformungsverhalten äußert (Abbildung 3-10), hängt von vielen Faktoren ab. Daher wurden im Teilprojekt

ElbStabil die Stabilität von Uferböden unter variierenden Bedingungen untersucht sowie die konkret stabilisierenden bzw. destabilisierenden Parameter bestimmt.

Ergebnisse

Die großräumige Analyse und Bewertung der Uferböden umfasste Analysen an 27 Standorten entlang der Tideelbe unter Einbeziehung sich ändernder Quergradienten wie Bodenentwicklung (Gewährleistung durch Transekte à 3 Profile) und Längs-



gradienten wie Sodizität, der Zunahme von Natrium (Na) Richtung Mündung. Als Novum erwies sich der innovative skalenübergreifende Ansatz, welcher zusätzlich zu den klassischen bodenphysikalischen Parametern, bodenmechanische Untersuchungen auf Aggregatverbundenebene (Mesoskala, NEUGEBAUER 2015) und Partikel-Partikel-Ebene (Mikroskala, STOPPE 2015) kombiniert (Tabelle 3-2). Die Stabilitäten auf Meso- und Mikroskala werden durch verschiedene Faktoren in unterschiedlicher Ausprägung beeinflusst (Abbildung 3-11). Auf beiden Skalen wird das Verformungsverhalten gegenüber mechanischer Belastung wesentlich durch Bodentextur und Wassergehalt bzw. Matrixpotenzial beeinflusst.

Abbildung 3-11: Stabilisierende (+) und destabilisierende (-) Faktoren auf Mikro- & Mesoskala. Bei der Mesoskala kann die Wirkung beim Humusgehalt, dem Winkel der inneren Reibung, der Kohäsion, der Festsubstanzdichte sowie der beiden van Genuchten Parameter α und n nicht deutlich differenziert werden.

Tabelle 3-2: Zusätzlich zur Geländeaufnahme an gestörten und strukturierten Bodenproben durchgeführte Laboranalytik.

Laboranalytik (Bodenmaterial i. d. R. aus folgenden Tiefen [cm]: Grünlandprofile oberhalb MThw: 10, 30, 50 & 70; Röhrchprofile im Bereich des MThw: 10, 30 & 50; Wattprofile zwischen MTnw und MThw: 10 & 30)	
Bodenchemische Parameter	elektrische Leitfähigkeit (EC), pH-Wert, Carbonatgehalt, Humusgehalt, Korngrößenverteilung, Kationenaustauschkapazität (KAK), pedogene Eisenoxide (Fe_o , Fe_d)
Bodenphysikalische Parameter	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (k_f), Wasserretentionsvermögen (pF/WG), Trockenrohdichte (ρ_d), Kohäsion (c), Winkel der inneren Reibung (ϕ)
Mesoskala	Vorbelastung (P_v) (statischer Stabilitätsparameter, Eigenfestigkeit), Kompressibilitätsindex (cn) (dynamischer Stabilitätsparameter), Eindringwiderstand (Q)
Mikroskala	Rheologie (dynamische Kenngrößen z. B. Integral z , Cross-over, linear-viskoelastischer Bereich (LVE))

Die erhobenen Daten erlauben einen relativen Abgleich der standortspezifischen Stabilitäten (Abbildung 3-12). Um die mikrostrukturelle Stabilität rechnerisch vorhersagen zu können, wurde - differenziert nach Bodentextur und auf Grundlage statistischer Beziehungen – Pedotransferfunktionen aus statischen Stabilitätskenngrößen der Mesoskala (z. B. ρ_t) und ergänzenden bodenchemischen Parametern (z. B. Humusgehalt) entwickelt. Mit dieser Modellierung gelingt die Verknüpfung von Partikel-Partikel- und Aggregatverbundebene, wobei der statistische Zusammenhang bei jüngeren Böden mit weniger weit fortgeschrittener Gefügebildung stärker ist (STOPPE *et al.* 2014).

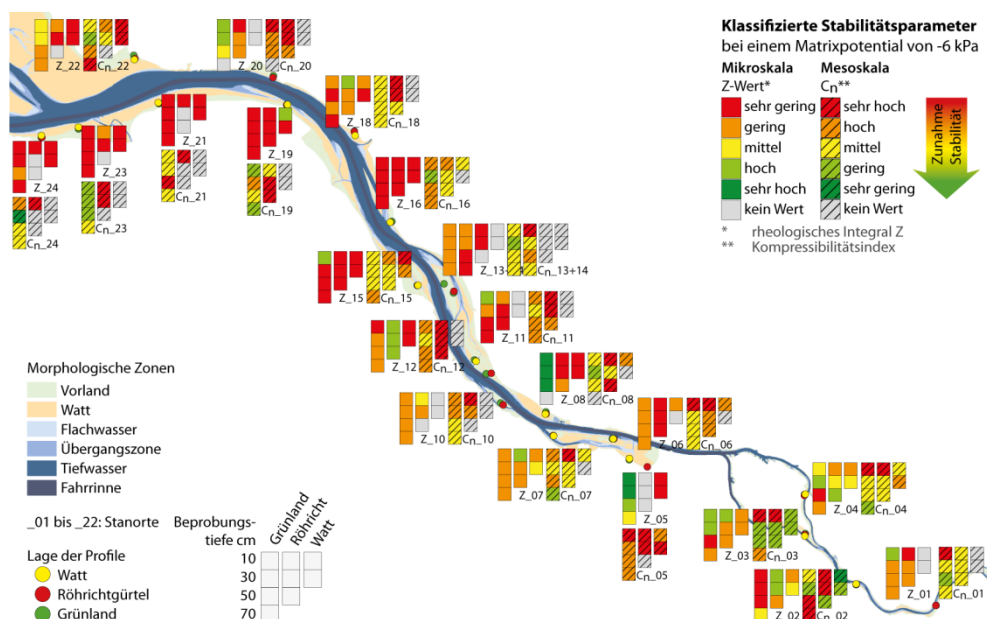


Abbildung 3-12:
Dynamische Stabilitätsparameter auf Mikroskala (rheologische Messungen, Z-Wert) und Mesoskala (Kompressibilitäts-index Cn, Klassifizierung erfolgte nach Textur).

Analysen:
N. Stoppe und T. Neugebauer

Darstellung:
C. Schmidt-Wygasch

Um die relativen Einschätzungen der mechanischen Belastbarkeit zu konkretisieren, wurden Penetrometermessungen (Bestimmung der Bodenfestigkeit durch Eindringwiderstände) an homogenisiertem und strukturiertem Bodenmaterial sowie im Gelände durchgeführt. Bisher konnten unter definierten Rahmenbedingungen (ρ_t , Matrixpotenzial) für homogenisiertes Probenmaterial statistische Beziehungen zwischen dem maximal auftretenden Eindringwiderstand (Q_{max}) und verschiedenen rheologischen Parametern (*Cross-over*, LVE) hergestellt werden, so dass ausgehend von rheologischen Eigenschaften Rückschlüsse auf den Eindringwiderstand möglich sind.

Schlussfolgerungen

- Die Datenbasis erlaubt eine relative Einschätzung der Stabilitäten uferbildender Böden.
- In Abhängigkeit der Bodentextur wurden skalenübergreifend stabilisierende und destabilisierende Faktoren identifiziert.
- Die Stabilität der Uferböden hängt wesentlich von Bodentextur und Wassergehalt bzw. Matrixpotenzial ab.
- Die Hochskalierung der mikroskaligen Ergebnisse ist an Böden mit geringer Gefügeentwicklung möglich.
- Auf Grundlage rheologischer Eigenschaften lässt sich der Eindringwiderstand prognostizieren.

3.4. Böden unter Druck

Roland Riggert, Rainer Horn und Carolin Schmidt-Wygasch

Fragestellung

In der Land- und Forstwirtschaft werden seit Jahrzehnten Belastungen von Maschinen auf den Boden gemessen, um irreversible Schäden zu bestimmen. Ein speziell entwickeltes Messsystem, das *Stress State Transducer System* (SST), bestehend aus Sensorköpfen mit sechs Druckaufnehmern (Abbildung 3-13), quantifiziert den Spannungszustand im Boden, welcher durch eine Befahrung induziert wird. Der Vergleich dieser Spannungsdaten mit weiteren bodenphysikalischen Messdaten ermöglichte, Aussagen über Bodenstabilitäten und potenzielle Schäden zu treffen und weitere Bodendegenerationen zu verhindern. Neben anthropogen verursachten Spannungen, können auch natürliche Belastungen die Stabilität von Böden gefährden. Im Bereich von Flüssen und ihren Ufern erzeugt das anstehende und sich bewegende Wasser natürliche Drücke. Im Rahmen des Projektes *ElbStabil II* sollen die Auswirkungen des Wassers und mögliche Konsequenzen für die Uferstabilität entlang der Tideelbe quantifiziert werden.

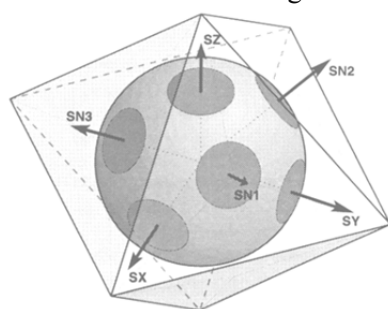


Abbildung 3-13:
Schematische Darstellung eines SST-Sensorkopfes mit sechs Dehnmessstreifen.

Quelle:
verändert nach Harris
& Baker 1993

Konzept

Die vorhandene SST-Messtechnik wurde an die Gegebenheiten von Uferböden angepasst: Sensitivere und wasserdichte Messköpfe, optimierte Speicherfrequenzen und eine dauerhafte Datenaufnahme ermöglichen, den unter Wasser wirkenden hydrostatischen Druck durch das Gewicht der Wassersäule als Funktion von Spannungen im Boden zu bestimmen.

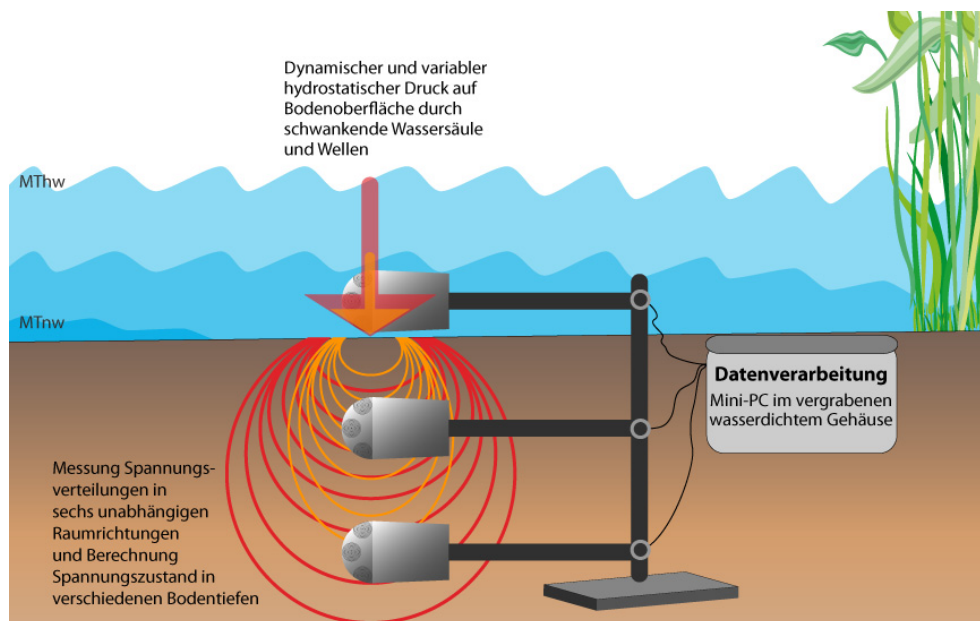


Abbildung 3-14:
Schema der Installation der Watt-SST vor der Vegetationskante.

Darstellung:
C. Schmidt-Wygasch

Des Weiteren können dynamischen Drücke, welche insbesondere im Bereich der Tideelbe durch Gezeiten und Wellen entstehen, so erstmalig gemessen werden. Die spezielle Konstruktion – der Einsatz von drei Messsensoren in unterschiedlichen Tiefen und die dauerhafte Datenmessung – erlaubt die Bestimmung des Spannungszustandes für mehrere Bodenschichten als Funktion von Ebbe und Flut und additiver Einwirkungen wie zum Beispiel Wellenschlag (Abbildung 3-14).

Erste Messungen

Erste Versuchsreihen mit einem Prototypen mit einer noch geringen Messauflösung von einer Messung pro Minute und einer einzelnen Messzelle zeigen eine Korrelation zwischen dokumentierter Wasserstandshöhe der Elbe und den gemessenen Spannungen im Uferbereich bei Hollerwettern (vgl. Abbildung 3-15). Nach der abgeschlossenen Testphase erfolgte die Konstruktion des neuen Watt-SST (Abbildung 3-16).

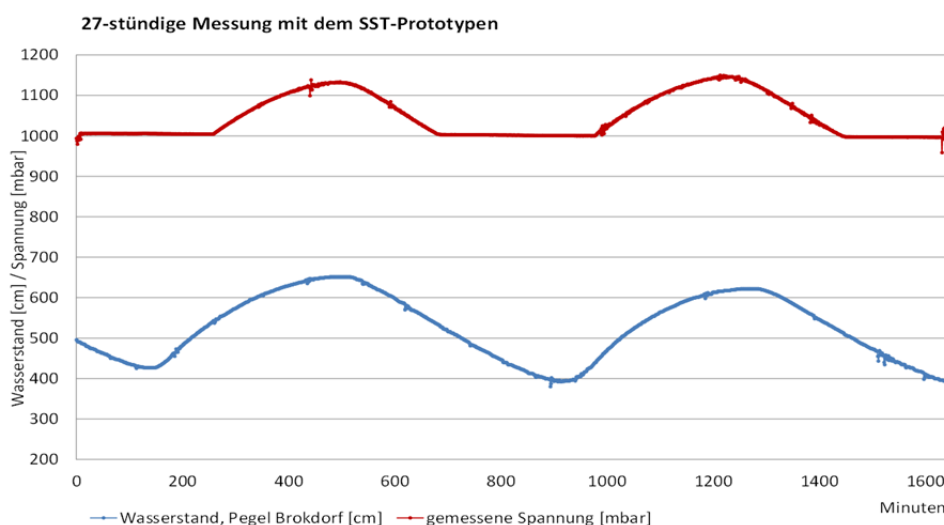


Abbildung 3-15:
Ergebnisse der Wasserstands- und Spannungsmessungen am Standort Hollerwettern im Bereich der Tideelbe.

Darstellung:
R. Riggert



Abbildung 3-16:
Watt-SST mit drei Messsensoren und den jeweils sechs Druckaufnehmern.

Fotos:
R. Riggert

Ausblick

- Langzeitmessungen (Tage bis Wochen) in mehreren Tiefen sowie die höhere Messauflösung (40 Messungen pro Sekunde) werden in Zukunft Belastungsereignisse im Uferbereich der Elbe dokumentieren.
- Die Kombination mit bodenphysikalischen Messungen sowie Wellensensoren werden neue Erkenntnisse zum Wechselspiel zwischen hydrostatischem sowie dynamischen Druck und dem Bodenverhalten aufzeigen.
- Aus den gewonnenen Daten lassen sich Bodenstabilitäten und mögliche Erosionsereignisse ableiten und helfen, in Zukunft eine nachhaltige Uferbewirtschaftung zu ermöglichen.

3.5. Sedimentdynamik im Jahresverlauf

Ken Schoutens, Maike Heuner und Stijn Temmerman

Fragestellung

Gezeitenbeeinflusste Vorländer sind Wellen und Strömungen ständig ausgesetzt. Sie sind dadurch hochdynamische Lebensräume. Verschiedene natürliche Prozesse wirken der Erosion durch Wellen und Strömungen entgegen, indem sie das Sediment festigen. Sie variieren mit dem jahreszeitlichen Verlauf. Um die jahreszeitlichen Veränderungen in der Sedimentdynamik zu verstehen, müssen wir auch die jahreszeitlichen Veränderungen verstehen, die die Mechanismen der Sedimentdynamik steuern.



Abbildung 3-17:
Monatliche Sedi-
mentmessungen auf
der unbewachsenen
und bewachsenen
Wattfläche.

Foto:
K. Schoutens

Im Sommer bilden Kieselalgen eine Schutzschicht auf dem Sediment der Wattflächen. Auf höheren Wattflächen reduziert die Vegetation die mechanische Belastung von Strömungen und Wellen. Beides fixiert das Sediment. Durch die reduzierte Strömungs- und Wellenenergie kann sich Sediment ablagern. Im Herbst und Winter hingegen wird die Photosynthese einge-

stellt, die oberirdische Biomasse degradiert auf regelmäßig überfluteten Wattflächen. Algen und höhere Pflanzen werden weggespült. Der natürliche Erosionsschutz auf den Wattflächen reduziert sich. Die unterirdische Biomasse jedoch ist im Winter weiterhin in der Lage, das Sediment mit den Wurzeln und Rhizomen zu fixieren. Folglich fragen wir uns, ob sich die Erosion auf unbewachsenen Wattflächen im Winter verstärkt und ob im Vergleich auf den bewachsenen Wattflächen weniger Erosion stattfindet aufgrund der Fixierungsfunktion der Wurzeln. In den Jahren 2016/2017 wurden in drei Untersuchungsgebieten (Balje, Hollerwettern, Krautsand) monatlich die Geländehöhe gemessen (Abbildung 3-17)

Ergebnisse

Im Sommer dominiert die Sedimentation auf sowohl unbewachsenen (*tidal flat*) als auch bewachsenen (*marsh*) Wattflächen (Abbildung 3-18). Im Winter ist das Sediment stabil und nur in Krautsand, dem sandigsten Untersuchungsgebiet, erodiert das Sediment auf der unbewachsenen Wattfläche. Auf dem bewachsenen Watt findet weiterhin Sedimentation statt.

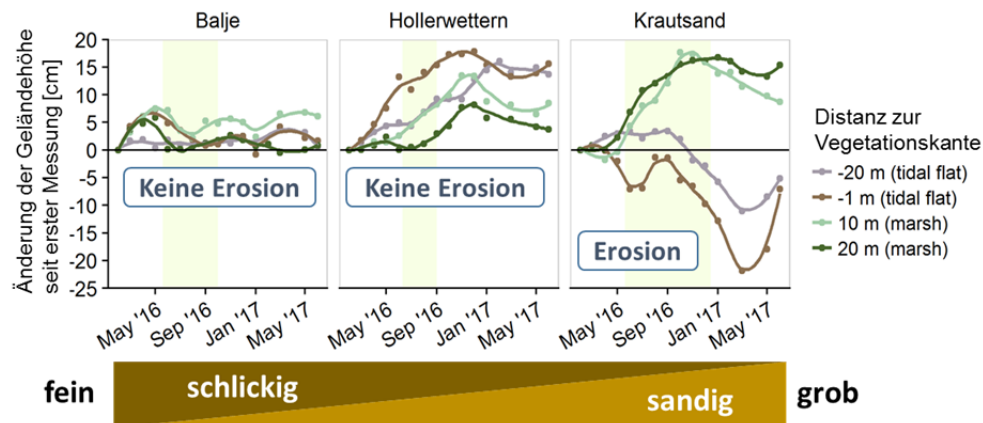


Abbildung 3-18:
Änderung der Geländehöhe im Jahresverlauf.

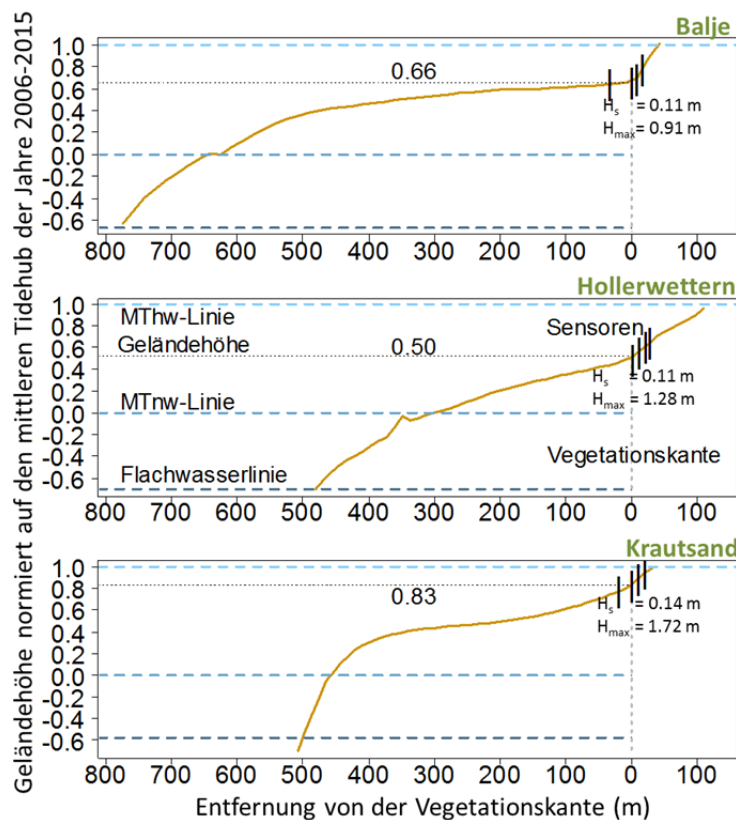


Abbildung 3-19:
Ufertopographie der
Untersuchungsgebiete.
Die Wattfläche von
Krautsand wölbt sich
leicht nach innen
(konkav). Die Vegeta-
tionskante ist dadurch
wellenexponierter als
die von Balje und
Hollerwettern (vgl.
Kap. 2.1). Obwohl
Krautsand zum
Tidehub höher liegt,
werden höhere Wellen-
höhen gemessen
(H_s = signifikante
Wellenhöhe, H_{max} =
maximal gemessene
Wellenhöhe).

Schlussfolgerungen

- Die überwiegende Sedimentation im Sommer bestätigt die Fixierungsfunktion von Algen und oberirdischer Biomasse.
- Die Sedimentation auf den bewachsenen Wattflächen im Winter auch in Krautsand lässt schließen, dass die unterirdische Biomasse mit ihren Wurzeln wesentlich das Sediment fixiert.
- Der höhere Sandanteil in Krautsand scheint die Erosion auf der unbewachsenen Wattfläche zu fördern. Hinzu kommt, dass die Ufertopographie hier eher konkav als konvex geformt ist. Das gibt den Hinweis, dass trotz der höheren Geländehöhe gerade bei höheren Sturmflutwasserständen der Standort wellenexponiert ist (Abbildung 3-19).

4. Ökosystemleistungen

Carolin Schmidt-Wygasch und Uwe Schröder

Ökosystemleistungen sind...

„... direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen, das heißt Leistungen und Güter, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen.“ (TEEB 2010).

Auch das Ökosystem Fluss mit seinen Ufern, Marschen und Auen bietet viele Ökosystemleistungen (ÖSL), wie beispielsweise Habitats für Flora und Fauna, Nährstoffretention oder Möglichkeiten für Freizeit und Erholung (Tabelle 4-1, Abbildung 4-1).

Tabelle 4-1:
Kategorisierung und Beispiele von Ökosystemleistungen in Anlehnung an *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES).

Bereitstellende Leistungen	Regulierende und aufrechterhaltende Leistungen	Kulturelle Leistungen
Rohstoffe Bau und Produktion, Brennstoffe, Viehfutter	Regulierung Stoffflüsse Masse-, Gas-, Luftflüsse, Flüsse von Wasser, Nährstoffkreisläufe	Erholung Möglichkeit für Erholung und Vergnügen
Wasserversorgung Filterung, Rückhalt und Speicherung von Wasser	Überflutungs- & Erosionskontrolle Bodenbildung und -retention, Sedi- mentrückhalt	Ästhetik Genuss an Landschaft und seinen Elementen, Vielfältigkeit Auen
Nahrung Nahrungspflanzen	Regulierung Klima u. a. Kohlenstoffspeicherung	Soziale Beziehungen Öffentliche Bereiche
Energie Biomassenbasierte Energie- ressourcen, mechanische Energie	Wasserreinigung, Abfallbeseitigung Abbau oder Zersetzung von Nähr- stoffen, Stoffverbindungen	Wissenschaft und Bildung Zugänglichkeit Flussauen, Erhö- hung Wissen
Genetische Ressourcen Erhaltung genetischer Vielfalt, naturmedizinische Stoffe für Arz- neimittel	Regulierung Naturrisiken, allg. Be- einträchtigungen Ökosystem Dämpfung von Umweltänderungen und -störungen	Natur- und Kulturerbe historisch gewachsene Land- schaften, Bewahrung standortty- pischer Flora & Fauna

Steigender Nutzungsdruck und langfristige Übernutzungen können zu einer Minderung bis hin zum Ausfall von ÖSL führen. Die vielfältigen Leistungen sind nicht mehr verfügbar oder nur mit immensem Aufwand – in der Regel mit öffentlichen Mitteln – wiederherstellbar. Daher erhält eine nachhaltige Nutzung der Umwelt eine immer größere Bedeutung, damit der Mensch weiterhin viele Nutzen von seiner natürlichen Umwelt erhält. Dafür muss das Bewusstsein des Menschen auch für weniger offensichtliche ÖSL geschärft werden.



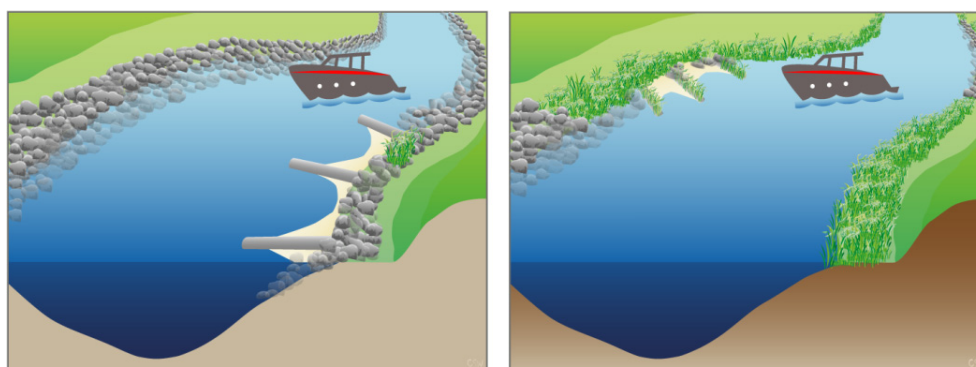
Abbildung 4-1:
Naturnahes Ufer und
Erholungs-
infrastruktur.

Fotos:
C. Schmidt-Wygasch

Da Umweltgüter in den meisten Fällen keinen Marktpreis haben, werden Umweltfolgen bislang häufig in Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt und damit unterbewertet. Ein Weg ist, mittels umweltökonomischer Methoden die Potenziale von ÖSL zu erfassen und aufzeigen. Eine umfassende ökonomische Betrachtung und Integration von Veränderungen in der Bereitstellung von

Umweltgütern und -leistungen (Abbildung 4-2) bei z. B. der Wiederherstellung eines guten Gewässerzustandes im Rahmen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), kann die damit verbundenen Kosten besser legitimieren, da sie sich häufig langfristig im Vergleich mit dem volkswirtschaftlichen Nutzen rechnen. Dies ist nicht nur als politische Entscheidungshilfe zu sehen, sondern zeigt Effekte wie die Verteilung von (volkswirtschaftlichen) Kosten auf.

Gerade im Wandel zunehmender gesellschaftlicher Wahrnehmung öffentlichkeitswirksamer Maßnahmen, die mit Eingriffen in die Natur einhergehen, bieten Ökosystemleistungen durch die Verknüpfung von Ökologie und Ökonomie vergleichende und ergänzende Informationen für politische Planungs- und Priorisierungsprozesse. Die verschiedenen Disziplinen sollten sich dabei gegenseitig ergänzen.



ÖSL (Bsp.-Auswahl)	Ökosystemfunktion	mögliche Änderung vom Status Quo ↑Zunahme; ↓Abnahme; → indifferent
CO ₂ -Sequestrierung	Veränderungen der Emission von Kohlenstoffdioxid bei Änderungen Landnutzung und Vegetationsbedeckung	↑
Störungsregulation	Dämpfung von (Sturm)fluten und Wasserspiegelschwankungen durch Auen und Marschen	→ bei reiner Betrachtung des Uferbereichs ohne Flächenänderung der morphologischen Einheiten
Nährstoffregulation	Mehr naturnähere Flächen vermindern die Eutrophierung durch erhöhte Denitrifikation	↑
Nahrung (Nutztiere, Ackerland)	Marschen als Landwirtschaftliche Nutzflächen, Flächenänderung durch andere Vegetationsbedeckung	↓
Genetische Ressourcen (Habitatvielfalt)	Habitatbereitstellung des Ökosystems, auch für gefährdete Arten	→ je nach Umweltänderung des Betrachtungsraumes Förderung oder Beeinträchtigung bestimmter Arten von Flora und Fauna
Ästhetik & Erholung	Ökosystemfunktionen wie sauberes Wasser und saubere Luft für (Nah)Erholung und Ästhetik, Landschaftsbild	↑

Abbildung 4-2:
Beispielhafte und stark vereinfachte Darstellung der Bereitstellung und Änderung von Ökosystemleistungen der Ufer bei naturnäherer Ufergestaltung. Die einzelnen ÖSL stehen dabei vielfach in Wechselbeziehungen, die eine Bewertung der Veränderungen schwieriger macht. So kann z. B. der Wasserhaushalt nährstoffregulative Prozesse ändern.

Darstellung:
C. Schmidt-Wygasch,
ÖSL in Anlehnung an
FARBER *et al.* (2006)

Der Ökosystemleistungsansatz ist ein ganzheitlicher Ansatz für ein nachhaltiges Management natürlicher Ressourcen. Er ermöglicht eine Einschätzung der Konsequenzen auf das menschliche Wohlergehen durch Veränderungen des Ökosystems und seiner Bereitstellung von ÖSL. Dabei werden die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Komponenten beleuchtet. Kulturelle ÖSL greifen soziale Werte und Bedürfnisse auf, um diese zur Natur in Verbindung zu setzen. Sie sind somit verbindendes Element zwischen ökologischen und sozialen Konstrukten und motiviert durch Einbindung der Gesellschaft. Hierbei ist zu beachten, dass kulturelle Leistungen immer auf eine spezifische Region bezogen und individuell sowie von Zielgruppen abhängig sind und von Ort zu Ort neu bewertet werden müssen.

den. Bei der direkten Abfrage mit Fotos von typischen Uferbereichen wählten über 74% das Landschaftsbild des naturnahen Ufers (vgl. Abbildung 4-4). Die Auswertung zeigt, dass die kulturelle ÖSL Ästhetik der Landschaft ein wichtiger Aspekt für Erholungssuchende, sowohl für Anwohnende als auch Gäste, ist. Die Naturnähe ist somit wesentliche Grundlage der Region für einen Erholungseffekt, wirkt aber besonders im Zusammenspiel mit kulturellen Strukturen, worunter bspw. „*Schiffe gucken*“ und weidende Kühe gehören.



Die Ufer der Tideelbe im Wechselspiel von Mensch und Umwelt

2018

Abbildung 4-4:
Abfrage zur Wertschätzung typischer Ufer für Freizeit und Erholung an der Tideelbe. 74% der Befragten entschieden sich für das naturnahe Landschaftsbild. Das stark verbaute Ufer wählten 4%, verbaut mit Vegetation 15% (fehlende %: sonstiges).

Umfrage und Analyse:
J. Barkmann & U. Sauer

Fotos:
C. Schmidt-Wygasch

Solange der Küstenschutz gewährleistet ist, erfährt die dynamische Uferentwicklung ebenfalls eine hohe Zustimmung der Anwohnenden. Gäste betonten dabei häufig, dass die Zerstörung im Sinne einer weiteren Verbauung ungewünscht ist.

Die Ergebnisse zur Infrastruktur sind insgesamt indifferenter und weniger deutlich ausgeprägt, z. T. ergeben sich hier unterschiedliche Zustimmungen zwischen den befragten Zielgruppen. Als Bsp. ist hier die große Bedeutung von Schutz- und Rasteinrichtungen (Abbildung 4-5) für Gäste genannt, die bei Anwohnenden keine deutliche Tendenz aufweisen. Auch wenn Einrichtungen, die Wissen über Region und Kultur vermitteln, genutzt werden, werden viele Begegnungsorte oder auch Informationstafeln trotz Interesses an der Region nicht in ihrer Vielfalt wahrgenommen.



Abbildung 4-5:
Gastronomisches Angebot mit Blick auf die Tideelbe.

Foto:
C. Schmidt-Wygasch

Schlussfolgerungen

- Die Berücksichtigung gesellschaftlicher Ansichten zu kulturellen ÖSL erhöht die Akzeptanz bei Maßnahmen und führt zu einem gesamtgesellschaftlichen Konsens. Mit den Ergebnissen liegen nun regionale Wertschätzungen zweier Zielgruppen für die Tideelbe vor, u. a. mit einer deutlichen Bevorzugung naturnaher Ufer und dem Wunsch des Schutzes typischer Flora und Fauna.
- Eine (touristische) Infrastruktur kann den Nutzen für Erholungssuchende erhöhen. Durch gezielte Gästeführung werden sensible, naturschutzrelevante Bereiche vor Überlastung geschützt.
- Zur Steigerung der gesellschaftlichen (Mehr)Werte ist es sinnvoll, der Erhaltung und Förderung von kulturellen ÖSL eine wesentliche Rolle in der Gestaltung politischer Instrumente zukommen zu lassen. Selbstverständlich muss dieses mit anderen Belangen abgewogen werden, um zu einer integrierten Lösung aller Interessen zu gelangen.

4.2. Wieviel sind die Ufer den Menschen wert?

Carolyn Schmidt-Wygasch und Uta Sauer

Fragestellung

Viele regulierende und versorgende ÖSL werden auf Märkten gehandelt, z. B. bereitgestellte Nahrungsmittel, die direkt in Geldeinheiten bewertet werden können. Preise für nutzungsunabhängige Leistungen wie kulturelle ÖSL werden häufig durch einen hypothetischen Markt ermittelt. Hierbei werden i. d. R. zwei alternative Szenarien zum heutigen Status quo entwickelt und bei einer Befragung zur Auswahl vorgelegt. In EcoBank wurde eine Zahlungsbereitschaftsanalyse auf Basis eines sogenannten *Choice Experimentes* (CE) angewendet. Mit dem Verfahren wird festgestellt, wie die gesellschaftliche Wertschätzung innerhalb der betroffenen Bevölkerung ist (Präferenzäußerung, z. B. PEARCE & ÖZDEMIROGLU 2012; SAUER & MARGGRAF 2012a; SAUER & MARGGRAF 2012b). Während der heutige Zustand keine zusätzlichen Kosten verursacht, variieren die Abgabebeiträge der Alternativen. Aus der gewählten Alternative kann statistisch ausgewertet werden, ob und wieviel die Befragten bereit sind für die untersuchten ÖSL zu zahlen. Ziel war herauszufinden, wieviel den Anwohnenden verschiedene ÖSL von Ufern bzw. Ufervarianten wert sind.

Ergebnisse

Insgesamt wurden zwei Zahlungsbereitschaftsanalysen durchgeführt. Die erste repräsentative postalische Umfrage beantworteten über 500 Teilnehmende. Sie gaben ihre Meinung zu drei verschiedenen Attributen ab (Tabelle 4-2), auf die sich eine Uferumgestaltung direkt auswirken kann.

Tabelle 4-2:
Attribute und ihre
Unterteilung in ver-
schiedene Zustände in
der ersten Zahlungs-
bereitschaftsanalyse.
Nach einem strengen
Experimentaldesign
variierten die Kombi-
nationen der Attribute
in acht verschiedenen
Zusammenstellungen.

Attribut	Level der unterschiedlichen Zustände		
Ufergestaltung an Orten für Freizeit und Erholung*	Steinschüttung	Steinschüttung mit Bewuchs	Naturnah
Schutz von Tieren und Pflanzen**	Bestand stark verkleinert oder gefährdet	Bestand klein, aber ungefährdet	Gute, stabile Bestände
Natürliche Uferentwicklung	Auf 40% (Status quo)	Auf 50% (+33 km)	Auf 60% (+66 km)
* Die Ufer wurden durch entsprechende Fotos symbolisiert. ** Als exemplarische Beispiele wurden die der Bevölkerung weitgehend bekannten und naturschutzfachlich relevanten Arten Blaukehlchen, Stint und Schierlingswasserfenchel gezeigt.			

Die verschiedenen mittleren Zahlungsbereitschaften (ZB) pro Haushalt und Jahr sind in Abbildung 4-6 dargestellt. Zwischen den Uferbildern Steinschüttung und bewachsener Steinschüttung lässt sich statistisch keine signifikante Wertschätzung nachweisen. Ausgehend von dem jeweils schlechtesten Zustand liegen für alle anderen Verbesserungen positive, teils hoch signifikante ZB vor. Bei der dynamischen Uferentwicklung allerdings muss zwischen positiven Wertschätzungen und den abgefragten Umfängen der potentiellen Rückbauszenarien unterschieden werden. Bei einer Steigerung von aktuell 40% auf 50% natürliche Uferentwicklung gibt es eine ZB von 11 € pro Haushalt und Jahr, die jedoch bei einem Deckwerksrückbau von 66 km auf 7,50 € sinkt. Die ZB mit höherem Einkommen geht mit zunehmender Entfernung des Wohnorts zur Elbe zurück. Ein Alterseinfluss auf die ZB konnte nicht festgestellt werden (SCHMIDT-WYGASCH *et al.* 2015).

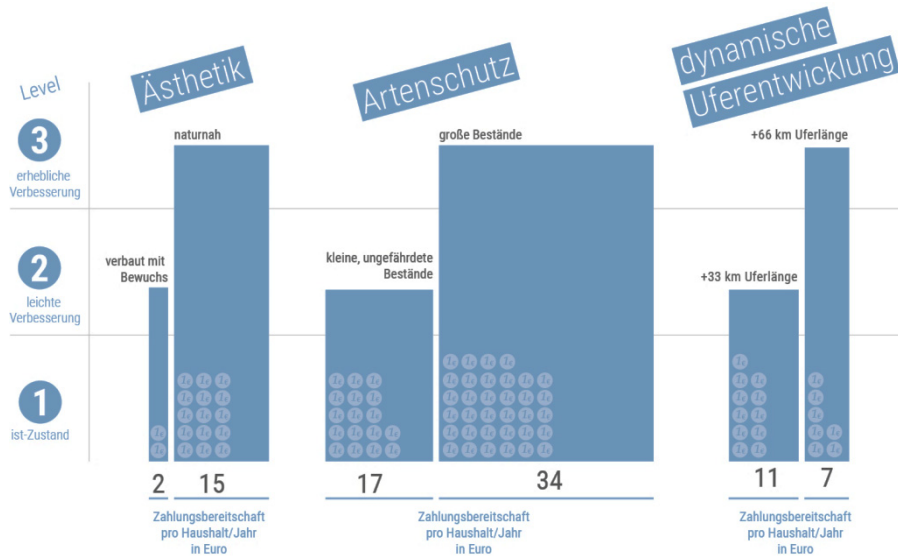


Abbildung 4-6:
Ergebnisse der Zahlungsbereitschaftsanalyse für die verschiedenen Attribute (vgl. Tabelle 4-2) und umweltverbessernde Auswirkung eines Uferrückbaus.

Darstellung:
M. Schmidt

Bei der zweiten Zahlungsbereitschaftsanalyse wurden über 100 Befragte persönlich interviewt. Hier lagen die Schwerpunkte bei der Erholungsinfrastruktur, dem Klimaschutzbeitrag, der Artenvielfalt und der Weidewirtschaft. Mit unterschiedlicher Ausprägung bildeten sie drei Ufervarianten, wie eine Gestaltung aussehen könnte (Abbildung 4-7).

	Umfangreich / Hoch / Intensiv	Etwas / Mittel	Ohne / Gering		Alternative A	Alternative B	Status Quo
Infrastruktur					Rückbau und Teilnutzung	Naturnah	Befestigtes Ufer
Klimaschutz				Ufer-variante			
Artenvielfalt							
Weidewirtschaft				Kosten pro Hsh/Jahr	___ €	___ €	0 €
				Ich wähle:	☐	☐	☐

Abbildung 4-7:
Ausprägungen (links) und Ufervarianten (rechts) der zweiten Zahlungsbereitschaftsanalyse. Den Alternativen A und B wurden in acht Abfragen verschiedene Abgabebeträge zugeordnet, während der Status quo keine zusätzlichen Kosten pro Haushalt und Jahr beinhaltet.

Darstellung:
C. Schmidt-Wygasch

Im Gegensatz zu Gästen, die die Tideelbe besuchen (vgl. Kap. 4.1), ist eine touristische Infrastruktur bei Anwohnenden nicht gewünscht. Die Ufervariante *Rückbau und Teilnutzung* erfährt keine positive ZB. Dafür liegt eine hohe Wertschätzung für die Variante *naturnah* vor. Sie drückt sich in der ZB von ca. 39 € pro Haushalt und Jahr aus. Die Ergebnisse aus den beiden CEs bzgl. der ZB für ökologische Verbesserung stützen sich gegenseitig.

Schlussfolgerungen

- Mit Zahlungsbereitschaften wird u. a. die Akzeptanz der Menschen vor Ort, z. B. Flussgebietseinheiten, herausgefunden.
- Die Bevölkerung der Tideelbe wünscht sich umweltverbessernde Maßnahmen in Uferbereichen, die sich in positiven Wertschätzungen und teils hohen Zahlungsbereitschaften widerspiegeln.
- Der gesellschaftliche Mehrwert (Wohlfahrtsgewinn) für naturnahe Ufer und seine ÖSL, hier u. a. Natur- und Artenschutz, Uferästhetik und natürliche Uferdynamik, ist durch umweltökonomische Methoden bewertbar.

4.3. Wie werden Ufermaßnahmen ganzheitlich bewertet?

Uta Sauer und Rainer Marggraf

Fragestellung

Wie können die Auswirkungen einer Ufermaßnahme bewertet werden? Nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist der gute Gewässerzustand bzw. das gute ökologische Potenzial bei BWaStr zu erreichen. Als Nachhaltigkeitsrichtlinie trägt die WRRL den sozialen, ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf die Menschen sowie den geographischen und klimatischen Gegebenheiten Rechnung. Durch die wasserwirtschaftliche Unterhaltung bis hin zu naturnäheren Ufergestaltungen setzt sich der Bund aktiv für die ökologischen Zielsetzungen ein. Doch wie können Maßnahmen ökonomisch möglichst umfassend bewertet werden, damit ökologische wie sozioökonomische Belange Eingang finden? Anhand einer beispielhaften Uferumgestaltung eines Abschnittes an der Tideelbe wurde ein solches Bewertungsschema entwickelt.

Ergebnisse

Das Bewertungsschema setzt sich aus einer in der Richtlinie vorgeschriebenen Kosten-Wirksamkeitsanalyse, einer Beschreibung der gesamtwirtschaftlichen Effekte und einer Bestimmung der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen der Maßnahme zusammen (Abbildung 4-8). Damit werden nicht nur direkte Kosten wie Deckwerksrückbau und Nutzen durch entfallende Unterhaltung, sondern auch gesellschaftliche direkte und indirekte Nutzen durch die Berücksichtigung der Auswirkungen auf Ökosystemleistungen bewertet.

Kernfragen der **Kosten-Wirksamkeitsanalyse** sind z. B.: Ist die gewählte Maßnahme sinnvoll? Und welche ökologischen Verbesserungen sollen erreicht werden? Durch Quantifizierung der voraussichtlichen Änderungen von Umweltparametern, z. B. Kohlenstoffspeicherung einer veränderten Ufervegetation, wird die Wirksamkeit einer Maßnahmenumsetzung ermittelt. Gekoppelt mit der räumlichen Skala und zeitlichen Maßnahmenwirkung werden in diesem Bewertungsschritt Probleme identifiziert (*compliance and adoption*), die die Wirksamkeit der Maßnahme potenziell behindern. Hierzu gehört auch die Betrachtung der Finanzierung mit den geplanten Finanzierungsquellen. Daraus werden Vermeidungsstrategien entwickelt. Die direkten Maßnahmenkosten setzen sich aus den Kosten des gesamten messbaren Zeitaufwandes und entstehenden Kosten bei Verwaltung, Wirtschaft und Privatpersonen (Erfüllungsaufwand) zusammen. Dazu zählen u. a. Personal- und Sachkosten für Entwicklung, Umsetzung und Unterhaltung der Maßnahme, Produktionsmengeneinschränkungen und erforderliche Abgaben bei beteiligten Wirtschaftsbereichen wie bspw. die Landwirtschaft. Aufwände von Privatpersonen werden ebenfalls berücksichtigt.

Die **gesamtwirtschaftlichen Effekte** fokussieren relevante wirtschaftliche und gesellschaftliche Faktoren. Als Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft werden die Änderungen der Staatsausgaben, Bruttowertschöpfung, Beschäftigung und Preise beschrieben. Hier wird auch die Nutzenseite betrachtet, d. h. die Auswirkungen der

Umweltverbesserung auf Wirtschaft und Gesellschaft. Diese werden anhand von Änderungen der Bruttowertschöpfung und Beschäftigung aufgezeigt.



Abbildung 4-8:
Übersicht des Bewertungsschemas nach den Strukturen und Prozessen der WRRL mit Beispielen von Kosten und Nutzen
- = Kosten
+ = Wirksamkeit bzw. Nutzen.

Darstellung:
M. Schmidt

Im Rahmen der **Ermittlung der volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen** werden die Wohlfahrtseffekte berechnet. Auf der Seite des volkswirtschaftlichen Nutzens sind sowohl der wirtschaftliche als auch der nicht-wirtschaftliche Wert der Umweltverbesserung zu berücksichtigen. Für nutzungsunabhängige gesellschaftliche Werte, wie z. B. Wertschätzung für Natur und Landschaft, werden die ermittelten Zahlungsbereitschaftsstudien einbezogen (vgl. Kap. 4.2). Falls keine eigenen Daten über Zahlungsbereitschaften vorliegen und auch keine übertragbare Bewertungsstudie identifiziert werden kann, wird der nicht-wirtschaftliche Nutzen der Maßnahme orientiert an den ÖSL der Gewässer und möglichen weiteren Nutzen für bspw. die Biodiversität qualitativ beschrieben.

Schlussfolgerungen

- Das entwickelte Bewertungsschema informiert über Wohlfahrtseffekte.
- Durch die Einbettung in die Strukturen und Prozesse der Umsetzung der WRRL ist das Bewertungsschema für alle Maßnahmen an Bundeswasserstraßen zur Erreichung der ökologischen Zielstellungen anwendbar.
- Zur volkswirtschaftlichen Gesamtbewertung der Maßnahme werden die ermittelten volkswirtschaftlichen Kosten und Nutzen an die Projektlaufzeit angepasst, in Gegenwartswerte transformiert und als Gesamtkosten und Gesamtnutzen gegenübergestellt.
- Das Bewertungsschema stellt ein adäquates Mittel zur Entscheidungsunterstützung in der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung dar.

5. Zusammenfassung

Maike Heuner, Carolin Schmidt-Wygasch, Elmar Fuchs und Uwe Schröder

Die beiden F&E-Projekte *ElbService* und *tibass* sowie die bisherigen Ergebnisse des Makrophytenmonitorings liefern wesentliche Erkenntnisse über die Wirkungen von Faktoren, die auf die Ufer der Tideelbe wirken und deren Zustand und Entwicklung beeinflussen (Abbildung 5-1). Sie bauen konsequent auf die Untersuchungen und Ergebnisse aus der Beweissicherung zur Fahrrinnenanpassung 1999, *KLIWAS* und *ElbService I* auf. Mit dem nun zur Verfügung stehenden Wissens- und Datenpool kann Folgendes beschrieben werden,

- welche Optionen naturnahe Ufer für die Unterhaltung der Wasserstraße Tideelbe bieten,
- was naturnahe Ufer für die verschiedenen Belange der mit der Uferunterhaltung befassten Institutionen/Interessengruppen leisten kann,
- wo die Möglichkeiten und Grenzen naturnaher Ufer im Schutz vor Erosion liegen und
- wie verschiedene Maßnahmen zur Ufergestaltung ganzheitlich bewertet werden können.

So sind unsere Ergebnisse (Wissen, Daten, Informationen) künftig ein wichtiger Input für die Aufgabenerledigung mit Bezug zur Wasserrahmenrichtlinie und speziell der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung im Aufgabenbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung, darüber hinaus auch für die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Die sozioökonomischen Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung einer erweiterten Analyse und Bewertung. Für ein gemeinsames effektives Handeln und Planen ist das Ineinandergreifen von Ökologie, Gesellschaft und Ökonomie in der Zukunft unabdingbar.

Unsere Forschungsprojekte werden sich weiter mit der genannten Thematik befassen. Das Verständnis in den Wirkmechanismen zwischen Vegetation/Pflanze und Boden/Sediment unter Einfluss der Hydrodynamik muss weiter vertieft werden (Abbildung 5-1). Dazu gehört beispielsweise der Stoffkreislauf im System Sediment-Boden-Pflanze. Insbesondere zur Nutzung in der Praxis möchten wir die Forschungsergebnisse bzw. ihre Produkte flächendeckend entlang der Tideelbe verfügbar machen. Gerade die zusätzlichen Nutzstiftungen der Ökosystemleistungen von naturnahen Ufern im Gegensatz zu verbauten Ufern bieten sich dafür an. Innovative Wege der zur Bereitstellung flächendeckender Daten finden sich dabei in den Methoden der Fernerkundung, und zwar von der Drohne bis zum Satelliten.



Abbildung 5-1:
F&E-Themen der
BfG von der Ver-
gangenheit
(schwarz) bis in die
Zukunft (grau) an
den Ufern der
Tideelbe. Pfeile:
braun: Boden,
grün: Vegetation,
blau: Hydrodyna-
mik, rot: Mensch,
Gesellschaft.

Darstellung:
M. Heuner

Wenn der wasserwirtschaftliche Ausbau gesetzliche Aufgabe der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes wird, werden gemeinsam zwischen Bund und Ländern abgestimmte Maßnahmen zur Renaturierung von Uferabschnitten eine neue Dynamik erhalten. Der damit zusammenhängende Bedarf an explizitem Wissen – sowohl um die relevanten Prozesse in den Uferbereichen der Ästuarare als auch um die gesellschaftliche Akzeptanz – kann dann auf eine solide Basis aus den vergangenen, aktuellen und künftigen Projekten der BfG und ihrer Partner zurückgreifen und die Entwicklung der Ufer in Abstimmung mit den Ländern vorangetrieben werden.

6. Literatur

- BARKMANN, J. & SAUER, U. (2015): ElbService, Teilprojekt EcoBank. Abschlussbericht. 64 Seiten.
- BFG (2008): WSV-Sedimentmanagement Tideelbe - Strategien und Potenziale - eine Systemstudie. Ökologische Auswirkungen der Umlagerung von Wedeler Baggergut. Untersuchung im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Cuxhaven. Koblenz, 374 Seiten.
- CARUS, J. (2017): Plant-habitat interactions in brackish marshes. Coping with, adapting to and modifying the environment. Dissertation, Universität Potsdam, 103 Seiten.
- CARUS, J.; PAUL, M. & SCHRÖDER, B. (2016): Vegetation as self-adaptive coastal protection: Reduction of current velocity and morphologic plasticity of a brackish marsh pioneer. *Ecology and Evolution*, **6**(6), Seite 1579-1589, DOI: 10.1002/ece3.1904.
- FARBER, S.; COSTANZA, R.; CHILDERS, D.L.; ERICKSON, J.; GROSS, K.; GROVE, M.; HOPKINS, C.S.; KAHN, J.; PINCETL, S.; TROY, A.; WARREN, P. & WILSON, M. (2006): Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management. *BioScience*, **56**(2), Seite 121-133.
- GRENZDÖRFFER, G. & BEYER, F. (2018): Machbarkeitsstudie zur fernerkundlichen Erfassung der Vegetationsstruktur für eine Quantifizierung von Ökosystemleistungen durch Marschpflanzen. 131 Seiten, DOI: 10.5675/tibass2018_ErfassungPflanzeneigenschaftenFernerkundung.
- GRENZDÖRFFER, G. & SCHRÖDER, U. (2017): UAS unterstützte Vegetationserfassung tidebeeinflusster Makrophytenbestände in der Unterelbe In: T.P. Kersten (ed.): 37. *Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der DGPF* Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. München, **26**, Würzburg, 1-12 Seiten.
- HEIN, H.; MAI, S. & BARJENBRUCH, U. (2014): Klimabedingt veränderte Tidekennwerte und Seegangsstatistik in den Küstengewässern. Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.03. KLIWAS-33/2014. BfG, Koblenz. 118 Seiten, DOI: 10.5675/Kliwas_33/2014_2.03.
- HEUNER, M. (2007): Habitatmodelle für Röhrichte an Tideelbe und Tideweser. In: E. Fuchs & Y. Strunck (eds.): *Röhricht an Bundeswasserstraßen (im norddeutschen Raum)*. BfG-Veranstaltungen 2/2017, BfG, 06.06.2007, Hannover, 46-56 Seiten.
- HEUNER, M. (2016): Key ecosystem engineers in estuarine vegetation. Their niches, traits, and services for coping with hydrodynamic stress. Dissertation. TU Berlin, 166 Seiten, DOI: 10.14279/depositonce-5564.

- HEUNER, M.; SCHRÖDER, B.; SCHRÖDER, U. & KLEINSCHMIT, B. (2018):
Contrasting elevational responses of regularly flooded marsh plants in
navigable estuaries. *Ecohydrology & Hydrobiology*, Seite 1-17, DOI:
10.1016/j.ecohyd.2018.06.002.
- HEUNER, M.; WEBER, A.; SCHRÖDER, U.; KLEINSCHMIT, B. & SCHRÖDER, B.
(2016): Facilitating political decisions using species distribution models to
assess restoration measures in heavily modified estuaries. *Marine Pollution
Bulletin*, **110**(1), Seite 250-260, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.056.
- KATELHÖN, W. (2017): Kulturelle Ökosystemleistungen der Tideelbe. Eine
empirische Analyse der Wahrnehmung, Bedeutung und Bewertung. M.
Sc., Georg-August-Universität Göttingen, 86 Seiten.
- KOKALJ, Ž.; ZAKŠEK, K. & OŠTIR, K. (2011): Application of sky-view factor for
the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief
models. *Antiquity*, **85**(327), Seite 263-273, DOI:
10.1017/S0003598X00067594.
- MÖLLER, I.; SPENCER, T.; FRENCH, J.R.; LEGGETT, D.J. & DIXON, M. (1999):
Wave transformation over salt marshes: A field and numerical modelling
study from north Norfolk, England. *Estuarine Coastal and Shelf Science*,
49(3), Seite 411-426, DOI: 10.1006/ecss.1999.0509.
- NEUGEBAUER, T. (2015): Bodenphysikalische Untersuchungen an Uferböden der
Tideelbe als Grundlage für die Prognose des Kompressibilitätsindex als
Maß für den Widerstand gegen Wellenschlag. Dissertation. Christian-
Albrechts-Universität zu Kiel, 178 Seiten.
- OSMAN, K.T. (2013): Soils. Principles, Properties and Management. Springer,
Dordrecht, Heidelberg, New York, 274 Seiten.
- PEARCE, D. & ÖZDEMIROGLU, E. (2012): Economic Valuation with Stated
Preference Techniques. Summary Guide. London, 94 Seiten.
- PETERS, K.; STAHLMANN, A. & KARCH, M. (2016): Wellen- und
Strömungsmessungen im Rahmen von Makrophytenuntersuchungen.
Zusammenfassung der Ergebnisse. Hamburg, 71 Seiten.
- SAUER, U. & MARGGRAF, R. (2012a): Die Bewertung von Ökosystemleistungen
im Rahmen der europäischen Gewässerpolitik. In: F.R. Lauterbach; A.K.
Buchs et al. (eds.): *Handbuch zu den ökonomischen Anforderungen der
europäischen Gewässerpolitik. Implikationen und Erfahrungen aus
Theorie und Praxis*, Stuttgart, Seite 65-86.
- SAUER, U. & MARGGRAF, R. (2012b): Zu Nutzen und Kosten von
Zahlungsbereitschaftsstudien. In: F.R. Lauterbach; A.K. Buchs et al. (eds.):
*Handbuch zu den ökonomischen Anforderungen der europäischen
Gewässerpolitik. Implikationen und Erfahrungen aus Theorie und Praxis*,
Stuttgart, Seite 143-168.
- SCHMIDT-WYGASCH, C.; BARKMANN, J. & SAUER, U. (2015): Inwertsetzung
unterschiedlicher Uferstrukturen an der Tideelbe. In: Bundesanstalt für

Gewässerkunde (ed.): *Ökosystemleistungen. Herausforderungen und Chancen im Management von Fließgewässern. 5. Ökologisches Kolloquium am 5./6. Mai 2015 in Koblenz*, Oktober 2015, Koblenz, Seite 54-61, DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2015.3.

SCHRÖDER, U. (2004): Analyse der aktuellen räumlichen Veränderungen ufernaher Röhrichte und Uferstauden unter besonderer Berücksichtigung ihrer historischen Entwicklung (der letzten 30 bis 50 Jahre). Untersuchungen im Rahmen der Beweissicherung zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt (14,5 m Ausbau). **BfG-1441**, Koblenz, 96 Seiten.

SCHRÖDER, U. (2008): Untersuchungen zur Entwicklung verschiedener Vegetationseinheiten im Rahmen der Beweissicherung zur Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe im Bereich der Delegationsstrecke. **BfG-1627**, Koblenz, 35 Seiten.

SCHRÖDER, U. (2012): Untersuchungen zur Entwicklung verschiedener Vegetationseinheiten im Rahmen der Beweissicherung zur Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe im Bereich der Delegationsstrecke (3. Folgebefliegung). **BfG-1769**, Koblenz, 37 Seiten.

SCHRÖDER, U.; FUCHS, E. & HEUNER, M. (2010a): From artificial to natural bank protection. An approach of redesign by applying (habitat) models for reed habitats in tidal River Elbe. In: *PIANC MMX Congress*, PIANC, 10.-14.05.2010, Liverpool, 1-15 Seiten.

SCHRÖDER, U.; FUCHS, E. & HEUNER, M. (2010b): Röhrichte als Uferschutz - Ermittlung des Potenzials von Röhrichten bei Rückbaumaßnahmen von Uferbefestigungen anhand von Lebensraumeignungsmodellen. *HANSA International Maritime Journal*, **147**(4), Seite 93-97.

SCHRÖDER, U.; FUCHS, E.; HEUNER, M.; SCHMIDT-WYGASCH, C. & TERWEI, A. (2018): Einfluss des schifferzeugten Wellenschlages auf emerse Makrophyten der Tideelbe am Beispiel dreier exponierter Standorte. Ist-Zustand 2015. Untersuchungen im Rahmen des Planfeststellungsbeschlusses zur Fahrrinnenanpassung. **BfG-1945**, Koblenz, 60 Seiten, DOI: 10.5675/BfG-1945.

SILINSKI, A. (2015): Living on the edge. Bio-physical interaction in the pioneer zone of expanding tidal marshes. Dissertation. Universiteit Antwerpen, 141 Seiten.

SILINSKI, A.; SCHOUTENS, K.; PUIJALON, S.; SCHOELYNCK, J.; LUYCKX, D.; TROCH, P.; MEIRE, P. & TEMMERMAN, S. (2017): Coping with waves: Plasticity in tidal marsh plants as self-adapting coastal ecosystem engineers. *Limnology and Oceanography*, Seite 1-17, DOI: 10.1002/lno.10671.

STOPPE, N. (2015): Rheologische Untersuchungen an tidebeeinflussten Uferböden der Elbe als Grundlage für die Entwicklung mikromechanischer Pedotransferfunktionen. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 207 Seiten.

- STOPPE, N.; NEUGEBAUER, T. & HORN, R. (2014): Bodenkundliche Untersuchungen zur Uferstabilität auf Meso- und Mikroskala. Endbericht ElbStabil. Kiel, 80 Seiten.
- SUNDERMEIER, A.; TAUPP, T.; BEHRENDT, K. & WETZEL, M. (2018): Zehn Jahre Erfolgskontrollen von terrestrischen Kompensationsmaßnahmen zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Abschlussbericht. **BfG-1968**, Koblenz, 91 Seiten.
- TEEB (2010): The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. 48 Seiten.
- TEMMERMAN, S.; MEIRE, P.; BOUMA, T.J.; HERMAN, P.M.J.; YSEBAERT, T. & DE VRIEND, H.J. (2013): Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, **504**(7478), Seite 79-83, DOI: 10.1038/nature12859.
- TEMPEST, J.A.; MÖLLER, I. & SPENCER, T. (2015): A review of plant-flow interactions on salt marshes: the importance of vegetation structure and plant mechanical characteristics. *WIREs Water*, **2**, Seite 669-681, DOI: 10.1002/wat2.1103.

Danksagung

Allen voran möchten wir Uwe Schröder und Elmar Fuchs danken, die die Forschungs- und Entwicklungsthemen an den Ufern der Tideelbe initiiert und immer innovativ vorangetrieben haben.

Im Laufe der Jahre haben viele viele Menschen mit kleinen und großen, aber immer hilfreichen Hinweisen und wertvoller Unterstützung zum Gelingen der Projekte und Arbeiten beigetragen. Besonders den verschiedenen Kooperationspartnerschaften Danke für ihre Arbeiten, Diskussionsfreude, Durchhaltevermögen und Geduld.

Carola Abts (Kr. Pinneberg), Uwe Andreas (LK Stade), Jennifer Antonczyk (Uni Oldenburg), John Appel und Team (WSA HH), Stijn Baeten (Uni Antwerpen), Anke Bahl (LBGR, eh. TU Berlin), Jan Barkmann (Uni GÖ/h_da), Georg Barth (eh. Uni GÖ), Eva-Maria Bauer (eh. BfG), Wibke Baumgarten (Uni Kiel/FNR), Jean-Philippe Belliard (Uni Antwerpen), Florian Beyer (Uni Rostock), Ronny Beyer (WSA HH), Irena Bido (DLR), Franziska Binder (Uni Oldenburg), Tjeerd Bouma (NIOZ), Oliver Brauner (WSA HH), Christian Butzeck (Uni HH), Roos Carpentier (Uni Antwerpen), Jana Carus (Uni Braunschweig), Ruben Cordes (WSA HH), Andreas Dahlkamp (Uni Braunschweig), Lienerd De Feyter (Uni Antwerpen), Corinne Deffontaine (Unterstützung im Feld), Louis Delhaye (Unterstützung im Feld), Ronny Depessero (Unterstützung im Feld), Melanie Diederich (BA-Studentin Uni Trier), Armin Diel (BfG), Manfred Ehlers (HS Vechta/Uni Osnabrück), Gesine Engels (Uni HH), Ulrike Faude (UFZ, eh. Uni Bonn), Keno Faust (Uni Oldenburg), Natalia Feilen (Uni Koblenz-Landau), Michael Fietz (WSA HH), Martin Fleischmann (Uni Oldenburg), André Francois (LK Harburg), Soeren Frischmuth (Landkreis Stade), Monika Gähler (HS Vechta/Uni Osnabrück), Bettina Gätje (WSA HH), Jeroen Govers (Unterstützung im Feld), Kerstin Grabowsky (Uni HH/m+w), Katrin Gräser (WSA HH), Görres Gröndörffer (Uni Rostock), Alexander Gröngroft (Uni HH), Detlef Gumz (LK Harburg), Minke Harbers (Uni Oldenburg), Edelgard Heim (Elbmarschenhaus), Uwe Helbing (Elbmarschenhaus), Björn Hoppe (BfG), Peter Horchler (BfG), Rainer Horn (Uni Kiel), Kerstin Hübner (Uni GÖ), Steven Jacobs (Uni Antwerpen), Ronald Janowsky (HS Vechta), Thomas Jansen (WSA HH), Kai Jensen (Uni HH), Maren Jonseck-Ohr (HH Mitte/BUND HH), Manfred Junge und Team (WSA HH), Wolfgang Kähler (WSA HH), Wibke Katelhön (Masterstudentin Uni GÖ), Christoph Kinkeldey (HCU), Klaus und Klaus (An der Nordseeküste), Birgit Kleinschmit (TU Berlin), Katharina Kleiß (Uni HH), Michael Kleyer (Uni Oldenburg), Elisabeth Klocke und Team (Stiftung Lebensraum Elbe), Wouter Knaepen (Unterstützung im Feld), Johann Köhler (Uni Oldenburg), Nils Koldrack (Uni Rostock), Susi Konz (BfG), Stella Krapf (Uni GÖ), Christian Krause (WSA HH), Jürgen Krüger (WSA HH), Stefan Kuck (Uni Oldenburg), Holger Kurz (Büro für Biologische Bestandsaufnahmen), Frank Lehmann (DLR), Martin Leuzinger (WSA HH), Hubert Liebenstein (BfG), Claudia Lorenz (WSA HH), Svenja Lorenz (Uni Hannover), Claas Lünsdorf (Uni Oldenburg), Jörg Mahn und Team (WSA HH), Rainer Marggraf (Uni GÖ), Christian Maushake (BAW), Patrick Meire (Uni Antwerpen), Daniela Meißner (Uni Oldenburg), Stefan Melchior (m+w), Mathias Michielsen (Unterstützung im Feld), Vanessa Minden (Uni Oldenburg), Matthias Möller (HS Vechta), Anne Munzel (Uni Oldenburg), Matthias Naumann (Uni Rostock), Andreas Nees (LK Stade), Bernd-Ulrich Netz (Elbmarschenhaus/BUE), Thomas Neugebauer (Uni Kiel), Lothar Neumann (WSA HH), Thorsten Nitt (WSA HH), Leo Norda (Uni Antwerpen), Siebe Ostendorp (Uni Oldenburg), Karsten Peters und Team (IMS), Jörg Petersen und Team (natureconsult), Sara Puijalon (Uni Lyon), Frances Pusch (Infineon Technologies, eh. Uni Oldenburg), Svenja Reens (Uni Hamburg), Roland Riggert (Uni Göttingen), Jonathan Rombouts (Unterstützung im Feld), Stephan Rosenzweig (BfG), Franziska von Rymon-Lipinski (Uni Kiel), Hannes Sahl (WSA HH), Bettina Salinus (BfG), Alessandro Samuel-Rosa (Uni Santa Maria), Alice Samuels (Uni Oldenburg), Uta Sauer (Uni GÖ), Lennert Schepers (Uni Antwerpen), Jochen Schiewe (HS Vechta/HCU), Michael Schleuter (BfG), Maja Schmidt (HPA), Martin Schmidt (grafische Unterstützung), Sebastian Schmidlein (KIT), Wibke Schoenberg (Uni HH), Jonas Schoelynck (Uni Antwerpen), Marc Schoutens (Unterstützung im Feld), Boris Schröder (Uni Braunschweig), Tilla Schulte Ostermann (Uni Oldenburg), Alexandra Silinski (Uni Göttingen), Volker Steege (BMVI, eh. WSA BH), Team der Stiftung Lebensraum Elbe Gabriele Stiller (Büro Stiller), Tjardo Stoffers (Uni Oldenburg), Nina Stoppe (Uni Kiel/LUH), Thomas Strothmann (HPA), Yvonne Strunck (BfG), Andreas Sundermeier (BfG), André Terwei (BfG), Claudia Thormählen (WSA HH), Peter Troch (Uni Gent), Lars Tufte (HS Vechta), Klemens Uliczka (BAW), Catharina Uth (Uni Oldenburg), Ignac Van Camp (Unterstützung im Feld), Herman van der Elst (Uni Gent), Mats Van Gestel (Uni Antwerpen), Bee Van Hecke (Unterstützung im Feld), Sien Van Loooveren (Unterstützung im Feld), Dimitri Van Pelt (Uni Antwerpen), Niels Van Putte (Uni Antwerpen), Tom Versluys (Uni Gent), Ferdinand Vettermann (Uni Rostock), Heiko von Holst (Uni Oldenburg), Arnd Weber (BfG), Ulrike Wegner (Kr. Steinburg), Matthias Wehr (eh. LK Stade), Axel Winterscheid (BfG), Eva Witkorovskiv (Uni Rostock), Jens Wyrwa (BfG), Wolfgang Zeiske (WSA HH), Zhenchang Zhu (NIOZ), Michele Zülch (BA-Studentin Uni BN).

Wir hoffen, wir haben niemanden vergessen. Vorsichtshalber: Auch den Unbenannten an dieser Stelle ein herzliches Dankeschön!

