

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Periodical Part, Report, Published Version

**Heuner, Maïke; Bauer, Eva-Maria; Fuchs, Elmar; Gehres, Nicole;
Kleisinger, Carmen; Pelzer, Jürgen; Simon, Michael**

Vorlandflächen als Senke von Sedimenten und Schadstoffen

KLIWAS Schriftenreihe

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105385>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heuner, Maïke; Bauer, Eva-Maria; Fuchs, Elmar; Gehres, Nicole; Kleisinger, Carmen; Pelzer, Jürgen; Simon, Michael (2012): Vorlandflächen als Senke von Sedimenten und Schadstoffen. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde (KLIWAS Schriftenreihe, 4/2012). https://doi.org/10.5675/kliwas_4.2012_vorlandflaechen.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

**KLIWAS Schriftenreihe
KLIWAS-4/2012**

**Voruntersuchungen
Vorlandflächen als Senke von
Sedimenten und Schadstoffen**

Koblenz, im Januar 2012



KLIWAS

KLIWAS Schriftenreihe
KLIWAS-4/2012
BfG-1738

Voruntersuchungen
Vorlandflächen als Senke von
Sedimenten und Schadstoffen
Version 1.0

Autoren:
Maike Heuner,
Eva-Maria Bauer,
Beate Burger,
Dr. Elmar Fuchs,
Nicole Gehres,
Dr. Carmen Kleisinger,
Dr. Jürgen Pelzer,
Michael Simon

SAP-Nr.:
M39630305309

DOI:
10.5675/Kliwas_4.2012_Vorlandflaechen

Seite

Kapitel

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG

03	1	ANLASS
05	2	PROBENAHRME
05	2.1	PROBENAHRMEDESIGN
07	2.2	AUFNAHRMEPARAMETER UND –METHODEN
07	2.2.1	VEGETATION, GELÄNDEHÖHE UND SCHADSTOFFE
07	2.2.2	BODEN UND SCHADSTOFFE
12	3	ANALYSEN UND ERGEBNISSE
12	3.1	FELD- UND LABORUNTERSUCHUNGEN UND DEREN DARSTELLUNG ENTLANG MÖGLICHER GRADIENTEN
12	3.1.1	VEGETATION, GELÄNDEHÖHE UND SCHADSTOFFE
18	3.1.2	BODEN UND SCHADSTOFFE
46	3.2	UNI- UND MULTIVARIATE AUSWERTUNG
46	3.2.1	VEGETATION, GELÄNDEHÖHE UND SCHADSTOFFE
47	3.2.2	BODEN UND SCHADSTOFFE
48	3.2.3	NICHTMETRISCHE MULTIDIMENSIONALE SKALIERUNG (NMDS)
50	4	TRENDS UND WEITERES VORGEHEN
52		LITERATUR
54		ANHANG

Abbildungsverzeichnis

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite II

Abbildung 2-1:	Überblick über die beprobten Standorte	6
Abbildung 3-1:	Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Blexen, UW-km 65,25	12
Abbildung 3-2:	Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Luneplate, UW-km 59,5	13
Abbildung 3-3:	Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Strohauser Plate Nord, SW-km 6,5	14
Abbildung 3-4:	Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Strohauser Plate Süd, SW-km 1,5	15
Abbildung 3-5:	Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Harriersand Nord, RN-km 10,5	15
Abbildung 3-6:	Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Harriersand Süd, UW-km 33,9	16
Abbildung 3-7:	Gemessene Leitfähigkeit und Ellenberg-Salzwerte entlang des Salinitätsgradienten (Nord → Süd)	16
Abbildung 3-8:	Gemessene Leitfähigkeit und Ellenberg-Salzwerte entlang des Transektes bei Blexen (Watt → Ufer)	17
Abbildung 3-9:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Blexen, UW-km 65,3	18
Abbildung 3-10:	Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Blexen (UW-km 65,3) im Profil Watt, Strandsimse, Schilf, Grünland	19
Abbildung 3-11:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Luneplate, (UW-km 59,5)	20
Abbildung 3-12:	Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Luneplate (UW-km 59,5) im Profil Watt, Schilf, Grünland	21
Abbildung 3-13:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Strohauser Plate Nord (UW-km 6,5)	22
Abbildung 3-14:	Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Strohauser Plate Nord (UW-km 6,5) im Profil Watt, Schilf, Grünland	23
Abbildung 3-15:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Strohauser Plate Süd, SW-km 1,5	24

Abbildung 3-16: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Strohauser Plate Süd (SW-km 1,5) im Profil Watt, Schilf, Rohr-Glanzgras	25
Abbildung 3-17: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Harriersand Nord (RN-km 10,5)	25
Abbildung 3-18: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Harriersand Nord (Rechter Nebenarm km 10,5) im Profil Watt, Rohrkolben, Grünland	26
Abbildung 3-19: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Kleiner Pater, (UW-km 33,9).	27
Abbildung 3-20: Entwicklung des mittleren Korndurchmessers (D_m) im Längsverlauf der Tideweser von Blexen bis zur Harriersand Nord	29
Abbildung 3-21: Gesamtgehalte an Phosphor (P) im Oberboden (i. d. R. 0-20 cm unter GOK) der untersuchten Standorte und Straten (Wa=Watt, Rok=Rohrkolben, Sch=Schilf, Str=Strandsimse, GL=Grünland), Gehaltsangabe in g/kg in der Korngrößenfraktion < 2mm	30
Abbildung 3-22: Korrelation zwischen Gesamtgehalte an Phosphor (P) im Oberboden (i.d.R. 0-20 cm unter GOK) und organischen Gesamtkohlenstoff TOC aller untersuchten Standorte, Gehaltsangabe in g/kg in der Korngrößenfraktion < 2mm	31
Abbildung 3-23: Gesamtgehalte an Stickstoff (N) im Oberboden (i.d.R. 0-20 cm unter GOK) der untersuchten Standorte und Straten (Wa=Watt, Rok=Rohrkolben, Sch=Schilf, Str=Strandsimse, GL=Grünland), Gehaltsangabe in Masse % in der Korngrößenfraktion < 2mm	32
Abbildung 3-24: Korrelation zwischen Gesamtgehalte an Stickstoff (N) im Oberboden (i. d. R. 0-20 cm unter GOK) und organischen Gesamtkohlenstoff TOC aller untersuchten Standorte, Gehaltsangabe in g/kg in der Korngrößenfraktion < 2mm	33
Abbildung 3-25: C/N-Verhältnisse aller untersuchten Standorte	34
Abbildung 3-26: Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20 μ m am Standort Blexen im Profil Watt, Strandsimse Schilf und Grünland	35

Abbildung 3-27:	Σ PCB ₇ Gehalte (auf 20 μ m Fraktion normiert) am Standort Blexen im Profil Watt, Strandsimse, Schilf und Grünland	36
Abbildung 3-28:	Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20 μ m am Standort Luneplate im Profil Watt, Schilf und Grünland (Kern)	37
Abbildung 3-29:	Σ PCB ₇ Gehalte (normiert auf 20 μ m Fraktion) am Standort Luneplate im Profil Watt, Schilf und Grünland (Kern)	37
Abbildung 3-30:	Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20 μ m am Standort Strohauser Plate Nord im Profil Watt, Schilf und Grünland	38
Abbildung 3-31:	Σ PCB ₇ Gehalte auf 20 μ m Fraktion normiert am Standort Strohauser Plate Nord im Profil Watt, Schilf und Grünland	39
Abbildung 3-32:	Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20 μ m am Standort Strohauser Plate Süd im Profil Watt, Schilf, Rohr-Glanzgras und Grünland (Kern)	40
Abbildung 3-33:	Σ PCB ₇ Gehalte (auf 20 μ m Fraktion normiert) am Standort Strohauser Plate Süd im Profil Watt, Schilf, Rohr-Glanzgras und Grünland (Kern)	40
Abbildung 3-34:	Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20 μ m am Standort Harriersand Nord im Profil Watt, Rohrkolben, Grünland	41
Abbildung 3-35:	Σ PCB ₇ Gehalte (auf 20 μ m Fraktion normiert) am Standort Harriersand Nord im Profil Watt, Rohrkolben, Grünland	42
Abbildung 3-36:	Cadmiumgehalte in Sedimenten der Dauermessstellen an der Weser und Oberwasserabfluss bei Intschede Weser-km 331	43
Abbildung 3-37:	Längsverlauf der Gehalte in der Feinkornfraktion < 20 μ m beispielhaft an den Schwermetallen Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg)	44
Abbildung 3-38:	Längsverlauf der Gehalte (auf 20 μ m Fraktion normiert) beispielhaft an den organischen Schadstoffen Summe 7 PCB und p,p'-DDD	45
Abbildung 3-39:	Streudiagramm der Hauptkomponentenanalyse der Weserdaten	47
Abbildung 3-40:	NMDS der Artenzusammensetzung mit Projektion der Aufnahmepunkte und Standortfaktoren. Arten (rot), signifikante Standortfaktoren (orange)	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Übersicht über die Probenahmestandorte der Sedimente bzw. Böden	9
Tabelle 3-1:	Verteilung der Bodentypen im Längsverlauf der Tideweser an den beprobten Straten (Bodentypenkürzel nach KA5, AG Bodenkunde 2005)	28
Tabelle 3-2:	Verteilung der Substrat im Längsverlauf der Tideweser an den beprobten Straten (Substrattypenkürzel nach KA5, AG Bodenkunde 2005)	28
Tabelle 3-3:	Signifikanzwerte der bedeutendsten Standortfaktoren. Die Spalten NMDS1 und NMDS2 listen die Koordinaten der Vektorspitze des jeweiligen Standortfaktors auf. Die Spalte r^2 beinhaltet das Bestimmtheitsmaß des jeweiligen Standortfaktors.	49

Abkürzungsverzeichnis

CaCO ₃	Karbonat
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
D _m	mittlerer Korndurchmesser
Dw	Durchwurzelung
fS	Feinsand
fU	Feinschluff
GLM	Generalized linear model
GOK	Gelände-Oberkante
gS	Grobsand
gU	Grobschluff
H	Humus
HCB	Hexachlorbenzol
Hg	Quecksilber
H _z M _{Thw}	Höhe zum Mittleren Tidehochwasser

IWb	Brackwatt
IWb	Brackwatt
IWf	Flusswatt
IWn	Normwatt
K	Kalium
LAGA	Landesarbeitsgemeinschaft Abfall
L _f	Leitfähigkeit
IUwa	lehmiger Wattschluff
m	Meter
MC	Kalkmarsch
MHb	Brackhaftnässemarsch
MRb	Brackrohmarsch
MRf	Flussrohmarsch
MRn	Normrohmarsch
mS	Mittelsand
MThw	Mittleres Tidehochwasser
mU	Mittelschluff
N	Stickstoff
Ni	Nickel
NMDS	Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung
P	Phosphor
Pb	Blei
p, Pr	Überschreitungswahrscheinlichkeit, Signifikanzwert
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCA	Principal component analysis
PCB	Polychlorierte Biphenyle
pH	potentia hydrogenii, dt.: Wasserstoffionenkonzentration
pH-Wert	negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität
p,p'-DDD	para,para-Dichlordiphenyldichlorethan
p,p'-DDE	para,para-Dichlordiphenyldichlorethylene
p,p'-DDT	para,para-Dichlordiphenyltrichlorethan
r ²	Bestimmtheitsmaß

RN	Rechter Nebenarm
Sdel	Seedeltasand
Sfo	Auensand
sUwa	sandiger Wattschluff
SW	Schweiburg
sYsp	sandiges natürliches Spülmaterial
T	Ton oder Temperatur
TBT	Tributylzinn
TC	total carbon (gesamter Kohlenstoff)
TIC	total inorganic carbon (gesamter anorganischer Kohlenstoff)
TOC	total organic carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
tsUdel	tonig sandiger Seedeltaschluff
TUdel	Seedeltaton und -schluff
tUdel	toniger Seedeltaschluff
tUwa	toniger Wattschluff
Udel	Seedeltaschluff
Uls	lehmiger Schluff (schwach sandig)
URE	Umweltrisikoeinschätzung
Us	sandiger Schluff
uSfo	schluffiger Auensand
Ut3	schluffiger Lehm
Ut4	lehmiger Schluff
UW	Unterweser
Zn	Zink

Zusammenfassung

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 1

Watt-, Röhricht- und Grünlandflächen sind wertvolle Elemente des Naturhaushaltes. Die für diese Arbeit durchgeführten Untersuchungen sollen Zusammenhänge zwischen abiotischen Standortbedingungen (Sediment, Boden, Schadstoff) und Röhrichtvorkommen herstellen. Dabei wird in dieser Studie folgenden Fragen nachgegangen:

1. Bestehen qualitative Zusammenhänge zwischen Röhrichten, Sedimenten und Schadstoffen?
2. Sind Korngrößenzusammensetzung, Nährstoffe und Salzgehalt in den Vorländern mit den Vegetationstypen korreliert?

Mit Hilfe einer interdisziplinären Analyse in 6 Transekten mit den Straten Watt, Röhricht, Grünland und einer Bodenbeprobung in unterschiedlichen Tiefenstufen sollen Trends vom Watt ins Grünland, von der Oberfläche in die Tiefe, aber auch im Längsverlauf der Tideweser identifiziert werden.

Folgende Ergebnisse können festgehalten werden:

Die Schadstoffgehalte in den Rhizomen der untersuchten Röhrichte liegen oftmals unter der Nachweisgrenze. Somit lassen sich in den durchaus vorhandenen hohen Schadstoffkonzentrationen am Standort und den Gehalten in der Pflanze zunächst keine qualitativen Zusammenhänge herstellen. Die Schadstoffanalyse der Sedimente bestätigt eine steigende Tendenz der Schadstoffgehalte vom Watt zum Grünland. Die Sedimente der Grünländer sind offensichtlich älter und zeigen die höhere Belastung der vergangenen Jahrzehnte. Im longitudinalen Gradient ist die bekannte seewärts gerichtete Abnahme der Schadstoffgehalte (z. B. ARGE ELBE 1980) durch den höheren Anteil wenig belasteter mariner Sedimente in den jungen Bodenbildungen zu erkennen.

Zwischen Vegetationstypen und den untersuchten abiotischen Standortparametern lassen sich keine signifikanten Zusammenhänge detektieren. Das räumliche Muster der Korngrößenzusammensetzung lässt weder in der Transektanalyse noch im Längsgradienten einen einheitlichen Trend erkennen. Offensichtlich bestimmt hier die lokale hydromorphologische Flusscharakteristik das Verteilungsmuster. Die Nährstoffgehalte sind für Phosphor und Stickstoff im Allgemeinen an allen Standorten als hoch einzustufen. Die Ergebnisse liegen in den lokal unterschiedlichen Sedimentationsbedingungen und Nutzungen begründet. Die Leitfähigkeit in den Sedimentproben weist einen Trend im Längsverlauf gemäß dem Salzgradienten im Fluss auf. Sie lässt auch Muster im lateralen Verlauf erkennen. Diese Trends werden an den bewachsenen Probenahmepunkten auch von der Artenzusammensetzung der Pflanzen (Salzzahl nach Ellenberg) widergespiegelt.

Belastbare Antworten zu den aufgeführten Fragen sind auf Grund der geringen Stichprobenanzahl in Zusammenschau mit der räumlichen und zeitlichen Momentaufnahme nicht ableitbar. Erst eine Untersuchung in größerem Rahmen kann hierzu präzisere Ergebnisse liefern.

1 Anlass

Vorländer spielen eine entscheidende Rolle bei der Filterung von Oberflächen- und Grundwasser. Deshalb werden sie auch als ökologische Nieren bezeichnet (AMBASHT 2008). Sie speichern Sedimente und sich zersetzendes Pflanzenmaterial. Durch das Akkumulieren von Sediment können sie als Senken das überschüssige Transportmaterial des Flusses binden (HEBERT 2002). Insbesondere in der feinkörnigen Fraktion der Sedimente sind oft Schadstoffe gebunden (OSPAR 2002). Dementsprechend werden kontaminierte Sedimente langfristig u. a. in den Marschen der Tideweser gespeichert und dem aquatischen System entzogen. So werden größere zusammenhängende Wattflächen auch als Schadstoffsinken bezeichnet. Umgekehrt können Vorländer bei Erosionsprozessen auch als sekundäre Quelle von schadstoffbelastetem Sediment fungieren (ACKERMANN & SCHUBERT 2000; SCHUBERT & HUMMEL 2008). In den genannten Studien wurden bisher jedoch die von Vegetation befestigten Uferbereiche außer Acht gelassen.

Im Forschungsprogramm KLIWAS ist ein Ziel des Projekts 3.09, eine mögliche klimabedingte Veränderung von Eigenschaften und Funktionen der Vorländer in den Ästuaren von Elbe und Weser zu analysieren. Die hier durchgeführte Voruntersuchung soll einen ersten Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Filterfunktion von Röhrichten für Sedimente und Schadstoffe geben. Folgende interdisziplinären Fragestellungen werden von den KLIWAS-Projekten 3.03 Sedimenthaushalt, 3.06 Schadstoffbelastete Sedimente und 3.09 Ästuarvegetation gemeinsam bearbeitet:

Bestehen qualitative Zusammenhänge zwischen Röhrichten, Sedimenten und Schadstoffen?

Sind Korngrößenzusammensetzung, Nährstoffe und Salzgehalt in den Vorländern mit den Vegetationstypen korreliert?

2 Probenahme

Das Probenahmedesign der Vorstudie für den Herbst 2009 richtet sich nach Landanschlussprofilen, die das Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven seit Jahrzehnten eingerichtet hat. Auf ihnen werden in bestimmten Zeitintervallen die Höhen zu Normalnull (NN) gemessen. Entlang dieser Transekte werden im KLIWAS-PJ 3.09 Zeitreihenanalysen in Zusammenhang mit der Vegetationsänderung durchgeführt. Sechs der Profile wurden für die Vorstudie entlang der Unterweser ausgewählt (siehe Abbildung 2-1).

2.1 Probenahmedesign

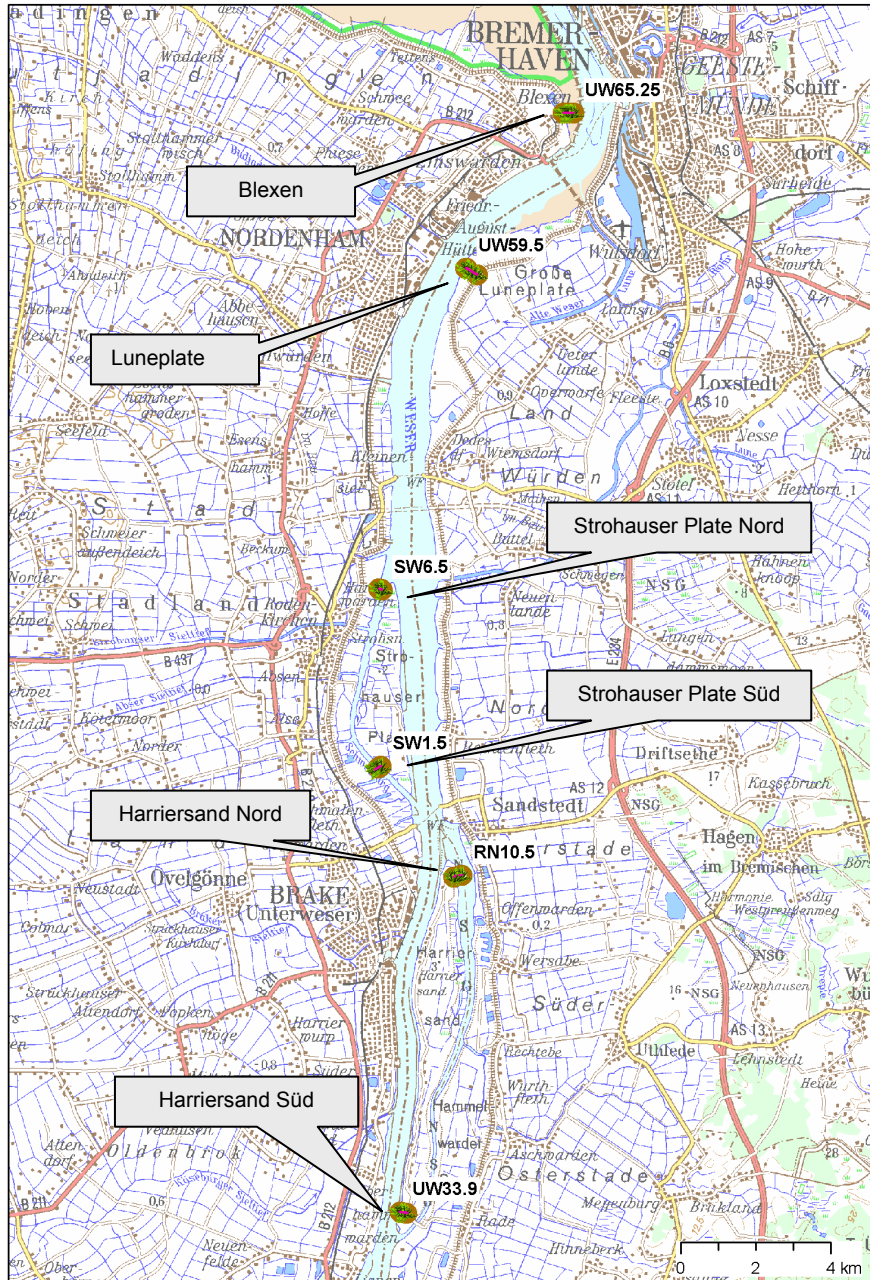
Jedes Profil wurde nach Biotoptypen und der Höhe zum mittleren Tidehochwasser (z) stratifiziert:

Stratum 1: vegetationslose Wattfläche, $z = -1,5$ bis $-0,5$ m

Stratum 2: Schilf, $z = -0,5$ bis $+0,5$ m

Stratum 3: Grünland, $z = 0,5$ bis $+1,5$ m

In jedem Stratum wurde ein Standort gewählt, an dem Boden- bzw. Sedimentproben in drei Tiefen entnommen wurden. Zusätzlich wurden dort Proben unterirdischer Pflanzenteile (v. a. von Schilf) genommen und Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Ebenso wurde die Höhe zu NN festgehalten. Die Korngrößenzusammensetzung sowie Nähr- und Schadstoffe in Bodenschichten und Wurzeln wurden anschließend im Labor bestimmt.



ATKIS® , DTK200; Copyright © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2001

Abbildung 2-1: Überblick über die beprobten Standorte

2.2 Aufnahmeparameter und –methoden

2.2.1 Vegetation, Geländehöhe und Schadstoffe

Transektaufnahmen

Entlang der Transektlinien, die zumeist der Lage der Landanschlussprofile entsprechen, wurden Vegetationseinheiten und Geländehöhe, erfasst. Jeder Wechsel von Vegetationseinheiten wurde mit einem zusätzlichen Messpunkt im Zuge der Höheneinmessung dokumentiert.

Vegetationsaufnahmen

In unmittelbarer Nähe der zusätzlichen Höheneinmessung wurden die wichtigsten Vegetationseinheiten mit Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet dokumentiert. Dabei wurden Deckungsangaben nach REICHELT & WILMANN (1973) notiert. Die Nomenklatur der Arten entspricht WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998).

Rhizom- und Wurzelproben

Die Proben wurden i. d. R. in 0 - 20 cm Tiefe genommen (vgl. Anhang A und Anhang B). Im Labor wurden sie von allen anhaftenden Bodenresten befreit, d. h. gründlich abgespült, ehe mit Hilfe eines Messers alle mit Bodenresten behafteten Pflanzenteile abgeschnitten wurden. Dabei mussten die Feinwurzeln weitgehend entfernt werden. Für die Analysen sind jeweils ≥ 1 g Trockenmaterial pro Probe erforderlich. Nach der Trocknung wurde ein mikrowelleninduzierter Druckaufschluss (US EPA Method 3052:1996) durchgeführt. Die Messung der Schwermetallgehalte erfolgte mit der ICP-MS (DIN EN ISO 17294-2:2005-02).

2.2.2 Boden und Schadstoffe

In der Probenahmekampagne vom 21.10. bis 22.10.2009 wurden in sechs Bereichen der Tideweser (Blexen, Luneplate, Strohauser Plate Nord, Strohauser Plate Süd, Harriersand Nord und Harriersand Süd) neben Proben der Flora auch Boden- bzw. Sedimentproben entnommen (siehe Abbildung 2-1). Die Profile umfassen jeweils Watt, Schilf und Grünland. Im Watt wurden Oberflächenproben mittels einer Schöpfkelle entnommen und im Schilf- sowie im Grünlandbereich mit Hilfe eines Moorbohrers in 0-20 cm und soweit möglich in 80-100 cm Tiefe. An zwei Positionen im Grünland sind Rammkernsondierungen bis in 2 m Tiefe durchgeführt worden. Die Proben aus Kern 1 (Luneplate) sind im ersten Meter in 20 cm bzw. 40 cm Schichten unterteilt und im zweiten Meter in 50 cm Schichten. Die Proben

in Kern 2 (Strohauser Plate Süd) sind bis in zwei Meter Tiefe in 50 cm Schichten unterteilt.

Der Untersuchungsumfang der Sediment- bzw. Bodenproben umfasste folgende Parameter:

- Korngrößenverteilung
- Organischer Kohlenstoffgehalt (TOC)
- Schwermetalle und Arsen
- Organische Schadstoffe und Organozinnverbindungen.

Da sich die untersuchten Schadstoffe vorwiegend an die Feinkornfraktion der Sedimente binden, wurden an den Proben des Probenahmestandorts Harriersand Süd auf Grund des ausschließlich sandigen Materials keine Schadstoffanalysen durchgeführt.

Die Untersuchungen der Schadstoffe, Korngrößen und des TOC wurden von einem externen Labor durchgeführt. An der BfG wurden ausgewählte Proben zur Qualitätssicherung auf die vorher genannten Schadstoffe analysiert.

In Tabelle 2-1 sind die untersuchten Proben mit ihren Ortsbezeichnungen aufgezeigt. Schwermetalle und die hier untersuchten organischen Schadstoffe reichern sich bevorzugt in der Feinkornfraktion $< 20 \mu\text{m}$ von Sedimenten an (OSPAR 2002). Schadstoffgehalte in Gesamtproben, d.h. in der Fraktion $< 2 \text{ mm}$, werden daher deutlich vom Feinkornanteil beeinflusst. Dieser kann durch unterschiedliche Strömungsbedingungen und je nach Probenahmestandort variieren. So kann ein Gewässerabschnitt, der einheitlich mit Schadstoffen belastet ist, durch die Messung der Schadstoffgehalte in den Gesamtproben nur aufgrund unterschiedlicher Anteile unbelasteten sandigen Materials stark schwanken. Deshalb wurden die Schwermetallgehalte nach Vorgabe der BfG-Methode zur Umweltrisikoeinschätzung (URE; BfG 2004) zur Korrektur des Korngrößeneffektes in der abgetrennten Feinkornfraktion $< 20 \mu\text{m}$ analysiert und bewertet. Die in der Fraktion $< 2 \text{ mm}$ gemessenen Gehalte der organischen Schadstoffe wurden entsprechend auf die Fraktion $< 20 \mu\text{m}$ (gemäß URE) normiert sofern der Anteil $< 20 \mu\text{m} > 10 \%$ betrug. Lagen die Gehalte unter der Bestimmungsgrenze, wurde die halbe Bestimmungsgrenze als Konzentration für weitere Berechnungen verwendet.

Tabelle 2-1: Übersicht über die Probenahmestandorte der Sedimente bzw. Böden

Profil-Nr.	Entnahmetiefe [m]	Datum	Fluss_KM	ORT	ORTSBEZ
UW653_1	Oberfläche	22.10.2009	65,25	Blexen	Watt
UW653_4	0,0-0,2	22.10.2009	65,25	Blexen	Strandsimse
UW653_4	0,8-1,0	22.10.2009	65,25	Blexen	Strandsimse
UW653_2	0,0-0,2	22.10.2009	65,25	Blexen	Schilf
UW653_2	0,8-1,0	22.10.2009	65,25	Blexen	Schilf
UW653_3	0,0-0,2	22.10.2009	65,25	Blexen	Grünland_Deich
UW653_3	0,8-1,0	22.10.2009	66,25	Blexen	Grünland_Deich
UW595_1	Oberfläche	21.10.2009	59,5	Luneplate	Watt
UW595_2	0,0-0,2	21.10.2009	59,5	Luneplate	Schilf
UW595_2	0,8-1,0	21.10.2009	59,5	Luneplate	Schilf
UW595_3	0,0-0,2	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland
UW595_3	0,8-1,0	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland
UW595_3	0-0,4	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland, Kern 1
UW595_3	0,4-0,7	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland, Kern 1
UW595_3	0,7-1,0	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland, Kern 1
UW595_3	1,0-1,5	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland, Kern 1
UW595_3	1,5-2,0	21.10.2009	59,5	Luneplate	Grünland, Kern 1
SW065_1	Oberfläche	22.10.2009	6,5	Strohauser Plate Nord (Strohausen)	Watt
SW065_2	0,0-0,2	22.10.2009	6,5	Strohauser Plate Nord (Strohausen)	Schilf
SW065_2	0,8-1,0	22.10.2009	6,5	Strohauser Plate Nord (Strohausen)	Schilf
SW065_3	0,0-0,2	22.10.2009	6,5	Strohauser Plate Nord (Strohausen)	Grünland
SW065_3	0,4-0,6	22.10.2009	6,5	Strohauser Plate Nord (Strohausen)	Grünland
SW015_1	Oberfläche	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	Watt
SW015_2	0,0-0,2	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	Schilf
SW015_2	0,8-1,0	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	Schilf
SW015_4	0,0-0,2	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	gestört: Rohr-Glanzgras
SW015_4	0,2-0,4	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	gestört: Rohr-Glanzgras
SW015_3	0-0,5	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	Grünland, Kern 2
SW015_3	0,5-1,0	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	Grünland, Kern 2
SW015_3	1,0-1,5	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd Schmalenfleth	Grünland, Kern 2
SW015_3	1,5-2,0	22.10.2009	1,5	Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)	Grünland, Kern 2
RN105_1	Oberfläche	21.10.2009	10,5	Harriersand Nord	Watt
RN105_4	0,0-0,2	21.10.2009	10,5	Harriersand Nord	Rohrkolben
RN105_4	1,0-1,2	21.10.2009	10,5	Harriersand Nord	Rohrkolben
RN105_3	0,0-0,2	21.10.2009	10,5	Harriersand Nord	Grünland
RN105_3	0,4-0,6	21.10.2009	10,5	Harriersand Nord	Grünland
UW339_1	Oberfläche	21.10.2009	33,9	Harriersand Süd	Strand/Watt
UW339_2	0,0-0,2	21.10.2009	33,9	Harriersand Süd	Schilf
UW339_2	0,6-0,8	21.10.2009	33,9	Harriersand Süd	Schilf
UW339_3	0,0-0,2	21.10.2009	33,9	Harriersand Süd	Grünland
UW339_3	0,6-0,8	21.10.2009	33,9	Harriersand Süd	Grünland

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 9

Die entnommenen Sedimente wurden mit Hilfe des „URE-Schemas“
bewertet bzw. 5 Klassen zugeordnet (sehr gering belastet bis sehr hoch

belastet). Die Umweltrisikoeinschätzung (URE) dient zur Ermittlung der voraussichtlichen raumbezogenen Umweltauswirkung und hilft erste Einschätzungen zur Belastung von Sedimenten vorzunehmen.

3 Analysen und Ergebnisse

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 12

3.1 Feld- und Laboruntersuchungen und deren Darstellung entlang möglicher Gradienten

3.1.1 Vegetation, Geländehöhe und Schadstoffe

Transektaufnahmen

In den folgenden Abbildungen werden die Transekte in ihrer Geländehöhe zum mittleren Tidehochwasser [m] und ihrer Vegetation abgebildet. Das mittlere Tidehochwasser basiert auf dem 10-jährigen Mittel der Tidehochwasserstände von 1996 bis 2005. Die Standorte der Bodenproben, Pflanzenproben und Vegetationsaufnahmen innerhalb der Transekte sind anhand des Schaufelsymbols gekennzeichnet. Gestörte Transektabschnitte sind schraffiert wiedergegeben.

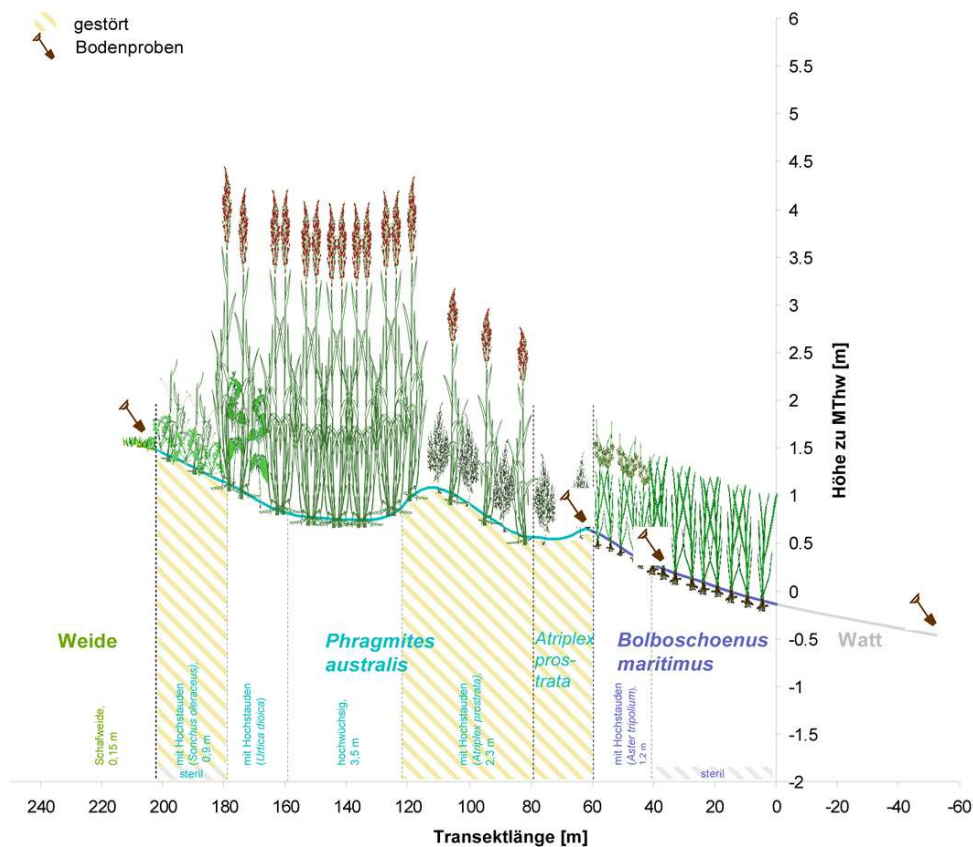


Abbildung 3-1: Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Blexen, UW-km 65,25

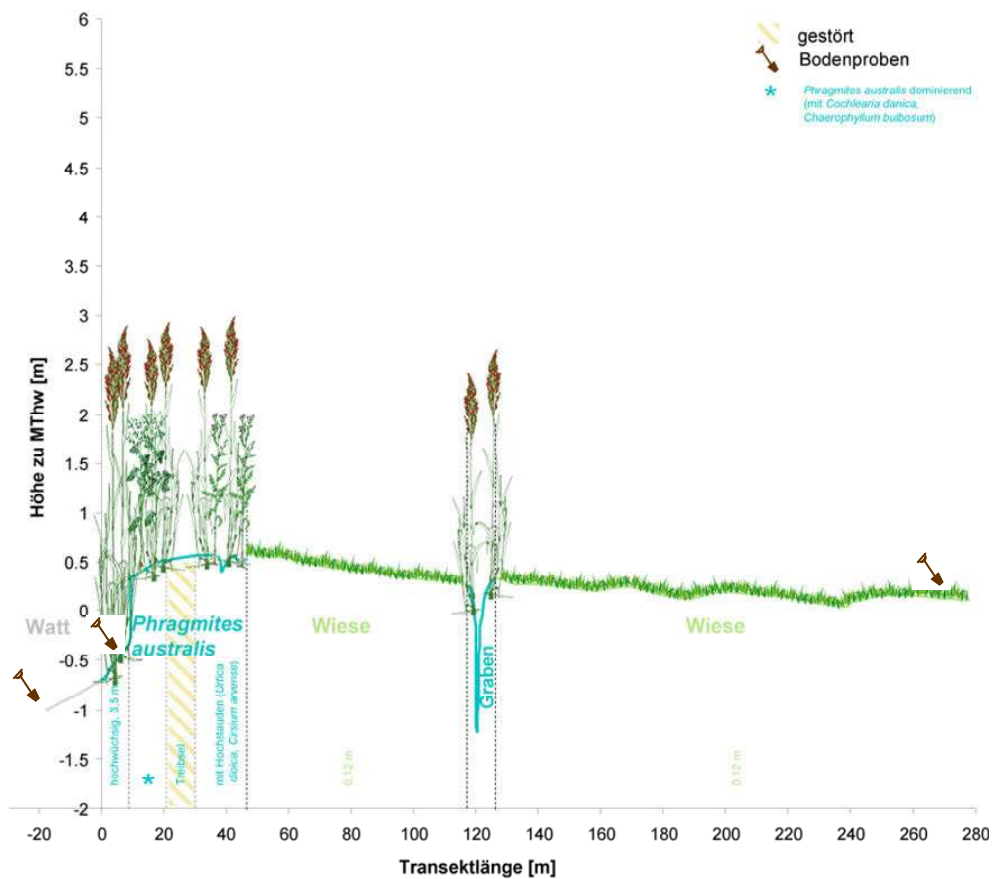


Abbildung 3-2: Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Luneplate, UW-km 59,5

Vegetationsaufnahmen

Folgende Vegetationseinheiten wurden mit den Transekten erfasst (vgl. Anhang C): Strandsimsen-Röhricht (*Bolboschoenus maritimus*), Rohrkolben-Röhricht (*Typha angustifolia*), Schilf-Röhricht (*Phragmites australis*), Quecken (*Elymus repens*) dominiertes Röhricht, Rohr-Glanzgras-Röhricht (*Phalaris arundinacea*) und beweidetes Grünland. Außerdem wurden Störstellen in Schilf- bzw. Rohrglanzgras-Röhricht mit Ruderalarten wie Große Brennnessel (*Urtica dioica*) oder Spieß-Melde (*Atriplex prostrata*) dokumentiert.

Die Pflanzenarten, denen Zeigerwerte für Standortparameter zugeordnet sind (Ellenberg 2001), wurden für die Berechnung eines mittleren Salzwertes und eines mittleren Stickstoffwertes pro Vegetationsaufnahme herangezogen (vgl. Anhang G). Abbildung 3-7 zeigt die mittleren Salzwerte von Röhricht-Probepunkten im Vergleich zu der gemessenen Leitfähigkeit in verschiedenen Bodenschichten entlang des Salinitätsgradienten, von Nord nach Süd.

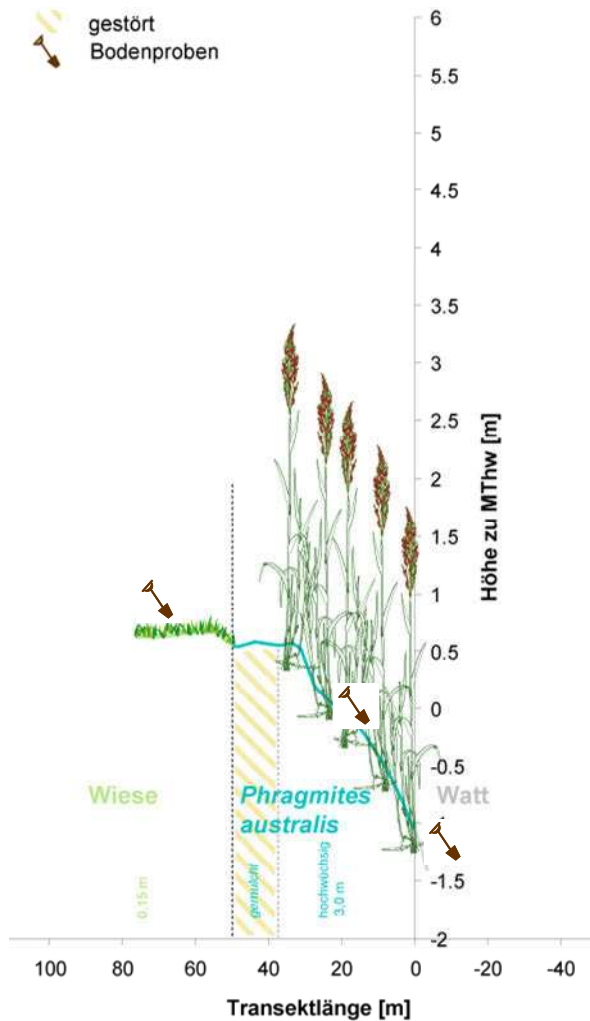


Abbildung 3-3: Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Strohauser Plate Nord, SW-km 6,5

Sowohl die Messwerte als auch die Ellenberg-Zeigerwerte spiegeln die von Nord nach Süd abnehmende Salinität wider.

Vergleicht man die Salinitätswerte innerhalb des Transektes bei Blexen (Abbildung 3-8), so zeigen sowohl die Ellenberg-Salzwerte als auch die Messwerte aus den Bodenschichten tiefer 20 cm eine Abnahme der Salinität uferaufwärts. Dies war zu erwarten, da die höher gelegenen Bereiche seltener überschwemmt werden und das Salz hier dementsprechend stärker vom Regen ausgewaschen wird als in den tiefer gelegenen Bereichen.

Die flussaufwärts gelegenen Transekte zeigen in sich ein weniger eindeutiges Salinitätsgefälle. Dies ist grundsätzlich zu erwarten, da das Flusswasser in diesem Bereich einen geringeren Salzanteil enthält. Ein Problem für die Berechnung der Ellenberg-Salzwerte hier ist die natürliche Artenarmut der untersuchten Röhrichttypen, die eine geringe Stichprobengröße an Salinitätszeigern bedingt.

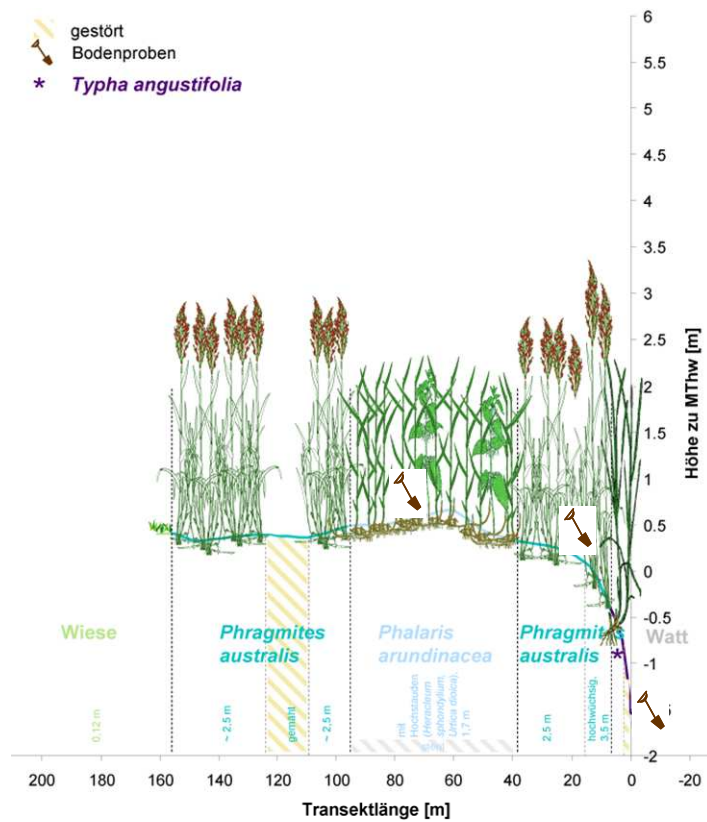


Abbildung 3-4: Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Strohauser Plate Süd, SW-km 1,5

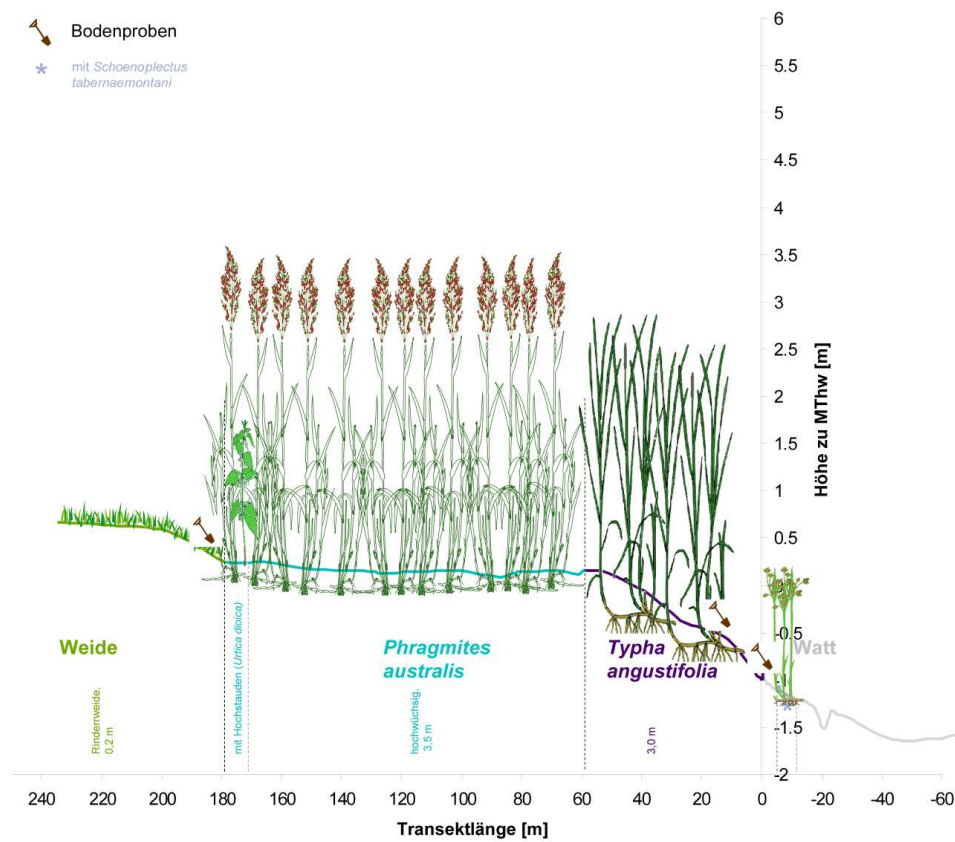


Abbildung 3-5: Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Harriersand Nord, RN-km 10,5

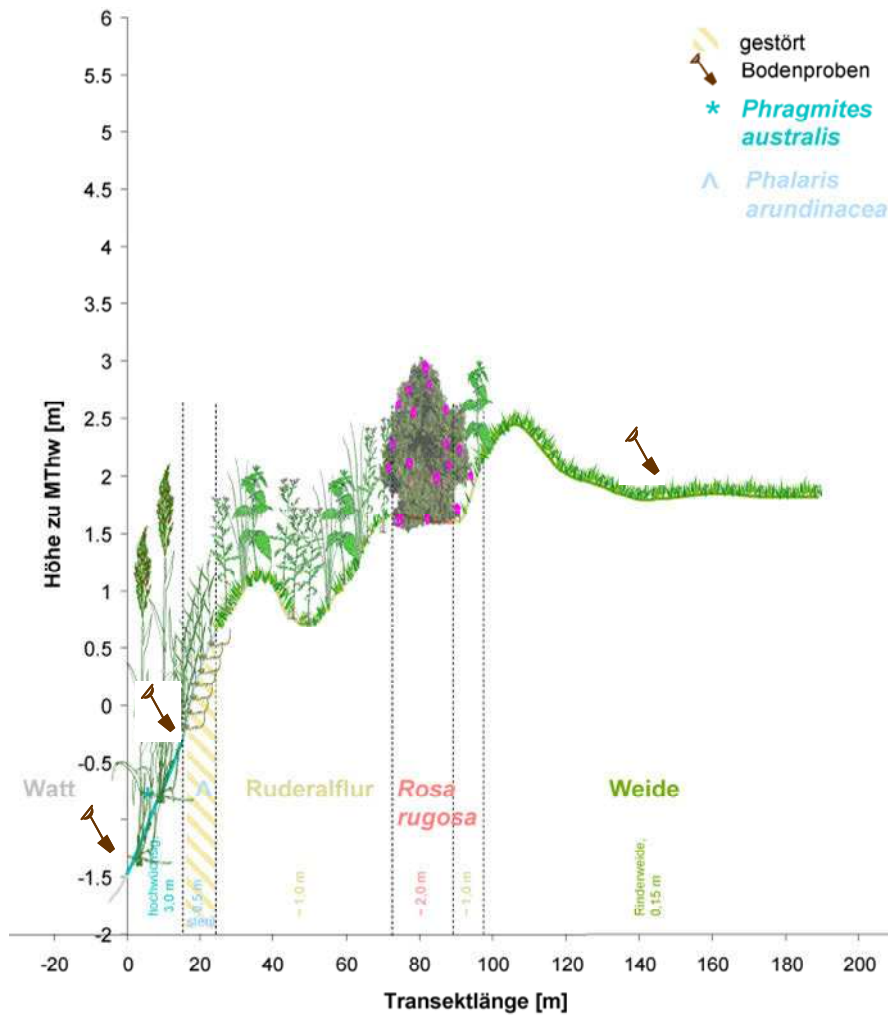


Abbildung 3-6: Transekt der Vegetation und Geländehöhe zu MThw am Standort Harriersand Süd, UW-km 33,9

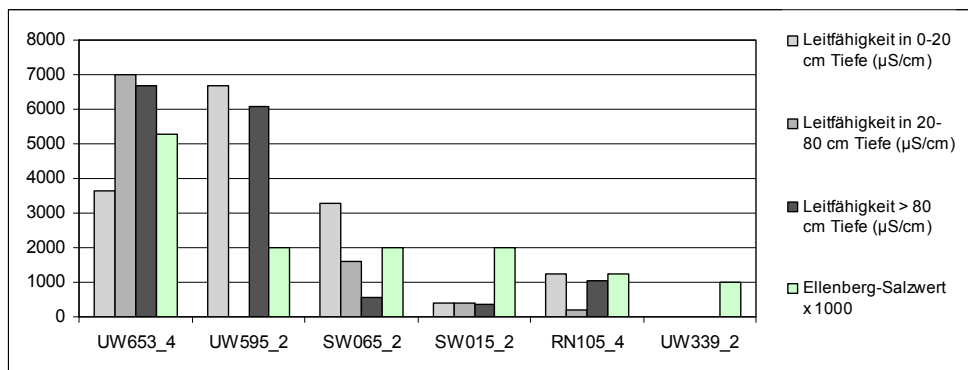


Abbildung 3-7: Gemessene Leitfähigkeit und Ellenberg-Salzwerte entlang des Salinitätsgradienten (Nord → Süd)

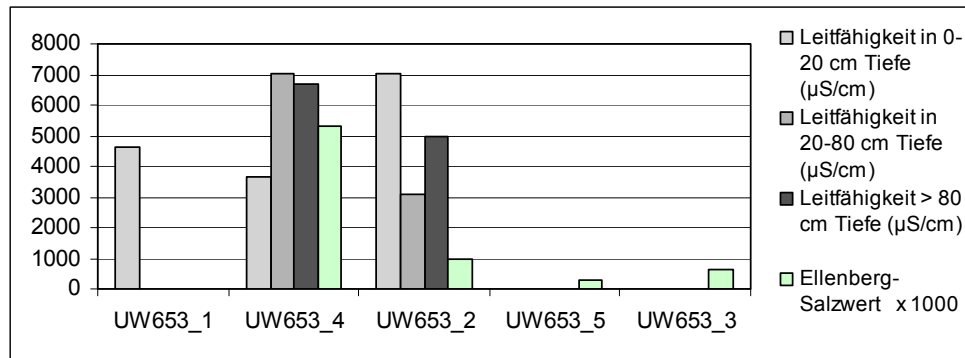


Abbildung 3-8: Gemessene Leitfähigkeit und Ellenberg-Salzwerte entlang des Transektes bei Blexen (Watt → Ufer)

Schadstoffanalyse von Röhrichten

Die meisten Schwermetall- und Arsengehalte der unterirdischen Pflanzenteile in Anhang D liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze, insbesondere von Arsen, Cadmium, Chrom, Quersilber und Blei. Im Gegensatz zu den Schadstoffen speichert Schilf (*Phragmites australis*) Spurennährelemente wie Kupfer und Zink bis über 10 % der Schwermetallgehalte im Boden (Fraktion < 20 µm) mit wenigen Ausnahmen. Die Rhizomprobe von *P. australis* aus einer tieferen Bodenschicht bei Blexen (UW 65,3_4) fällt aufgrund ihrer leicht erhöhten Schadstoffwerte gegenüber den anderen Proben auf. Der Standort liegt zwischen den Industriegebieten von Nordenham und Bremerhaven. Die leicht erhöhten Schadstoffwerte in den tieferen Bodenschichten können damit zusammenhängen, dass die Emissionen in früheren Jahren höher waren als heute. Am industrieferneren Standort Strohauser Plate (SW1,5_2) zeigt die Probe aus tieferen Bodenschichten keine erhöhten Werte. Ansonsten fällt der hohe Gehalt an Kupfer im Rohr-Glanzgras (*Phalaris arundinacea*) am Standort SW1,5_3 auf. Vergleichswerte liegen nicht vor. Muster der Schadstoffe in der Längszonierung sind nicht zu identifizieren. Jedoch haben Studien in anderen Ländern gezeigt, dass Schilfflächen als Bioakkumulator von Schadstoffen fungieren können. Folgende Ergebnisse aus diesen Studien seien hier genannt: Die Schadstoffgehalte, die das Schilf akkumuliert, konzentriert sich in den Pflanzenteilen unterschiedlich. Der Gehalt nimmt in folgender Reihenfolge ab: Wurzeln > Rhizome > Blätter > Stängel (AIT ALIA et al. 2004, BONANNO & LO GIUDICE 2010). Zur Bioakkumulation in Schilf wurde festgestellt, dass sich die höchste durchschnittliche Konzentration von Cd, Hg, Pb und Zn in den Wurzeln befindet, hingegen die Konzentration von Cr, Mn und Ni weiterhin im Sediment zu finden ist. Die höchste Konzentration von Cu bleibt im Wasser (BONANNO & LO GIUDICE 2010).

3.1.2 Boden und Schadstoffe

Böden, Korngrößenzusammensetzung und Bodenparameter Leitfähigkeit, Temperatur und pH-Wert im lateralen und vertikalen Verlauf

Die Darstellung der Standorte erfolgt in der Reihenfolge von Nord nach Süd. Entlang des Probenahmetranssekts werden an drei Probepunkten die Sedimente in zwei Tiefenbereichen untersucht (vgl. Kapitel 2.2.2).

Standort Blexen

Der Standort Blexen liegt bei UW-km 62,25 auf Höhe von Bremerhaven an der Grenze zur Außenweser. An einem Gleithang gelegen ist das Sediment des Normwatts (IWn) hier stark schluffig (Anhang E, Anhang F, Abbildung 3-9), jedoch mit merklichen Feinsandanteilen (Bodenart Us). Das frisch abgelagerte Sediment ist sehr bis extrem carbonatreich und zeigt schon an der Oberfläche mit seiner Färbung reduktive Bedingungen an. Auch im Bereich der Besiedlung der Strandsimse ist der Boden reduktiv, in die Tiefe hin zunehmend. Das hohe Wasserhaltevermögen von der Schluff dominierten Bodenarten konserviert diese Verhältnisse. Der Carbonatreichtum, gleichartige Körnungen und das durchweg kohärente Bodengefüge indizieren nur eine marginale Bodenbildung. Bodengenetisch findet sich hier eine Normwatt-Normrohmarsh (IWn-MRn).

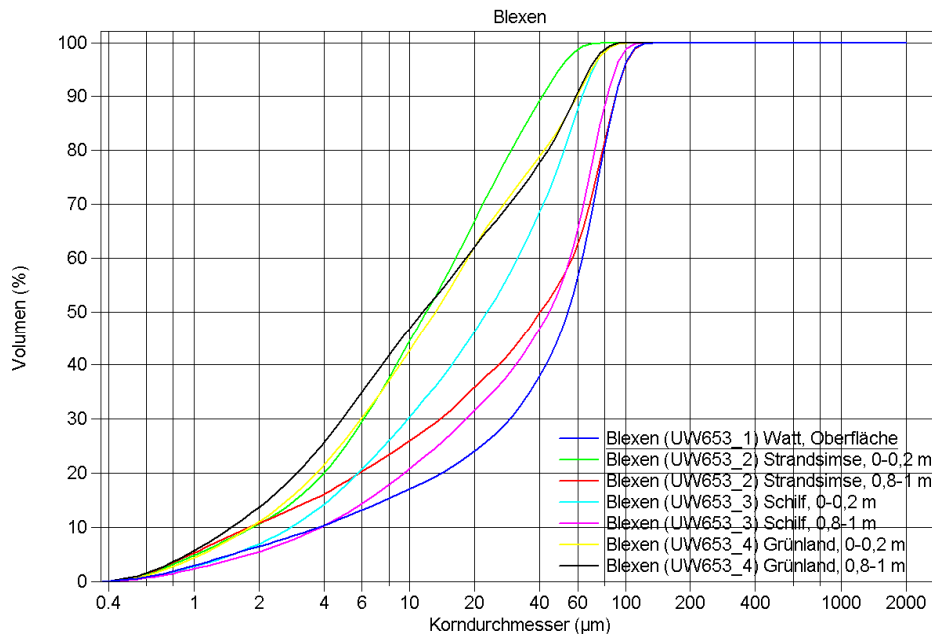


Abbildung 3-9: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Blexen, UW-km 65,3

Im Schilfgürtel ist die Bodenentwicklung zur Normrohmarsh (MRn) vollzogen. Absonderungsgefügeformen sind erkennbar, reduktive Merkmale treten erst in Schichten ab 0,8 m unter Gelände-Oberkante (GOK) auf. Zur

Tiefe hin zunehmend ist der schluffgeprägten Bodenart Feinsand beigemischt. Dennoch kann die Wasserführung durch Haftnässebildung eingeschränkt sein. Offensichtlich herrschten hier zuvor andere Sedimentationsbedingungen bzw. sind anthropogene Eingriffe (z. B. Vorspülung) vorhanden. Der Carbonatanteil ist durchgehend hoch, eine Entkalkung mit Ausbildung eines Tiefengradienten hat nicht stattgefunden. Der Grünlandstandort zeigt mit nur schwach tonigem Schluff als Bodenart, einer ausgeprägten Aggregation und fehlender oberflächennaher Redoximorphose eine deutliche Bodenentwicklung zur typischen Kalkmarsch (Übergangsform MRn-MC). Schilffreste in der Tiefe deuten auf eine anthropogene Beeinflussung hin, die auf eine Innutzungsnahme von ehemaligen Schilfbereichen und/oder einen Bodenauftrag hindeuten. Gleichwohl kann dieser Boden auf Grund seiner schluffbetonten Korngrößenverteilung zu Haftnässebildungen neigen.

Die Standortverhältnisse sind deutlich halin geprägt. Selbst in den höher gelegenen Röhrichtbereichen liegen die Leitfähigkeiten noch über 3 mS/cm (Abbildung 3-10). Die pH-Werte liegen zwischen pH 7,4 und 8, die Temperaturen am Tag der Aufnahme zwischen 8,5 und 10°C. Die Oberflächensedimente im Watt und am meerseitigen Rand des Röhrichtgürtels weisen geringere Leitfähigkeiten auf als die Tiefenproben, da das Salz oben eher gelöst von Tide und Sedimentbewegung abhängig und in der Tiefe in der Bodenmatrix fixiert ist.

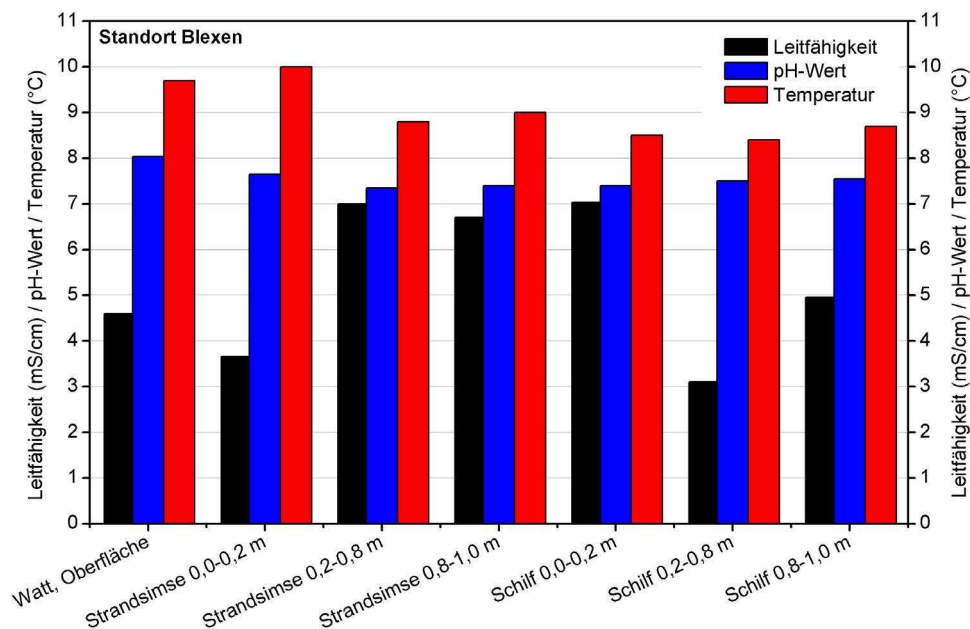


Abbildung 3-10: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Blexen (UW-km 65,3) im Profil Watt, Strandsimse, Schilf, Grünland

Standort Luneplate

Das Brackwatt (IWb) ist offensichtlich auf Grund der Sedimentationsbedingungen am Gleithang sehr feinkörnig ausgeprägt

(Anhang E, Anhang F, Abbildung 3-11). Deutlich schluffbetont sind nur sehr geringe Anteile von Feinsanden beigemischt. Mit der Bodenart schwach toniger Schluff, die hier in unkonsolidiertem Zustand in kohärentem Gefüge vorliegt, sind hohe Wasseraufnahme- und Speichervermögen verbunden.

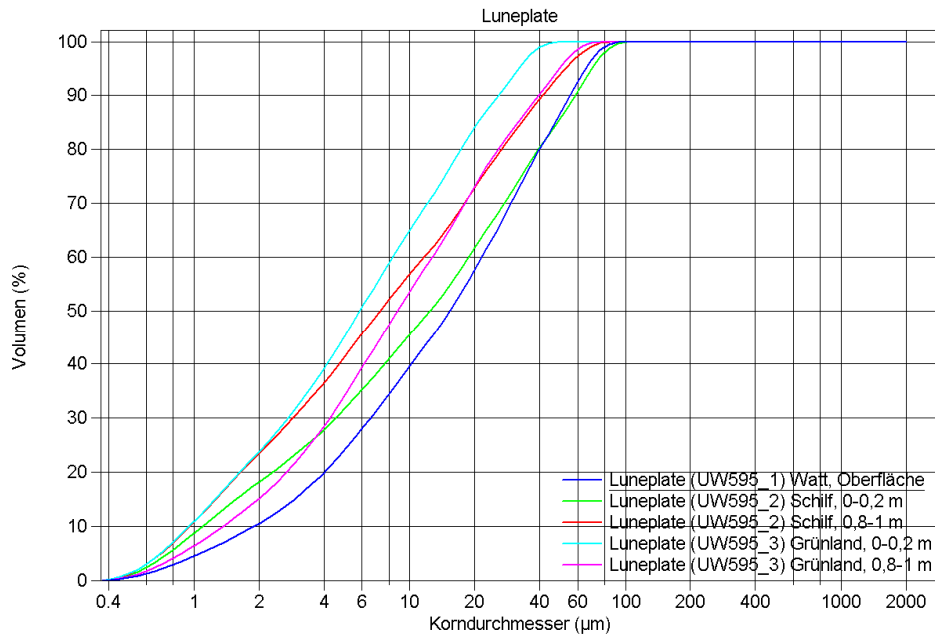


Abbildung 3-11: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Luneplate, (UW-km 59,5)

Reduktive Erscheinungen bis an die Oberfläche sind typisch für diese Bodenform. Auch der organische Anteil ist recht hoch, jedoch wohl auf Grund häufiger Umlagerungen und Überdeckungen von flussbürtigen (Fein-) Sedimenten nicht so hoch wie in den Wattten der anderen beprobten Standorte.

Im Schilfgürtel herrschen gleichartige Sedimentationsbedingungen wie im Watt, was sich in gleichartiger Korngrößenverteilung dieser Brackrohmarsch (MRb) widerspiegelt, und das auch in die Tiefe hin. Gleichwohl ist der Tonanteil (Bodenart Ut4) im Schilfgürtel etwas höher als im Watt, dies könnte auf einen Auskämmeffekt von suspendierten Feinschwebstoffen durch das Schilf hindeuten. Durch häufige Überflutung ist hier die Ausbildung eines stabilen Absonderungsgefüges noch nicht möglich, auch bis in tiefere Bodenhorizonte ist das Gefüge allenfalls kohärent. Hohe Gehalte organischer Substanz sind relativ homogen über die Tiefe verteilt, was auf primäre schwebstoffbürtige Einträge hindeutet und weniger auf eine sekundäre Humusbildung in der Bodengenese.

Weiterentwickelt ist der Grünlandstandort, in dem sich im Oberboden krümelige bis subpolyedrische Gefügeformen bilden. Die Nutzung hat hier die Bodengenese beeinflusst, was auch am deutlichen Tiefengradienten sekundär organischer Bodensubstanz zu erkennen ist. Der sehr hohe Gehalt in der obersten Bodenschicht kann auf die frische Mahd sowie auf schlechte Abbaubarkeit sekundär organischer Bodensubstanz bei tidebedingter

zyklischer hoher Wassersättigung zurückgeführt werden. Erst in tieferen Bodenschichten (>0,8 m unter GOK) führt der Wassereinfluss zu Kohärenz im Gefüge und zu reduktomorphen Verhältnissen. Dieser deutlich schluff- und tonbetonte fast sandfreie Standort führt zu Haftnässe verbunden mit einem hohen Wasserspeichervermögen und langsamer Dränung.

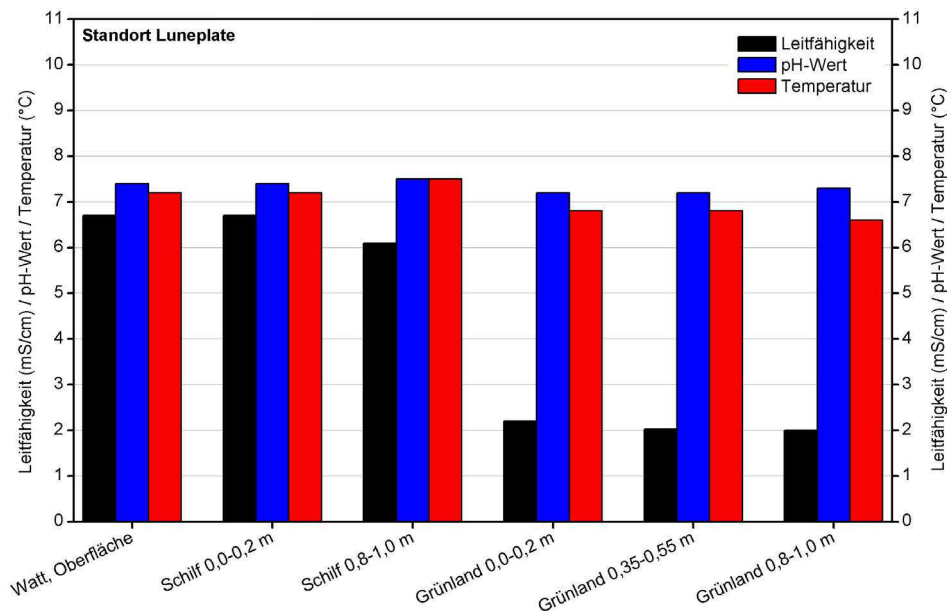


Abbildung 3-12: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Luneplate (UW-km 59,5) im Profil Watt, Schilf, Grünland

Der Boden ist aus diesem Grunde bodengenetisch als Brackhaftnässemarsch (MHb) zu bezeichnen.

Die Temperatur und die pH-Werte der Sedimentproben unterliegen geringen Schwankungen, die Temperatur erreicht Werte zwischen 6,5 und 7,5 °C, die pH-Werte bewegen sich im neutralen Bereich um pH 7. Da vor allem Watt- und Röhrichtbereich am Standorte Luneplate noch im Salzwassereinflussbereich liegen, werden dort höhere Leitfähigkeiten gemessen als im Grünland (Abbildung 3-12).

Standort Strohauser Plate Nord (Strohausen)

Aus Anhang E, Anhang F und Abbildung 3-13 ist zu entnehmen, dass auch am nördlichen Ende der Strohauser Plate die oberflächennahen Sedimente des Watts aus tonig-schluffigen Substraten (Ut3) bestehen. Hohe Leitfähigkeiten und die sehr hohen Gehalte an organischer Substanz zeigen den zunehmenden brackischen Einfluss und eine schlechte in situ Abbaubarkeit des anfallenden organischen Detritus. Die Mobilität des vorgefundenen Sediments wird durch das kohärente Bodengefüge in Zusammenschau mit den im oberen Bereich nicht deutlichen reduzierten Bedingungen in diesem Brackwatt (IWb) angedeutet.

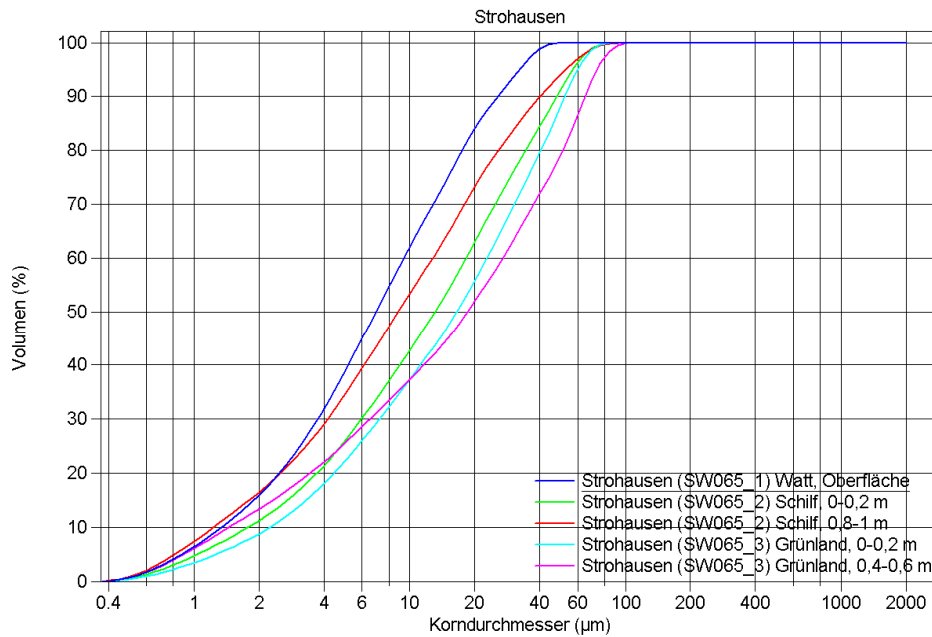


Abbildung 3-13: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Strohauser Plate Nord (UW-km 6,5)

Im Schilfgürtel hat die Bodenentwicklung zur Brackrohmarsch (MRb) stattgefunden, wobei die immer noch sehr hohen Gehalte organischer Bodensubstanz schon einen leichten Tiefengradienten aufzeigen. Gleichmäßige Korngrößenverteilung sowohl im Tiefenprofil als auch im Vergleich zum Watt wie auch das noch überwiegend kohärente Bodengefüge deuten auf gleichartige Sedimentationsbedingungen an dieser Lokalität hin. Anhaltende Wassersättigung, gefördert durch die hohe Wasserspeicherfähigkeit des Bodensubstrates, indiziert hier ausgeprägte reduzierende Bedingungen im Tiefenprofil.

Der Grünlandstandort hat auf Grund gleichartiger Körnung und recht hoher Humusgehalte ebenfalls ein hohes Wasserbindevermögen verbunden mit körnungsbedingter Haftnässebildung, was trotz seltenerer Überflutung nur zu einer kohärent-subpolyedrischen Gefügebildung führt. Dennoch sind hier kaum noch reduzierende Bedingungen ausgeprägt, was prinzipiell auf eine bessere Dränung des Bodens hindeutet. Gegenüber dem Schilfstandort ist die Bodengenesse jedoch nicht sehr weit fortgeschritten, so dass der Bodentyp zwar in Richtung Kalkmarsch läuft, jedoch wegen der Körnung und Wasserführungsbedingungen als Brackhaftnässmarsch (MHb) zu bezeichnen ist.

Der pH-Wert der Sedimentproben schwankt zwischen pH 7,0 und 7,9, die Temperatur zwischen 7,5 und 9,5°C (Abbildung 3-14).

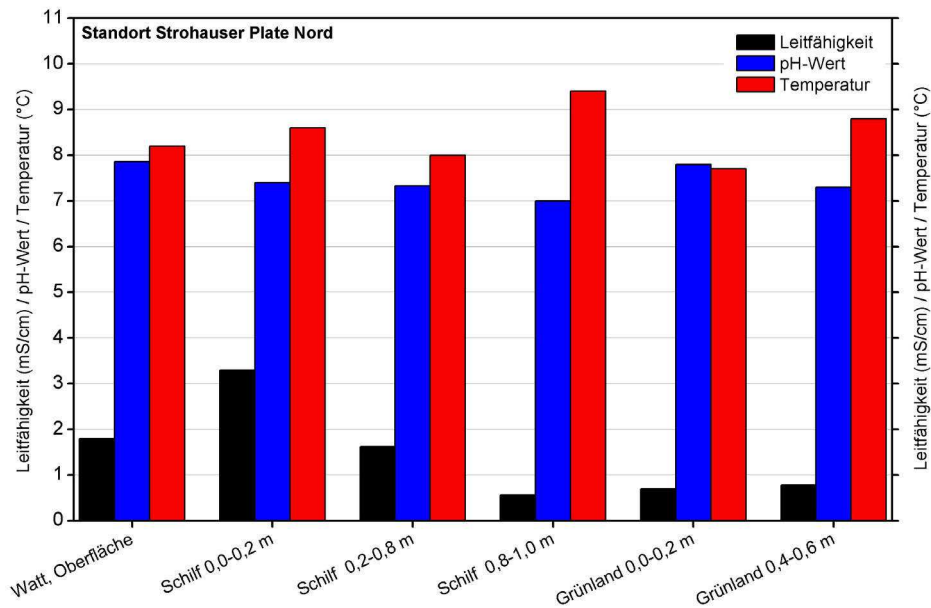


Abbildung 3-14: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Strohauser Plate Nord (UW-km 6,5) im Profil Watt, Schilf, Grünland

Standort Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)

Das Brackwatt (IWb) ist hier mit der Bodenart mittel toniger Schluff deutlich feinkörnig ausgeprägt (Bodenart Ut3). Nicht zu hohe Humusgehalte, der Carbonatreichtum und die graubraune Farbe sprechen eher für eine Mischung aus häufiger umgelagertem und älterem Sediment, das noch nicht ortsfest konsolidiert ist, und dafür, dass bodenbildende Prozesse wie Entcarbonatisierung oder Humusanreicherung nicht etabliert sind.

Im Schilfgürtel findet sich das gleiche Bodensubstrat (Ut3) wie im Watt, auch bis in tiefere Bodenhorizonte, was auf homogene Sedimentationsbedingungen hinweist. Entcarbonatisierung und Humusabbau führen gegenüber dem Watt zu geringeren Gehalten an Kalk und organischer Substanz, womit semiterrestrische bodenbildende Prozesse hier eingeleitet sind. Die Gleichförmigkeit im Aufbau dieser Brackrohmarsch (MRb) belegt aber, dass hier noch keine tiefgreifendere Bodenreifung stattgefunden hat.

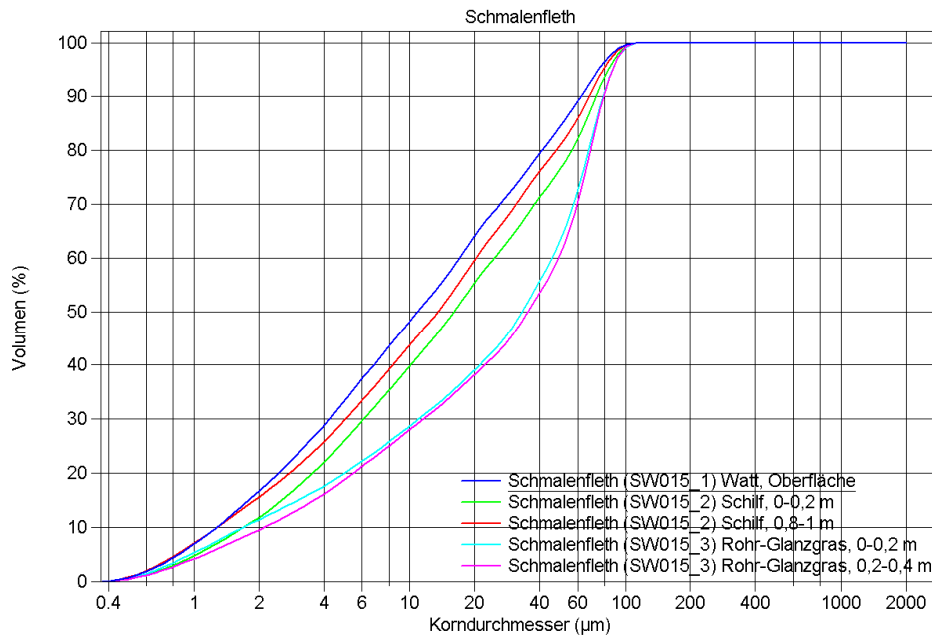


Abbildung 3-15: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Strohauser Plate Süd, SW-km 1,5

In der Störungszone mit Rohr-Glanzgras hingegen sind bei vergleichbaren Kalkgehalten und sehr ähnlicher Körnung die Humusgehalte etwas geringer. Offensichtlich hat hier ein Humusabbau stattgefunden, ein Tiefengradient typisch für die Marschenreifung, beginnt sich aufzubauen. Redoximorphe Merkmale können kaum beobachtet werden. Der Aufbau eines Absonderungsbodengefüges im Vergleich zu den eher kohärenten Gefügeformen im Schilfgürtel und Watt belegt die Gefügebildung und eine seltenere lang andauernde Wassersättigung. Bodengenetisch handelt es sich hier jedoch noch um eine Brackrohmarsh (MRb) mit Sedimenten der Fraktion toniger Schluff mit deutlichen Feinsandanteilen, in der jedoch auch schon leichte Aussüßungstendenzen zu erkennen sind (siehe Leitfähigkeit). Die pH-Werte der Sedimente schwanken in diesem Transekt zwischen pH 7,2 und 7,9, wobei die Temperatur Werte zwischen 6 und 9 °C erreichen. Die geringen Leitfähigkeiten in den Sedimenten spiegeln den stärkeren limnischen Einfluss auf diesen Standort wider (Abbildung 3-16).

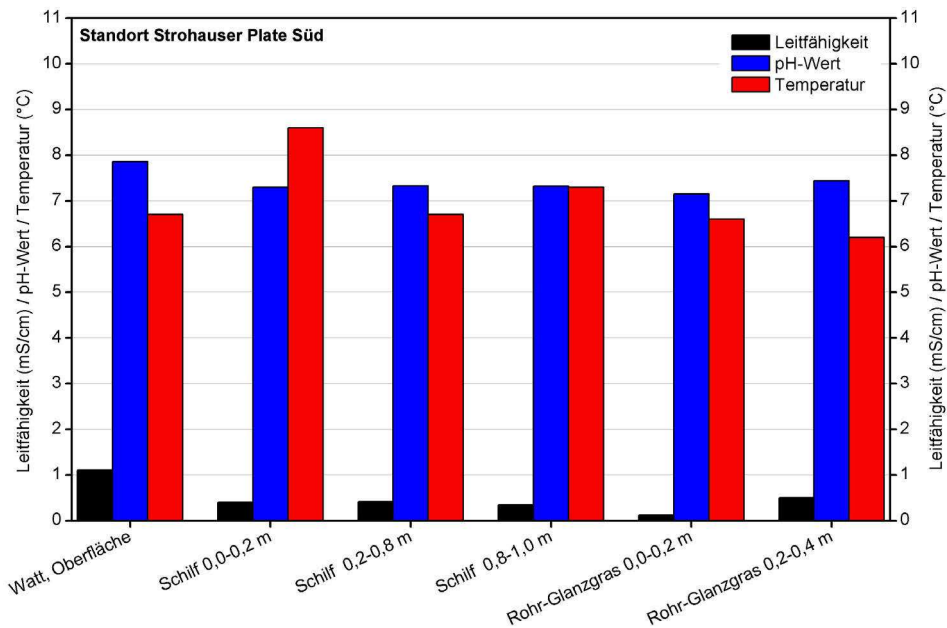


Abbildung 3-16: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Strohauser Plate Süd (SW-km 1,5) im Profil Watt, Schilf, Rohr-Glanzgras

Standort Harriersand Nord (Wilhelmsplate)

Das Sediment am Rechten Nebenarm bei RN-km 10,5 ist mit der Bodenart toniger Schluff (Ut3) deutlich feinkörnig ausgeprägt (Anhang E, Anhang F, Abbildung 3-17).

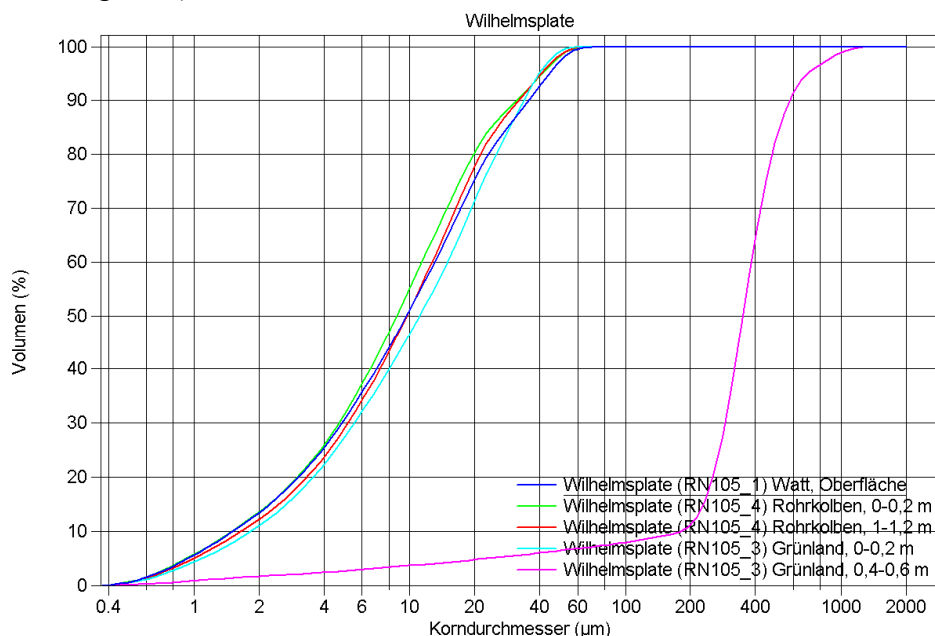


Abbildung 3-17: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Harriersand Nord (RN-km 10,5)

Der abnehmende Meerwassereinfluss drückt sich im mittleren Carbonatgehalt aus. Die Färbung deutet auf einen deutlichen Wechsel zwischen oxidativen und redoxen Bodenprozessen hin, bedingt durch die

wechselnde Wassersättigung. Durch die eher geringe Wasserleitfähigkeit und eine hohe Wasserspeicherfähigkeit in diesem Brackwatt (IWb) verhält sich die Wasserbewegung gegenüber der Tidekurve konservativer. Gleichförmige und eher „ruhigere“ Sedimentationsbedingungen im Umfeld dieses Standortes am Nebenarm werden durch eine Gleichförmigkeit in der Korngrößenverteilung landwärts belegt. Im Bereich des Rohrkolbengürtels hat im Oberboden eine deutliche Anreicherung von organischer Substanz stattgefunden, auch bis hin in tiefere Bodenhorizonte. Hohe Biomasseproduktionsraten des Rohrkolbens einhergehend mit schlechten Abbaubedingungen der organischen Substanz bedingen diese Verhältnisse. Die bis in den Oberboden reichenden starken Hydromorphiemerkmale belegen die häufige Wassersättigung mit reduktiven Verhältnissen und damit auch die schlechten Mineralisierungsbedingungen für die organische Pflanzensubstanz. Die Brackrohnmarsch (MRb) an diesem Standort „leidet“ auf Grund ihrer Lage im Sedimentationsgebiet schluffiger Sedimente und offensichtlich durch niedrige Geländehöhen mit häufiger Überflutung oftmals unter reduktiven Bedingungen. Eine bodengenetische Weiterentwicklung zur Kalkmarsch ist hier erst langfristig zu erwarten. Der Grünlandstandort hingegen zeigt bereits eine deutliche zur Kalkmarsch tendierende Bodengenese (MRb-MC). Unterhalb des schluffig geprägten Oberbodens finden sich Reinsande, was auf andere frühere Sedimentationsbedingungen (u. U. auch Aufspülung) an diesem Standort hindeutet. Gleichwohl sind die Gehalte organischer Bodensubstanz nur im Oberboden sehr hoch und nehmen zum Unterboden hin drastisch ab, ein typischer Tiefengradient sekundärer organischer Bodensubstanz durch Bodenentwicklungsprozesse.

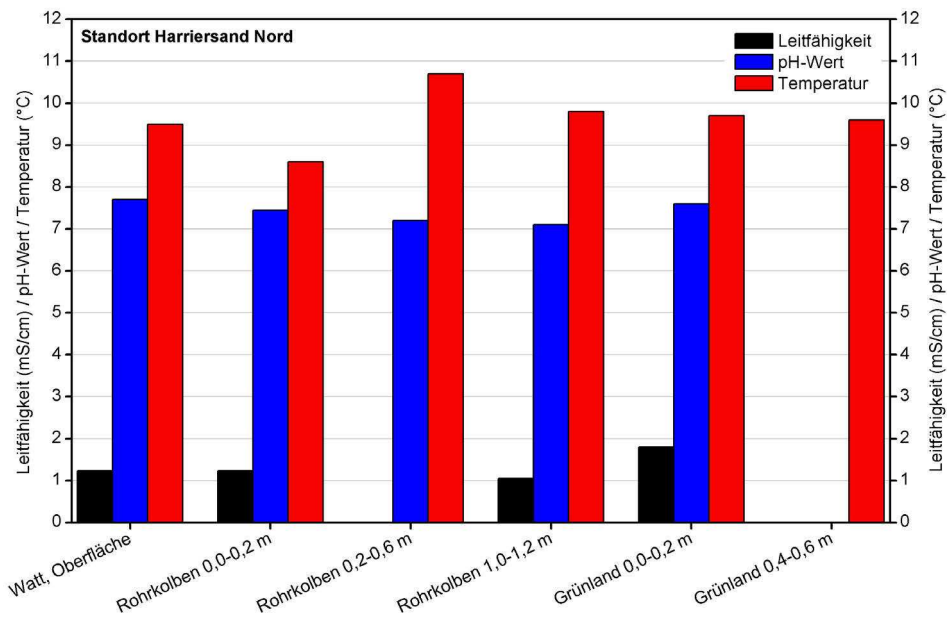


Abbildung 3-18: Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit am Standort Harriersand Nord (Rechter Nebenarm km 10,5) im Profil Watt, Rohrkolben, Grünland

Vom Watt über den Röhrichtgürtel bis ins Grünland zeigt das Transekt neutrale pH-Werte der Sedimentproben zwischen pH 7 und 7,7 (Abbildung 3-18). Die Temperaturen der Sedimente an diesem Standort liegen bei bis zu 10,7 °C und sind damit deutlich höher als in den anderen Untersuchungsgebieten.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 27

Standort Harriersand Süd (Kleiner Pater)

Im Vergleich zum Standort Harriersand Nord ist hier das Watt bereits limnischer Art. Am Standort Kleiner Pater hat sich vor dem Schilfgürtel ein typisches Flusswatt (IWf) aus aufgespülten Sanden entwickelt (Anhang E, Anhang F, Abbildung 3-19). Die Hauptbodenart Sand ist durch die Unterfraktionen Mittel- und Feinsand dominiert, die Wasserleitfähigkeiten sind damit hoch. Geringe Humusgehalte von 0,5% deuten auf nicht vorhandene Anreicherung organischer Substanz und damit auf eine häufige Sedimentumlagerung ohne fortschreitende Bodenbildung hin.

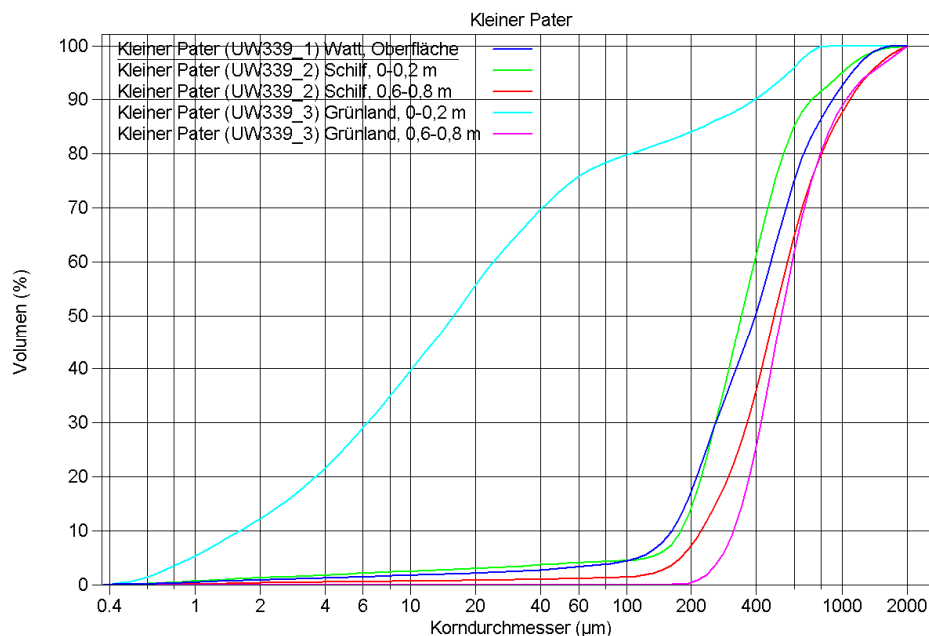


Abbildung 3-19: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Sedimentproben am Standort Kleiner Pater, (UW-km 33,9).

Im Röhrichtgürtel selbst bleibt das Bodensubstrat sandig (Aufspülung), auch die Humusgehalte bleiben gering. Eine sekundäre Anreicherung organischer Bodensubstanz durch den Bewuchs hat offensichtlich noch nicht stattgefunden, was auf eine hohe Umsetzungsrate oder auch Abtransport über die Tidedynamik (Erosion, Strömung) hindeutet. Schwache Reduktionsmerkmale in den eher schwach zeichnenden Sanden charakterisieren das häufige Auftreten stagnierenden sauerstoffarmen Grundwassers in tieferen Bodenschichten (0,6-0,8 m unter GOK). Als Bodentyp hat sich hier eine Übergangsform vom Flusswatt zur Flussrohmarsh (IWf-MRf) entwickelt. Der Grünlandstandort am Kleinen Pater zeigt im Oberboden ein deutlich

bindigeres Substrat (Uls) mit hohem Schluffanteil. Gleichwohl ist die Humusbildung nicht so weit voran geschritten, dass eine Anreicherung sekundär organischer Bodensubstanz bis in die wieder stark sandig ausgeprägten tiefere Schichten (0,6-0,8 m unter GOK) stattgefunden hat. Fehlende Hydromorphiemerkmale im Oberboden belegen, dass trotz bindiger Bodenart und Viehtritt keine Verdichtungen mit behinderter Wasserversickerung auftreten. Bodengenetisch hat sich eine typische Flussrohmarsch (MRf) ausgebildet.

Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit konnten im Gelände nicht bestimmt werden.

Korngrößenentwicklung im Längsverlauf von Harriersand Nord bis Blexen

Die Verteilung der Boden- und Substrattypen im Längsverlauf zeigen Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2.

Tabelle 3-1: Verteilung der Bodentypen im Längsverlauf der Tideweser an den beprobten Straten (Bodentypenkürzel nach KA5, AG Bodenkunde 2005)

Stratum	Bodentypen						
Grünland	MRn-MC	MHb	MHb	-	MRb-MC	MRf	
Schilf / Rohrkolben	MRn	MRb	MRb	MRb	MRb	IWf-MRf	
Simse	IWn-MRn	-	-	-	-	-	
Watt	IWn	IWb		IWb	IWb	IWf	
	Blexen	Luneplate	Strohausen Nord	Strohausen Süd	Harriersand Nord	Harriersand Süd	
Nord	UW-km 62,3	UW-km 59,5	SW-km 6,5	SW-km 1,5	RN-km 10,5	UW-km 33,9	Süd

Tabelle 3-2: Verteilung der Substrat im Längsverlauf der Tideweser an den beprobten Straten (Substrattypenkürzel nach KA5, AG Bodenkunde 2005)

Stratum	Substrattypen						
Grünland	tUwa	TUdel	tUdel	-	Udel/Sdel	uSfo	
Schilf / Rohrkolben	sUwa(sYsp)	TUdel	tUdel	tsUdel	tUdel	Sfo	
Simse	IUwa	-	-	-	-	-	
Watt	sUwa	tUdel		tUdel	tUdel	Sfo	
	Blexen	Luneplate	Strohausen Nord	Strohausen Süd	Harriersan d Nord	Harriersand Süd	
Nord	UW-km 62,3	UW-km 59,5	SW-km 6,5	SW-km 1,5	RN-km 10,5	UW-km 33,9	Süd

Bei der Beurteilung der Entwicklung der Sedimente im Längsverlauf der Weser wird der Standort Harriersand Süd nicht einbezogen, da es sich dort

vermutlich um eine künstliche Aufschüttung handelt und der Standort für den Längsverlauf nicht repräsentativ ist. In Abbildung 3-20 ist die Entwicklung des mittleren Korndurchmessers (D_m) der Sedimente in Längsrichtung von Blexen bis zur Harriersand Nord dargestellt, die Entwicklung der Korngrößenverteilung getrennt für die verschiedenen Zonen (Watt, Röhrlicht, Grünland) und für einzelne Kornfraktionen befindet sich im Anhang F.

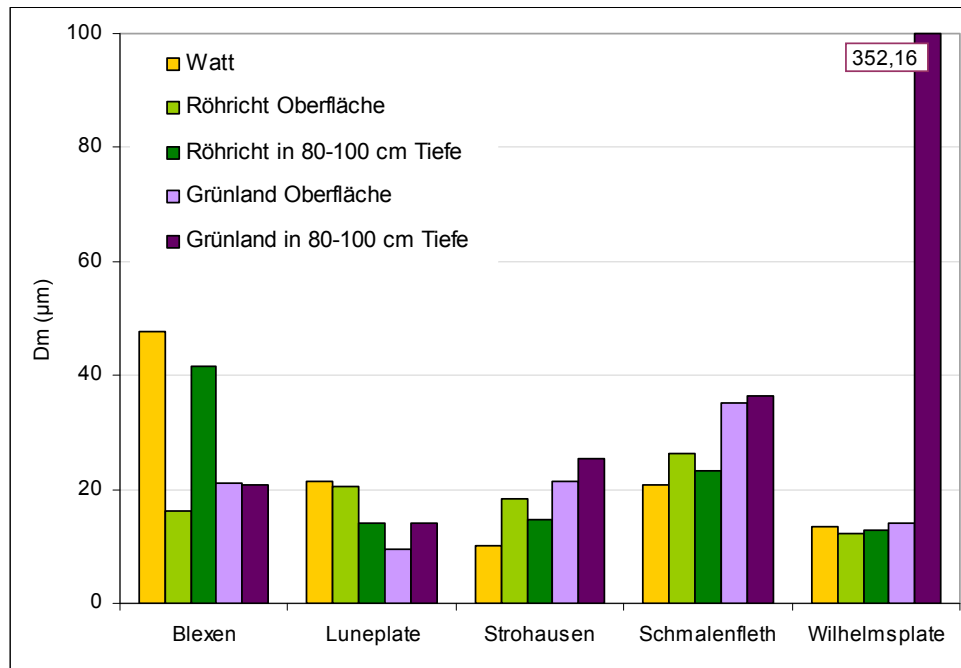


Abbildung 3-20: Entwicklung des mittleren Korndurchmessers (D_m) im Längsverlauf der Tideweser von Blexen bis zur Harriersand Nord

Im Watt nimmt der D_m zunächst bis nach Strohausen ab, diese Abnahme geht auf abnehmende Sand- und zunehmende Tongehalte zurück. Von Strohausen bis zur Harriersand Nord wird der D_m zunächst etwas größer und dann wieder kleiner.

Die Sedimente im Röhrlichtbereich lassen weder an der Oberfläche noch in den tieferen Bodenschichten einen eindeutigen Trend in Längsrichtung erkennen. In den tieferen Schichten des Röhrlichts sind die D_m Werte bei Blexen zunächst relativ groß, dies liegt an den hohen Sandgehalten, im restlichen Längsprofil nimmt der D_m wieder ab.

Im Grünland lässt sich in Längsrichtung sowohl an der Oberfläche als auch in den tieferen Schichten eine Abnahme des D_m von Blexen zur Luneplate beobachten. Diese Abnahme geht mit der Abnahme des Sandgehaltes und der Zunahme des Tongehaltes einher. Vom Standort Luneplate bis zur Wilhelmspalte wird der D_m Werte fast ausnahmslos größer. Dies ist wiederum auf eine Abnahme des Ton- und einer Zunahme des Sandgehaltes zurückzuführen. Einen eindeutigen Trend der Korngrößenentwicklung von Blexen bis Harriersand Nord lässt sich weder für die Wattbereiche, noch für Röhrlicht oder Grünland ableiten.

Nährstoffe

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 30

Als charakteristische Hauptnährstoffe sind die Gehalte an Stickstoff (N) und Phosphor (P) in den entnommenen Bodenproben analysiert worden.

Innerhalb der Straten Watt, Schilfgürtel (inkl. Strandsimse und Rohrkolben) sowie Grünland ist der Oberboden (i. d. R. 0-20 cm unter GOK) konsequent beprobt worden, teilweise sind tiefere Bodenschichten (Bohrkerne) mit analysiert worden. Zur Kennzeichnung des Nährstoffpotenzials ist dabei der Gesamtgehalt analysiert worden und nicht pflanzenverfügbare Bindungsformen.

Phosphor

Abbildung 3-21 zeigt die Gehalte von Phosphor im Oberboden der untersuchten Standorte.

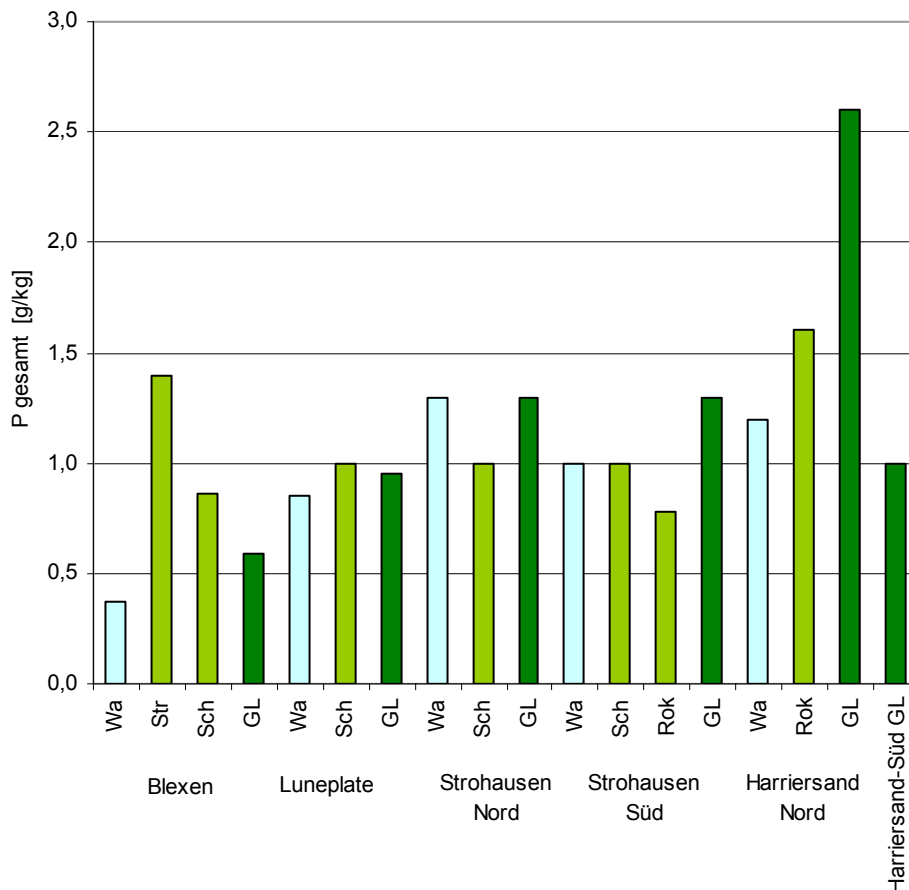


Abbildung 3-21: Gesamtgehalte an Phosphor (P) im Oberboden (i. d. R. 0-20 cm unter GOK) der untersuchten Standorte und Straten (Wa=Watt, Rok=Rohrkolben, Sch=Schilf, Str=Strandsimse, GL=Grünland), Gehaltsangabe in g/kg in der Korngrößenfraktion < 2mm

Die Gehalte an Gesamtphosphat in den Oberböden können als hoch bis sehr hoch gewertet werden. Dies gilt insbesondere für die als Grünland genutzten Standorte. Hier sind in den eher sandig-schluffigen fluvigenen und marinogenen Substraten die Gehalte im Vergleich zu lehmigen Ackerböden

von bis zu 1,2 mg/kg (Scheffer/Schachtschabel 2002) ähnlich hoch. Entsprechend hohe Gehalte treten auch in Oberböden von als Grünland genutzten Marschen der Tideelbe auf (IfB 1997). Offensichtlich wird durch die Grünlandnutzung zusätzlich zum Eintrag über flussbürtige Schwebstoffe und Sedimente sekundärer Phosphor über Tierexkrememente und/oder Düngung eingetragen. Auffällig ist dies vor allem am Standort Harriersand-Nord, bei dem deutlich sehr hohe P-Gehalte auftreten. Im Binnenbereich sind P-Gehalte des Deichvorlandes durchaus niedriger, wie Untersuchungen an der Mittleren Elbe belegen (Schwartz 2001). Nur Bereiche mit hohem Anteil organischer Substanz zeigen auch hier hohe P-Gehalte. Gegenüber Grünland zeigen die Schilfgürtel geringere P-Gehalte im Oberboden (Ausnahme: Blexen). Neben dem Anteil primären, über die Flusssedimente eingetragenen, Phosphors ist hier sekundärer Phosphor über die organische Pflanzensubstanz angereichert und in die Bodenmatrix eingebaut. Gleichwohl zeigen die Watten nicht unbedingt deutlich niedrigere P-Gehalte, so dass die sekundäre P-Anreicherung im Schilfgürtel quantitativ offensichtlich nicht gravierend ist. Der primäre Eintrag über an organische Substanz gebundenes P der Flussschwebstoffe und -sedimente scheint bedeutender zu sein. Dies wird auch am Standort Harriersand-Nord deutlich, bei dem die P-Gehalte und parallel dazu die TOC-Gehalte (organischen Gesamtkohlenstoff) am höchsten sind.

Die enge Bindung von P an den Anteil organischer Bodensubstanz verdeutlicht Abbildung 3-22.

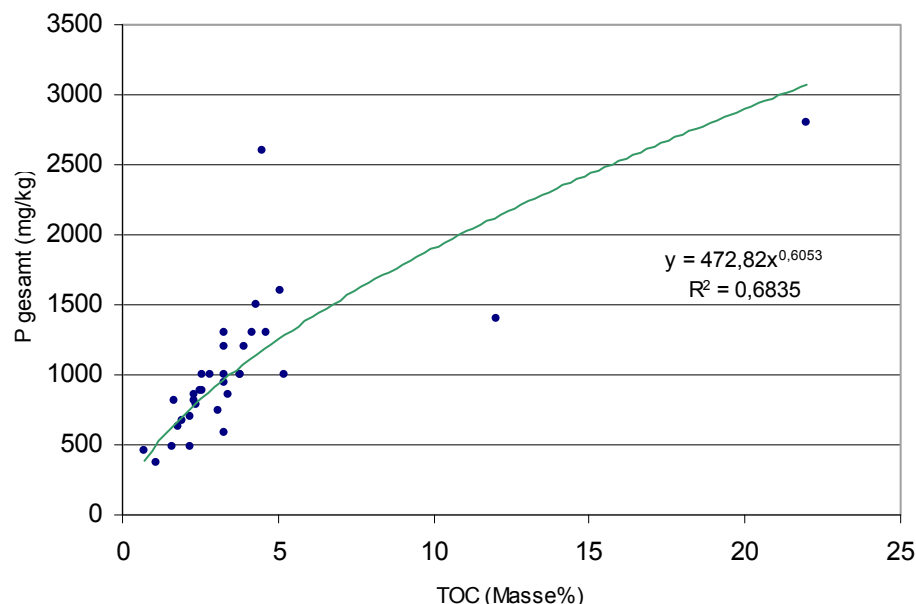


Abbildung 3-22: Korrelation zwischen Gesamtgehalte an Phosphor (P) im Oberboden (i.d.R. 0-20 cm unter GOK) und organischen Gesamtkohlenstoff TOC aller untersuchten Standorte, Gehaltsangabe in g/kg in der Korngrößenfraktion < 2mm

Im Tiefenverlauf ist in den Analyseergebnissen festzustellen, dass unterhalb des Oberbodens der P-Gehalt durchaus noch leicht ansteigen kann, dann zur Tiefe hin aber wieder abnimmt. Die höheren Gehalte in den dem Oberboden folgenden Bodenhorizonten sind auf Eisenmobilität und nachfolgender P-Anreicherung in den reduzierten Schichten zurückzuführen (starke Redoximorphose). Hier ist das P neben organischer Bindung vor allem an Eisenoxide gebunden. In weiter tiefer liegenden Bodenhorizonten sind noch keine sekundären P-Einträge transportiert worden. Dazu kann erhöhte P-Mobilität in dauerreduzierten Schichten zum lateralen Abtransport im Grundwasserstrom geführt haben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei hohen P-Gehalten zwar Muster in der vertikalen Verteilung (Tiefenprofil) erkannt werden können, eindeutige Trends im Längsverlauf sowie innerhalb des Transekts sind allerdings nicht identifizierbar.

Stickstoff

Die Verteilung der Stickstoffgesamtgehalte im Oberboden der untersuchten Standorte wird in Abbildung 3-23 dargestellt.

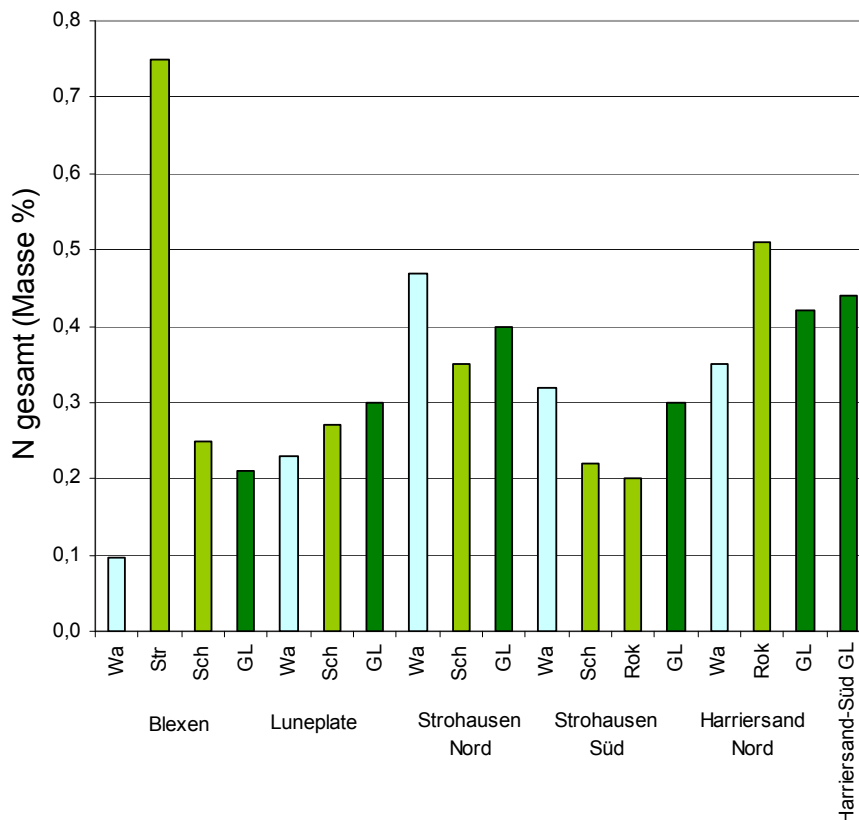


Abbildung 3-23: Gesamtgehalte an Stickstoff (N) im Oberboden (i.d.R. 0-20 cm unter GOK) der untersuchten Standorte und Straten (Wa=Watt, Rok=Rohkolben, Sch=Schilf, Str=Strandsimse, GL=Grünland), Gehaltsangabe in Masse % in der Korngrößenfraktion < 2mm

Die N-Gehalte variieren zwischen den untersuchten Standorten wie auch innerhalb der Straten. Vergleichsgehalte in Grünlandböden von durchschnittlich 0,1-0,3-Masse-Prozent (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002) werden deutlich erreicht und größtenteils noch überschritten. Oberböden in Marschen der Tideelbe zeigen vergleichbare Gehalte, in einigen Abschnitten aber auch durchaus höhere Konzentrationen bis 0,8 Masse-Prozent (IFB 1997). Auch an der Mittelelbe kommen in außendeichs gelegenen Grünländern ähnliche N-Gehalte vor, in etlichen Fällen werden jedoch auch Gehalte von bis zu 1,2 Masse-Prozent erreicht (SCHWARTZ 2001). Hier werden die lokale Variabilität und die deutliche Abhängigkeit des N-Gehaltes vom Anteil organischer Substanz offensichtlich. So zeigt auch Abbildung 3-24 an der Tideweser die enge Bindung des N-Gehaltes an den TOC-Gehalt.

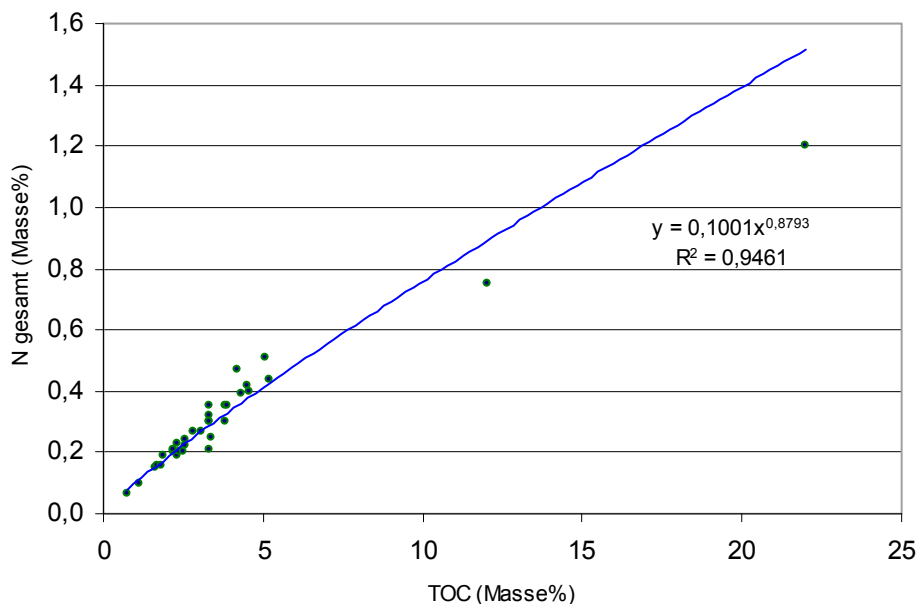


Abbildung 3-24: Korrelation zwischen Gesamtgehalte an Stickstoff (N) im Oberboden (i. d. R. 0-20 cm unter GOK) und organischen Gesamtkohlenstoff TOC aller untersuchten Standorte, Gehaltsangabe in g/kg in der Korngrößenfraktion < 2mm

Selbst in den Wattstandorten sind recht hohe N-Gehalte im frisch abgelagerten Sediment vorhanden, eingetragen durch organische marinogene und fluviatile Sedimente.

Zur Tiefe hin nehmen die N-Gehalte ab, jedoch nicht sehr prägnant. Ausgeprägte Tiefenverläufe mit zur Tiefe abnehmenden N-Gehalten, typisch für weiter fortgeschrittene Bodenreifung und –genese, sind nicht zu finden. Die Homogenität des abgelagerten Sedimentes ist hier noch der prägende Faktor. Eine Bodendifferenzierung hat kaum stattgefunden, in den Grünlandstandorten jedoch ansatzweise.

Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N-Verhältnis)

Zur weiteren Beurteilung des Standortes dient das C/N-Verhältnis. Dieses kann als Maß für die Abbaubarkeit und damit für die Qualität der organischen Bodensubstanz herangezogen werden. Enge C/N-Verhältnisse indizieren dabei eine gute Abbaubarkeit und Qualität, weite Verhältnisse weisen auf schlecht zersetzte organische Bodensubstanz mit gehemmter Abbaurrate und schlechte Humusqualität hin. Abbildung 3-25 zeigt die C/N-Verhältnisse der untersuchten Bodenproben.

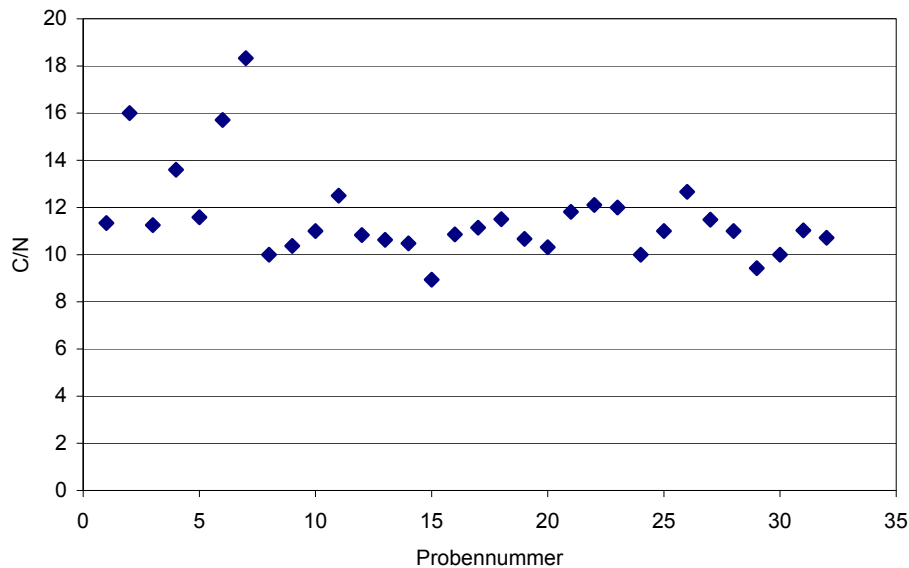


Abbildung 3-25: C/N-Verhältnisse aller untersuchten Standorte

Die C/N-Verhältnis im Oberboden liegen zwischen 9 und 12. Die Werte liegen im Bereich von vergleichbaren Untersuchungen an der Tideelbe (IFB 1997) wie auch an der Mittelelbe (SCHWARTZ 2001). Damit ist die biologische Aktivität als gut einzustufen, die Qualität der organischen Substanz ebenso. Unterschiede in der Tiefenverteilung sind kaum zu erkennen. In Schwebstoff und Sedimenten eingemischtes Phytoplankton kann dafür als Grund angesehen werden (IFB 1997). Ausnahmestandort ist Blexen, an dem schlecht zersetzte organische Pflanzenreste bei Strandsimse, Schilf und auch Grünland zu hohen C/N-Verhältnissen führen und damit ein schlechte Humusqualität indizieren. Die ungewöhnliche Verteilung kann auf anthropogene Umlagerungen an dieser Stelle hindeuten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die N-Verteilung im Längsverlauf variiert und offensichtlich lokale Sedimentationsbedingungen und Nutzung diese Muster bestimmen. Innerhalb der Transekte sind Unterschiede vorhanden, jedoch besitzen diese keinen einheitlichen Trend im Vergleich der Standorte. Die biologische Aktivität ist hoch, was die C/N-Verhältnisse anzeigen.

Schwermetalle und organische Schadstoffstoffe – Schadstoffverläufe in den Querprofilen

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 35

Standort Blexen

Cadmium (Cd) zeigt am Standort Blexen im Profil der Oberflächensedimente von Watt, Strandsimse, Schilf und Grünland einen leichten Anstieg der Gehalte in Richtung Grünland (Abbildung 3-26). In den tiefer gelegenen Schichten zeigt das Grünland die höchste Belastung mit fast 3 mg/kg Cd. Auch für Blei (Pb) in Oberflächenproben wurde der höchste Gehalt im Grünland nachgewiesen. Der Anstieg der Gehalte von Watt zu Grünland ist allerdings nicht für alle Schwermetalle zu finden. Die Gehalte von Quecksilber (Hg), Zink (Zn), Kupfer (Cu) und Nickel (Ni) weisen in den Oberflächensedimenten Schwankungen auf. Nur in den tieferen Schichten lässt sich ein Anstieg der Schwermetallgehalte erkennen (Anhang H).

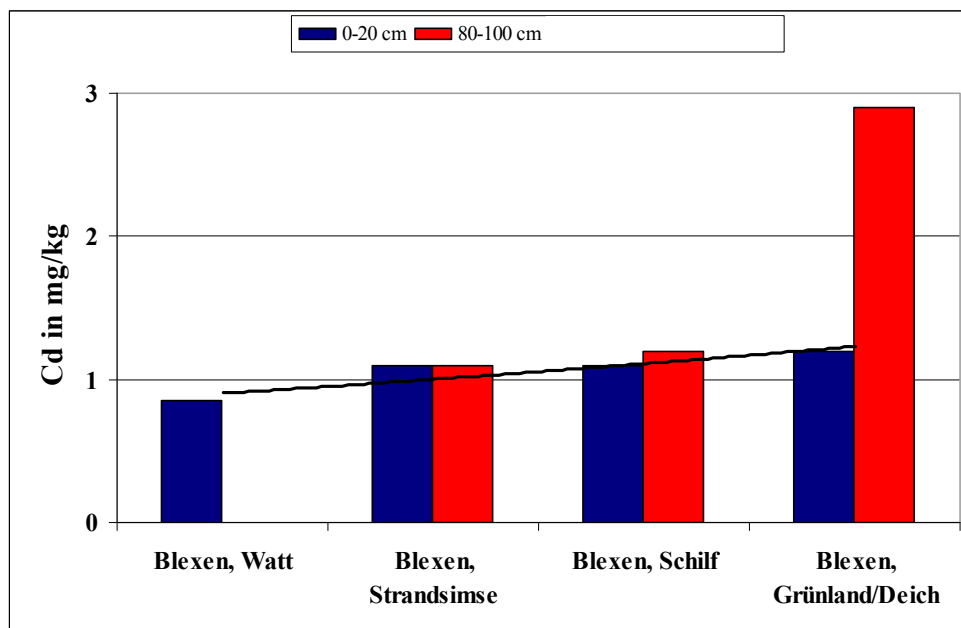


Abbildung 3-26: Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20 µm am Standort Blexen im Profil Watt, Strandsimse Schilf und Grünland

Die Summe der 7 polychlorierten Biphenyle (Σ PCB7) zeigen in den Oberflächensedimenten die höchsten Gehalte im Bereich des Grünlandes, dies allerdings nicht mit einem stetigen Anstieg von Watt zu Grünland, denn im Schilf kommt es zu einem Abfall in den Gehalten. (Abbildung 3-27). In den tiefer beprobten Schichten befinden sich die höchsten Gehalte auch im Bereich des Grünlandes. Für die Summe der 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (Σ PAK16) liegen die höchsten Gehalte im Bereich der Strandsimse des Oberflächensedimentes. Sie liegen nicht in den älteren tieferen Schichten.

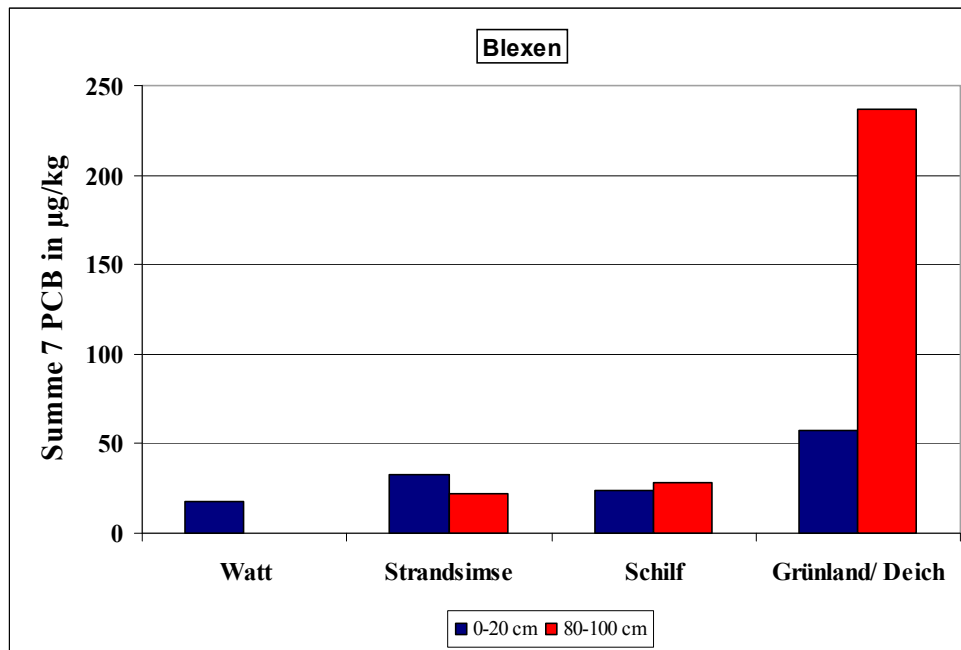


Abbildung 3-27: Σ PCB₇ Gehalte (auf 20µm Fraktion normiert) am Standort Blexen im Profil Watt, Strandsimse, Schilf und Grünland

Das p,p'-DDD weist in den Oberflächensedimenten die höchsten Gehalte im Bereich Strandsimse auf, in tieferen Schichten im Bereich des Grünlandes. Gemäß URE zeigen die Sedimente überwiegend eine geringe bis mittlere Belastung an. Allerdings ist das Sediment des Grünlands in 80 cm – 100 cm für das Arsen, die Σ PCB₇ und des p,p'-DDE als sehr hoch belastet und für das Cadmium, Σ PAK₆, γ -HCH, p,p'-DD und p,p'-DDT als hoch belastet einzustufen.

Im Vergleich zur nächstgelegenen Dauermessstelle Bremerhaven Nordschleuse (Anhang H) liegen die Schadstoffgehalte im Bereich Blexen in den Oberflächensedimenten auf demselben Niveau. Insgesamt können die Sedimente als unauffällig angesehen werden.

Standort Luneplate

Am Standort Luneplate wurden für die Analyse der Schadstoffe nur Oberflächensedimente und ein Kern (0-200 cm) im Grünland entnommen. In den Gehalten des Cd ist ein Anstieg der Gehalte im Profil Watt, Schilf, Grünland zu erkennen (Abbildung 3-28). Allerdings fallen bei manchen Schwermetallen (Pb, Cr, Ni, Hg, Zn) die Gehalte von Watt zu Schilf ab und steigen zum Grünland wieder an (Anhang H).

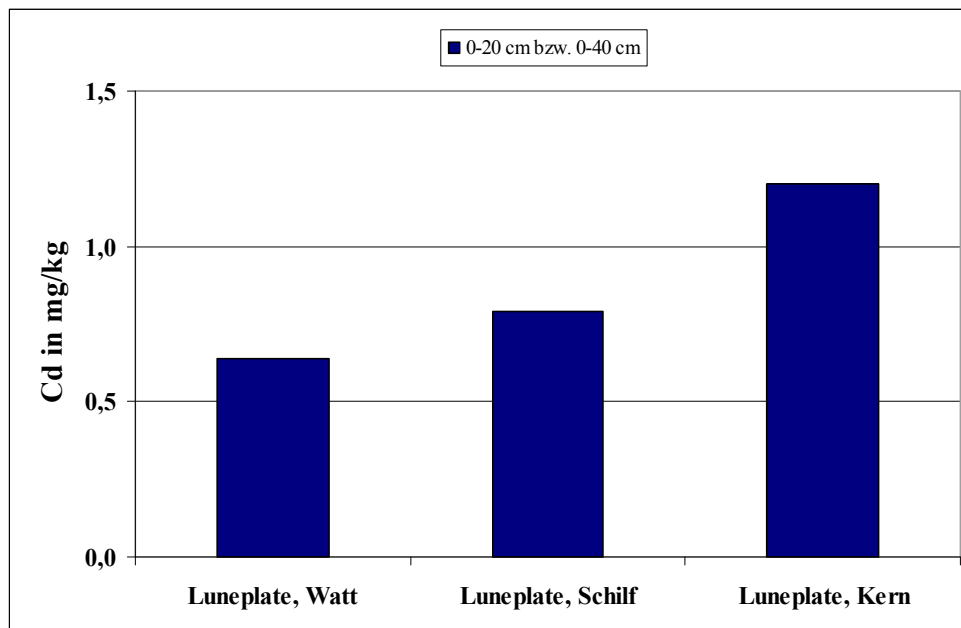


Abbildung 3-28: Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <math><20\mu\text{m}</math> am Standort Luneplate im Profil Watt, Schilf und Grünland (Kern)

Die Gehalte der ΣPCB_7 steigen von Watt zum Grünland an (Abbildung 3-29). Diese Tendenz ist bei allen wichtigen Vertretern der organischen Schadstoffe zu beobachten (Anhang H).

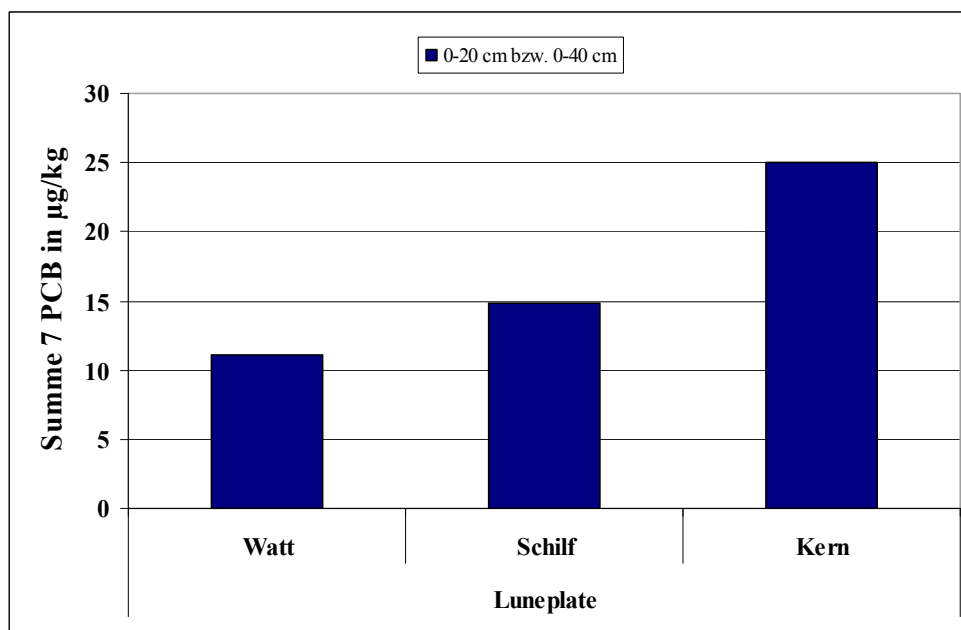


Abbildung 3-29: ΣPCB_7 Gehalte (normiert auf $20\mu\text{m}$ Fraktion) am Standort Luneplate im Profil Watt, Schilf und Grünland (Kern)

Die entnommenen Sedimente der Luneplate können überwiegend als gering belastet eingestuft werden. Einzelne Schadstoffe zeigen eine mittlere Belastung an. Im Kern kann in 40-66 cm für das p,p'-DDE und das p,p'-DDT eine sehr hohe Belastung und für das Blei, Cadmium, Zink und die ΣPCB_7 eine hohe Belastung festgestellt werden (Anhang H).

Im Vergleich zu den Dauermessstellen Nordenham und Bremerhaven Nordschleuse (UW-km 69,48) liegen die Schadstoffgehalte der Sedimente am Standort Luneplate unter denen an den Dauermessstellen gemessenen Werten (Anhang H). Sie weisen somit unauffällige Gehalte auf.

Standort Strohauser Plate Nord (Strohausen)

In den Oberflächensedimenten der Strohauser Plate Nord ist ein Anstieg der Schwermetallgehalte im Profil Watt, Schilf, Grünland zu erkennen (Cd in Abbildung 3-30). In den tieferen Schichten (80-100 cm im Schilf und 40-60 cm im Grünland) dagegen ein Abfall aus dem Bereich Schilf zum Grünland. Dabei ist zu beachten, dass hier nicht die gleichen Tiefen beprobt werden konnten und ein Anstieg der Gehalte damit nicht ausgeschlossen werden kann.

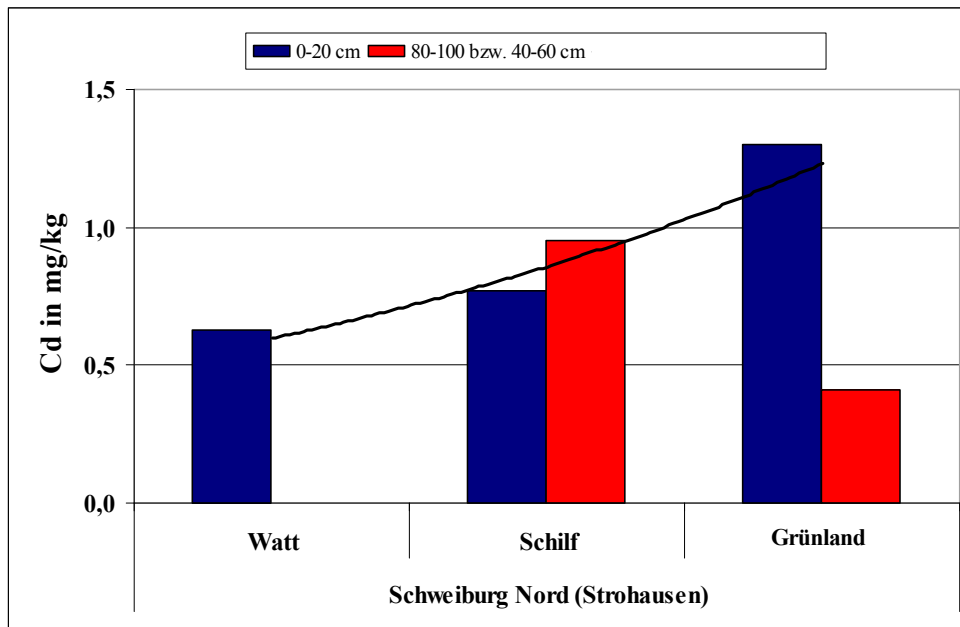


Abbildung 3-30: Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <20µm am Standort Strohauser Plate Nord im Profil Watt, Schilf und Grünland

Die Σ PCB₇ zeigen dasselbe Bild wie die Schwermetalle: Anstieg der Gehalte in den Oberflächensedimenten und einen Abfall in den tiefer beprobten Schichten (Abbildung 3-31). Im Fall von Σ PAK₁₆ und p,p'-DDD ist vom Watt zum Schilf ein Anstieg der Schadstoffgehalte in den Sedimenten zu beobachten und im Fall des p,p'-DDD ein Abfall der Gehalte zum Grünland. Dies findet auch in den tiefer gelegenen Schichten seine Fortsetzung (Anhang H).

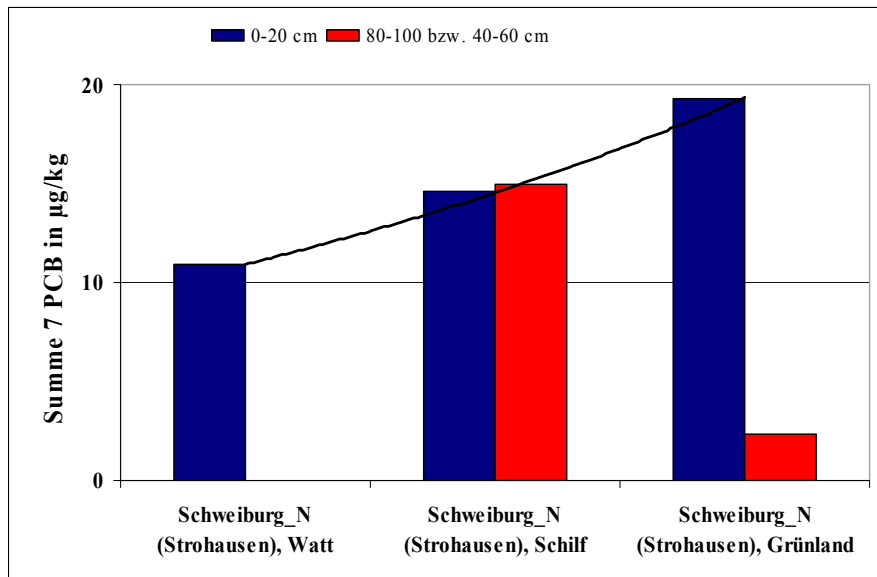


Abbildung 3-31: Σ PCB₇ Gehalte auf 20µm Fraktion normiert am Standort Strohauser Plate Nord im Profil Watt, Schilf und Grünland

Die nach dem URE-Schema beurteilten Sedimente zeigen überwiegend eine geringe bis mittlere Belastung an (Anhang H).

Die Belastung der Sedimente aus dem Bereich Strohauser Plate Nord ist mit dem aktuellen Belastungsgrad der Sedimente von der nächstgelegenen Dauermessstelle Nordenham zu vergleichen (Anhang H).

Standort Strohauser Plate Süd (Schmalenfleth)

Die Schwermetallgehalte im Profil am Standort Strohauser Plate Süd zeigen einen Anstieg der Gehalte von Watt, über Schilf zum Grünland in 0-20 cm Tiefe (siehe Abbildung 3-32). Im Bereich Rohr-Glanzgras und Grünland (Kern) können stärker belastete Sedimente in tieferen Schichten festgestellt werden. Dies ist ein Hinweis auf ältere Ablagerungen.

Die organischen Schadstoffe (Abbildung 3-33 am Beispiel der Σ PCB₇) zeigen in den Oberflächensedimenten einen Anstieg der Gehalte von Watt über das Rohr-Glanzgras bis zum Grünland. In den tieferen Schichten sind stärker belastete Sedimente zu finden und die Gehalte steigen dem Profil folgend an.

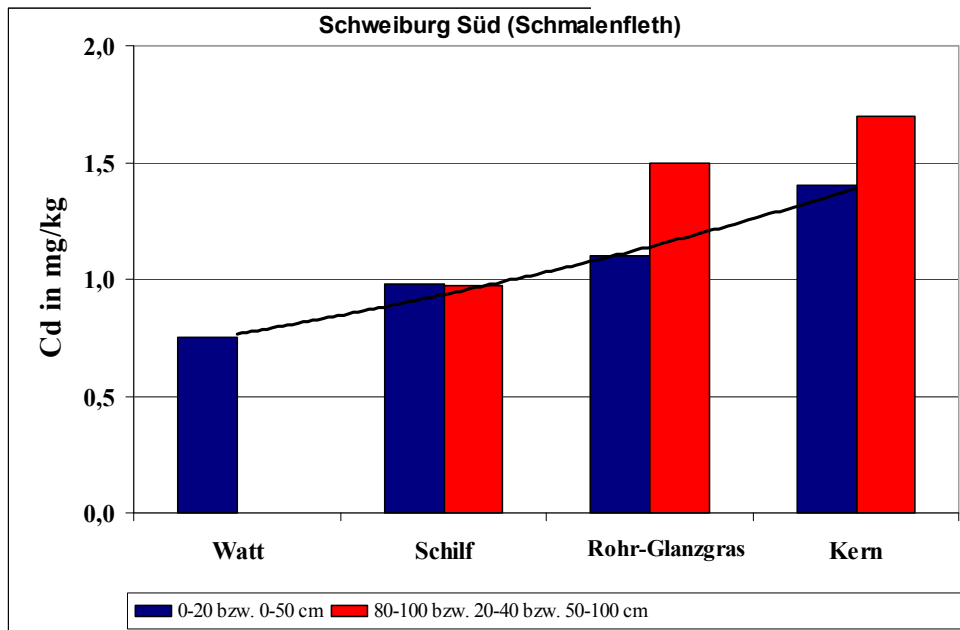


Abbildung 3-32: Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion <math><20\mu\text{m}</math> am Standort Strohauser Plate Süd im Profil Watt, Schilf, Rohr-Glanzgras und Grünland (Kern)

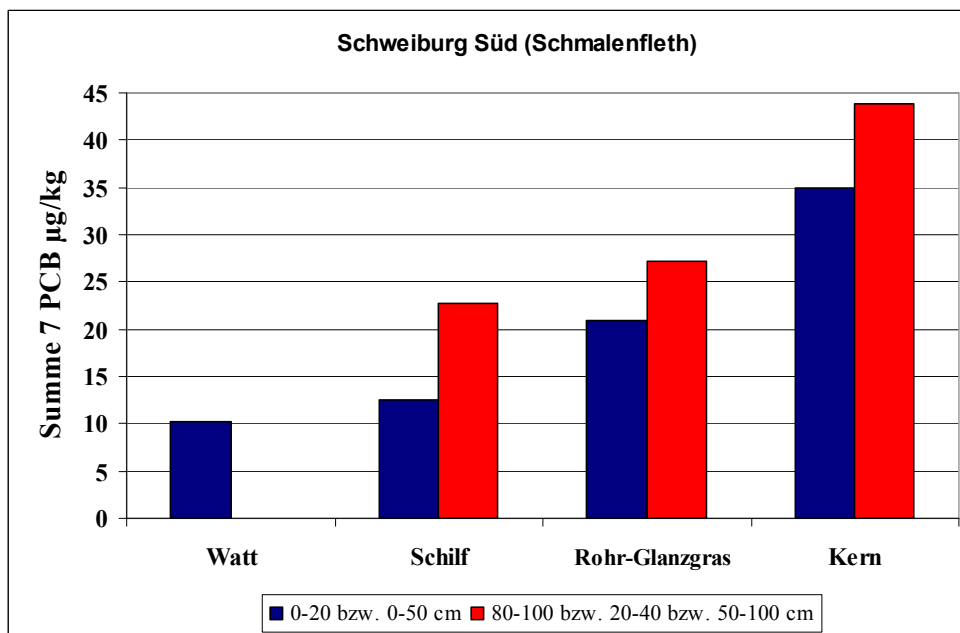


Abbildung 3-33: Σ PCB₇ Gehalte (auf $20\mu\text{m}$ Fraktion normiert) am Standort Strohauser Plate Süd im Profil Watt, Schilf, Rohr-Glanzgras und Grünland (Kern)

Nach dem URE-Schema lassen sich die Sedimente als gering bis mittel belastet einstufen. Im Rohr-Glanzgras (20-40 cm) überwiegt die mittlere Belastung (Anhang H) und ist damit insgesamt etwas höher belastet. Im Kern zeigt sich im Zink und p,p'-DDD in 50 cm – 100 cm eine hohe Belastung.

Im Vergleich zur Dauermessstelle Farge sind die Schadstoffgehalte in den Sedimenten am Standort Strohauser Plate Süd geringer und zum größten Teil vergleichbar mit den Schadstoffgehalten in den Sedimenten der

Dauermessstelle Nordenham (UW-km 56,8) (Anhang H). Auch hier ist die Belastung der Sedimente als gering einzustufen.

Standort Harriersand Nord (Wilhelmsplate)

Wie schon am Standort Strohauser Plate Süd ist auch am Standort Harriersand Nord ein leichter Anstieg der Schadstoffgehalte sowohl in den Oberflächensedimenten als auch in den tiefer gelegenen Schichten im Profil von Watt zum Grünland zu erkennen (siehe Abbildung 3-34). In tieferen Schichten zeigt sich ein weiterer Anstieg. Dies deutet auf ältere Sedimentschichten, die frühere Belastungsgrade der Wesersedimente wiedergeben. Abbildung 3-34 zeigt den Anstieg exemplarisch am Cadmium. Auch die anderen untersuchten Schwermetalle zeigen diesen Trend (Anhang H).

Die steigende Tendenz der Schadstoffgehalte von Watt zu Grünland ist auch in den organischen Substanzen zu sehen. In Abbildung 3-35 ist dies exemplarisch an der ΣPCB_7 dargestellt. Beim Probepunkt Rohrkolben ist der Anstieg der Konzentrationen, wie auch bei den Schwermetallen, mit der Tiefe sichtbar.

Organische Schadstoffe sowie Schwermetalle zeigen die gleiche zeitliche und räumliche Entwicklung.

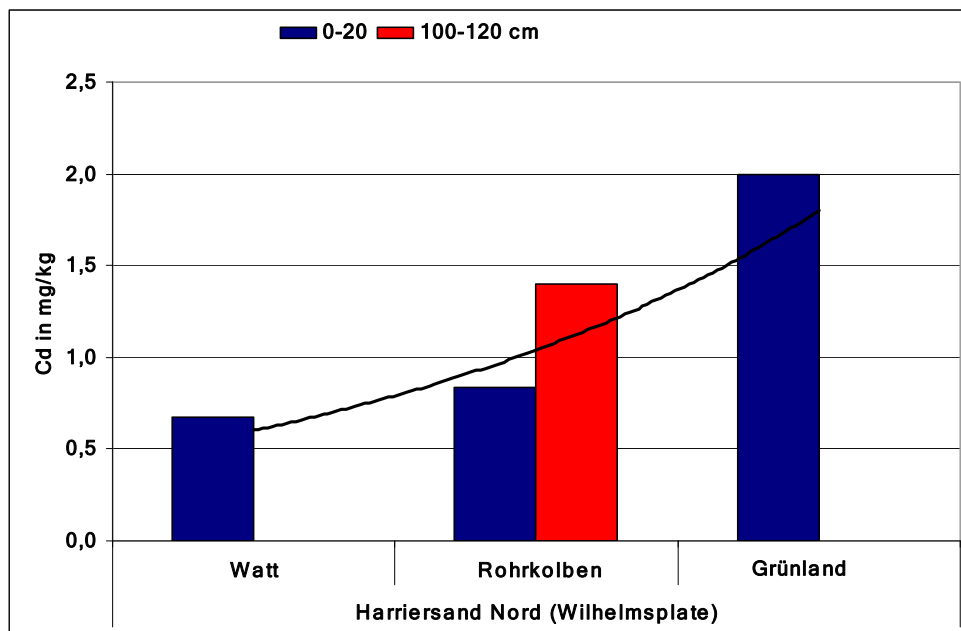


Abbildung 3-34: Cadmiumgehalte in der Feinkornfraktion $<20\mu\text{m}$ am Standort Harriersand Nord im Profil Watt, Rohrkolben, Grünland

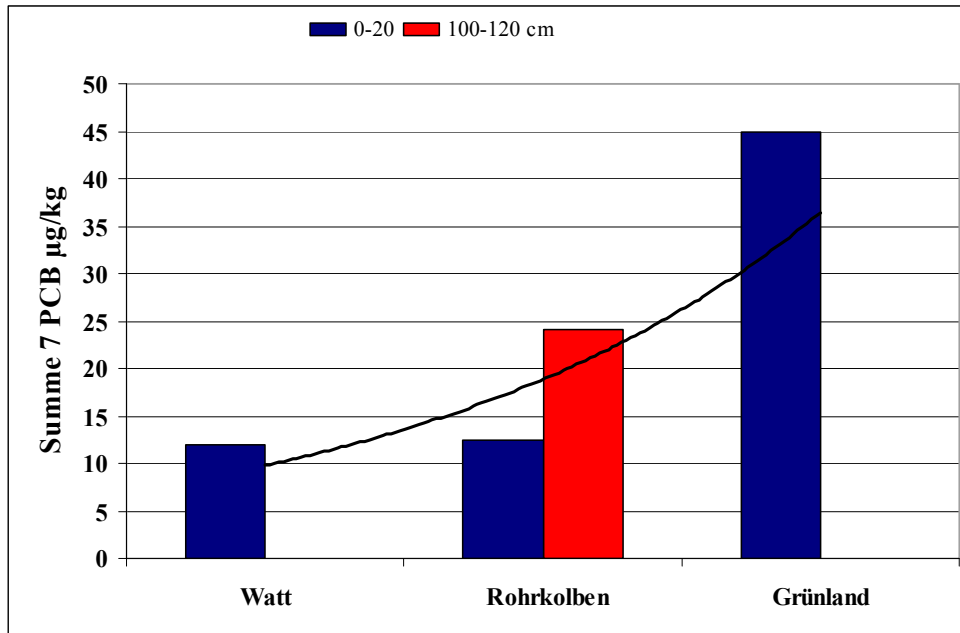


Abbildung 3-35: Σ PCB₇ Gehalte (auf 20µm Fraktion normiert) am Standort Harriersand Nord im Profil Watt, Rohrkolben, Grünland

Die Oberflächensedimente (0-20 cm) aus dem Watt und dem Rohrkolben-Röhricht weisen gemäß URE nur eine geringe Belastung in den Schwermetallen und organischen Schadstoffen auf. Nur das Zink an beiden Standorten, das Hexachlorbenzol (HCB) im Watt und das TBT im Rohrkolben besitzen eine mittlere Belastung. In 100-120 cm Tiefe im Rohrkolben-Röhricht sind die Belastungen nur geringfügig höher und zeigen im Cd, Zn, in der Σ PCB₇ und im p,p'-DDE eine mittlere Belastung. Die Gehalte des TBT können als hoch belastet angesehen werden. Das Grünland ist insgesamt etwas höher belastet und zeigt im Zink und p,p'-DDT eine hohe Belastung an.

Im Vergleich zur nächstgelegenen Dauermessstelle der BfG in Farge (Unterweser UW-km 26,13) sind die Gehalte der Schadstoffe am Standort Harriersand Nord deutlich geringer, der Feinkornanteil aber vergleichbar. In Farge sind die Belastungen von Cd, Zn und TBT noch als hoch einzustufen. (Anhang H).

Insgesamt sind die Sedimente am Standort Harriersand Nord niedrig belastet und zeigen keine Auffälligkeiten (Anhang E).

Schwermetalle und organische Schadstoffe – Schadstoffverlauf im Längsprofil

Der Haupteintrittspfad von Schadstoffen in die Tideweser erfolgt wie auch an der Tideelbe aus dem Binnenbereich. So ist im Verlauf vom Tidewehr (Dauermessstation Langwedel) bis Außenweser (Dauermessstation Bremerhaven) anhand von den BfG betriebenen Dauermessstellen eine Abnahme in den Schadstoffgehalten zu sehen (Abbildung 3-36).

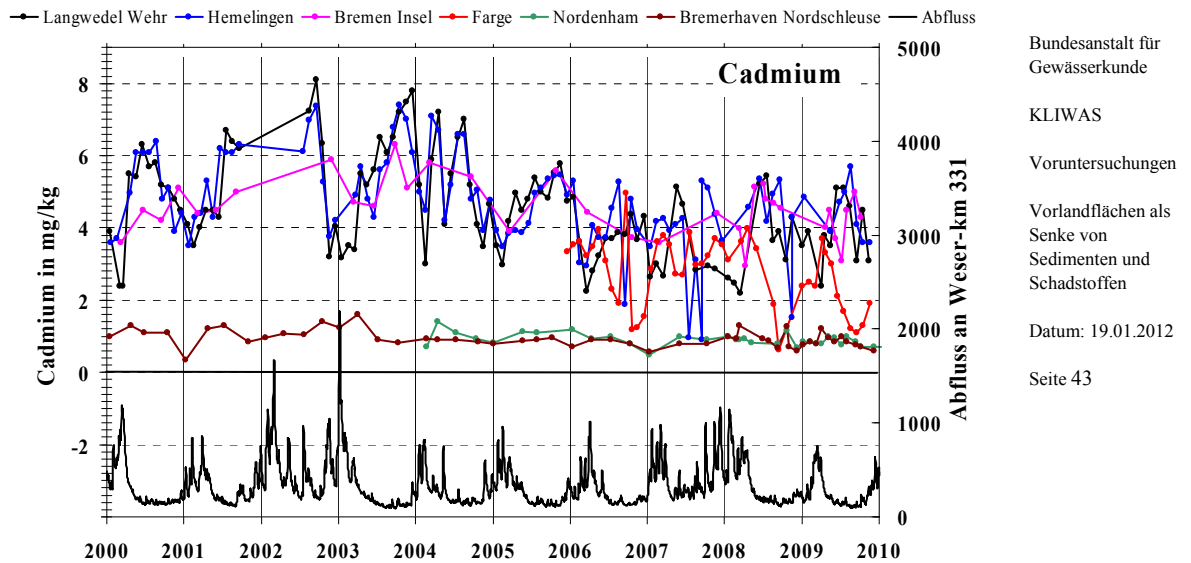


Abbildung 3-36: Cadmiumgehalte in Sedimenten der Dauermessstellen an der Weser und Oberwasserabfluss bei Intschede Weser-km 331

Im Längsverlauf der Weser d. h. von Harriersand Nord (RN-km 10,52) bis Blexen (UW-km 64,9) ist im Watt sowie im Schilf in den ersten 20 cm zunächst eine leichte Zunahme und dann eine Abnahme der Schwermetallgehalte von Cadmium, Quecksilber, Blei und Zink zu beobachten. In Blexen bei UW-km 64,9, also an der am nördlichsten gelegenen Probenahmestelle, sind die höchsten Gehalte in den Sedimenten zu verzeichnen (Abbildung 3-37). Aufgrund des erhöhten marinen Eintrages, d.h. Eintrag von niedrig belasteten Sedimenten, im Bereich von Blexen wären dort die niedrigsten Schadstoffgehalte zu erwarten. Die dort erhöhten Gehalte könnten durch einen möglichen Emittenten in diesem Bereich der Weser verursacht worden sein. Dies ist zu prüfen.

Im Grünland hingegen ist generell eine Abnahme der Schwermetallgehalte von Harriersand Nord bis Blexen zu erkennen. Die Schadstoffentwicklung zeigt eine andere Geschichte als im Watt und Schilf.

Die organischen Schadstoffgehalte im Längsverlauf der Tideweser zeigen eine Zunahme in den Gehalten von Harriersand Nord (dem Binnenbereich am Nächsten) nach Blexen (dem Binnenbereich am Entferntesten) im Watt und im Schilf in den ersten 20 cm. Dabei zeigt die Summe 7 PCB höhere Gehalte als das p,p'-DDD (Abbildung 3-38). Im Grünland ist nicht wie in den Schwermetallen ein anderer Verlauf zu erkennen sondern ein starker Anstieg der Summe 7 PCB in Richtung Blexen.

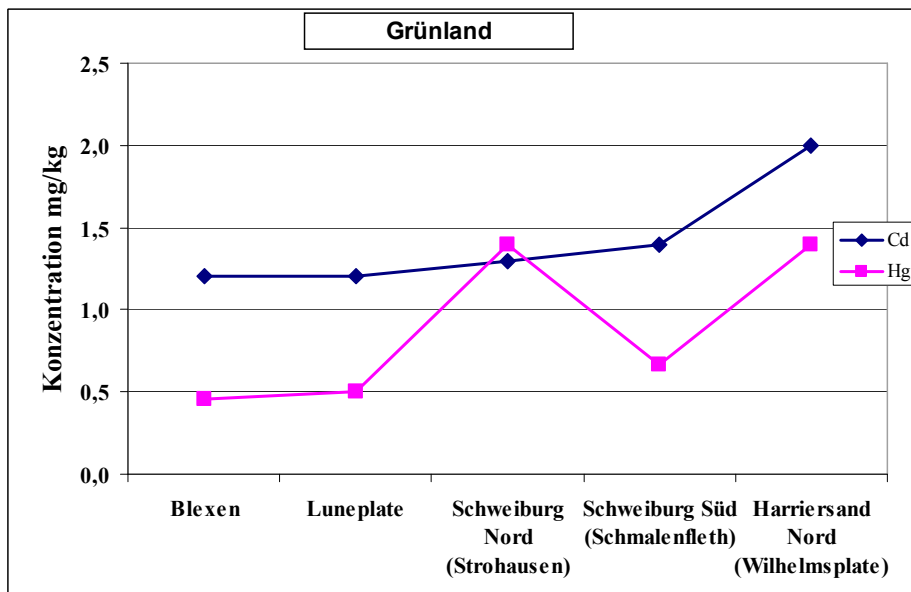
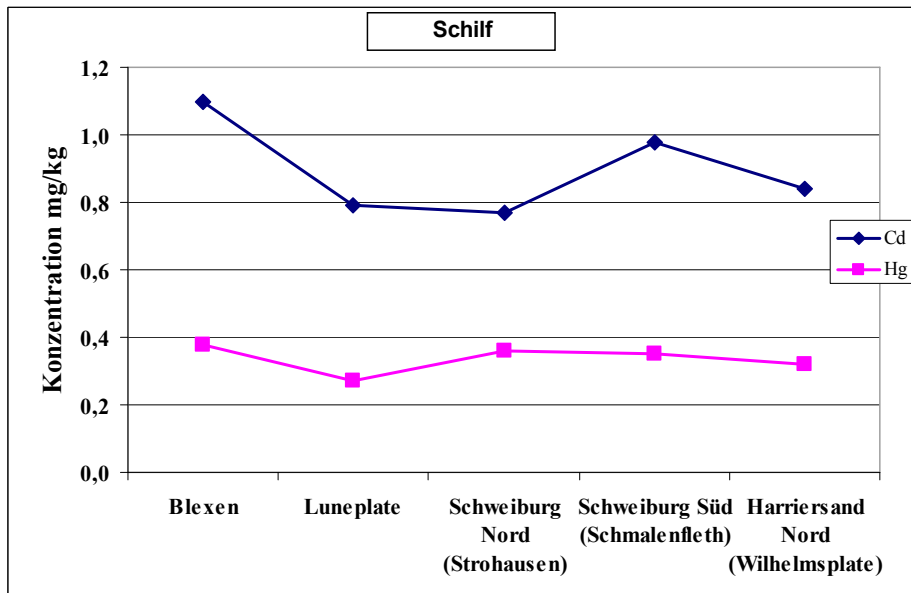
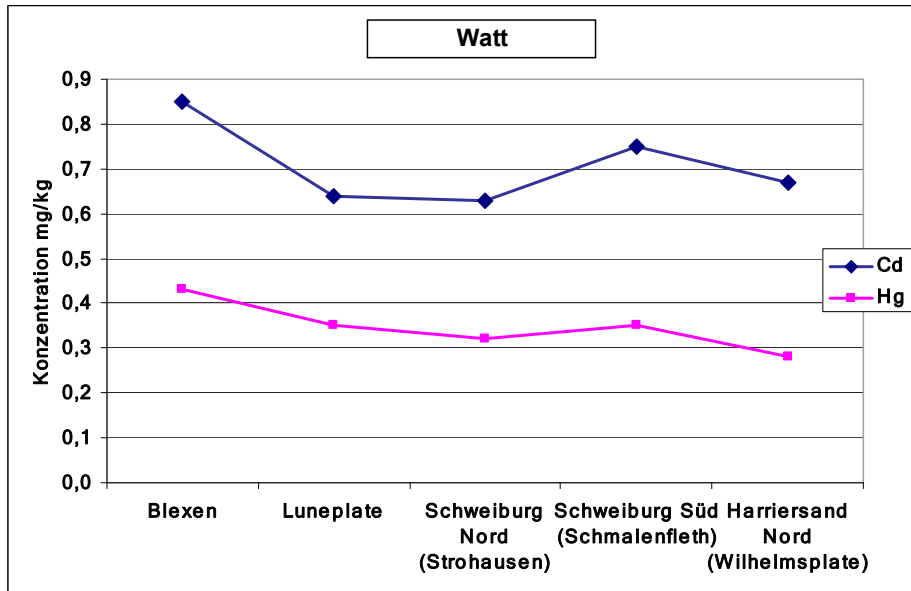


Abbildung 3-37: Längsverlauf der Gehalte in der Feinkornfraktion <math>< 20\mu\text{m}</math> beispielhaft an den Schwermetallen Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg)

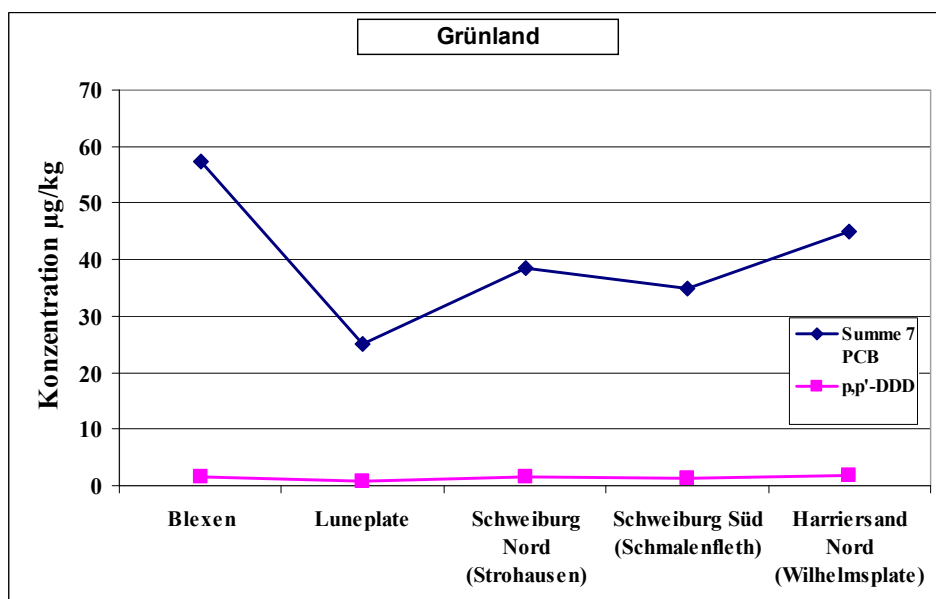
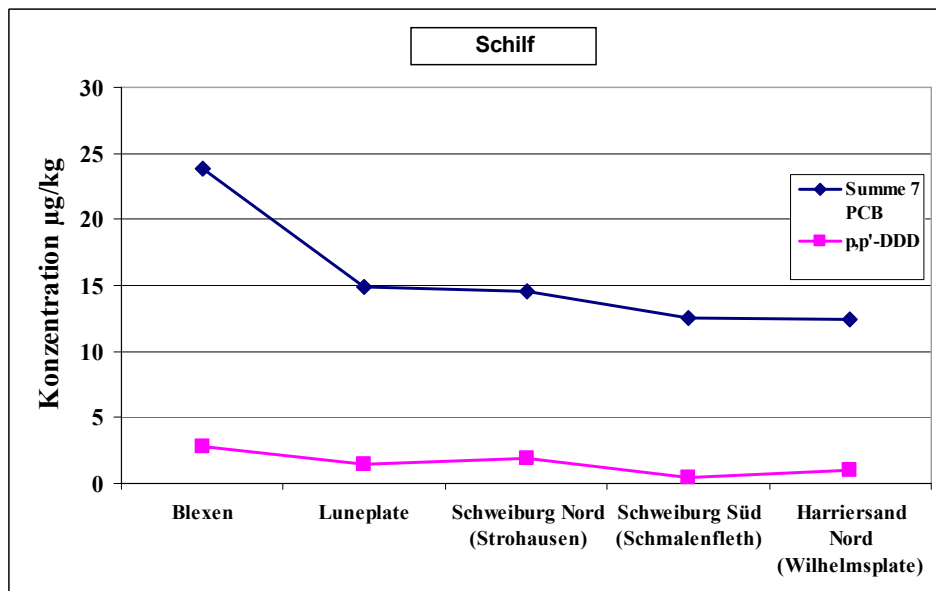
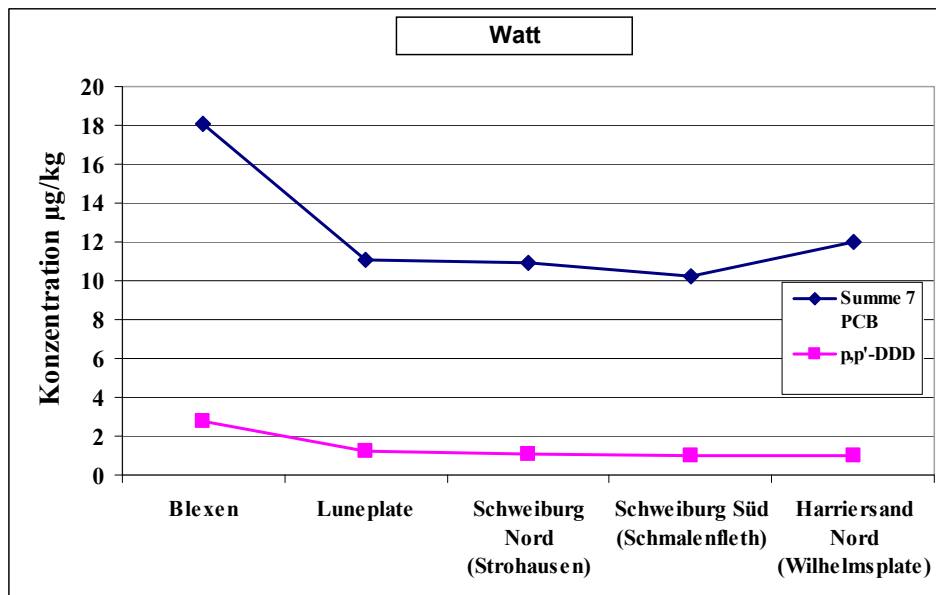


Abbildung 3-38: Längsverlauf der Gehalte (auf 20µm Fraktion normiert) beispielhaft an den organischen Schadstoffen Summe 7 PCB und p,p'-DDD

3.2 Uni- und multivariate Auswertung

Die folgenden Auswertungen sind mit dem Statistikprogramm R durchgeführt worden. Aufgrund der geringen Anzahl der Datensätze konnten die Auswertungen nur in einem eingeschränkten Rahmen erfolgen. Sie liefern nur Hinweise und dürfen nicht überinterpretiert werden.

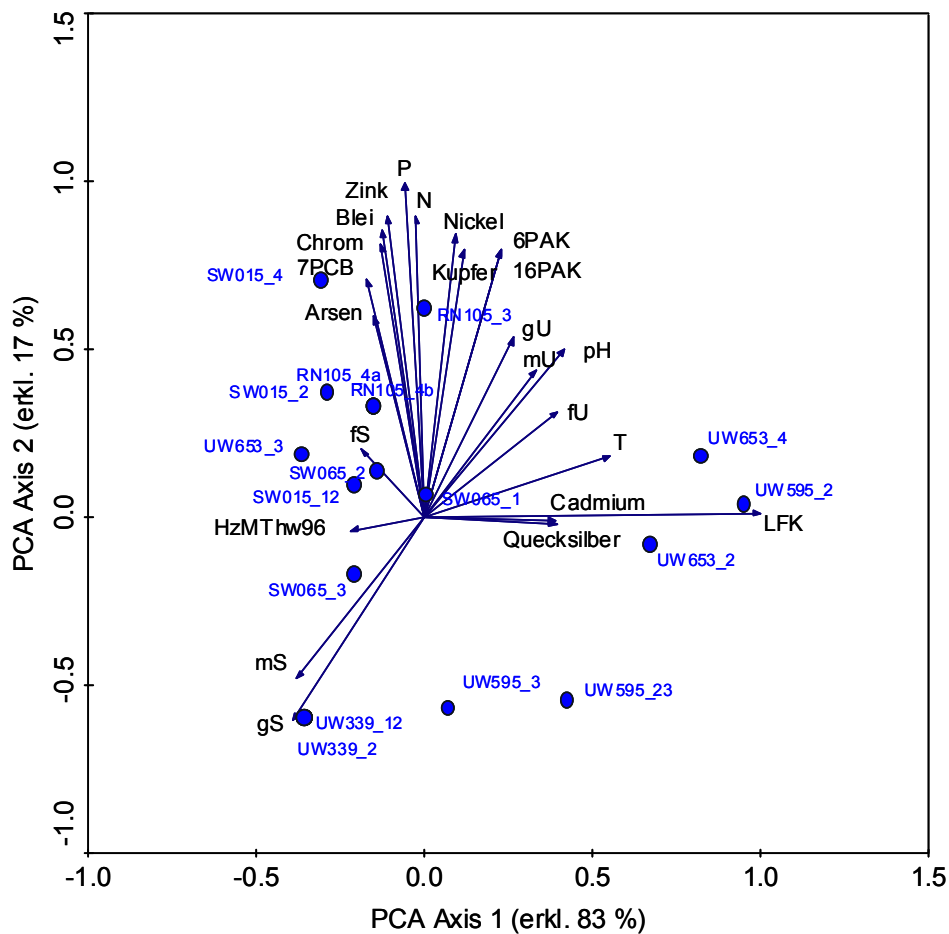
3.2.1 Verallgemeinertes Lineares Modell (GLM)

Für die univariate Auswertung bietet sich nur die Art *Phragmites australis* (Schilf) an, da die anderen Arten ein zu geringes Vorkommen aufweisen. Um zu untersuchen, in wieweit die gemessenen Parameter einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen von Schilf ausüben, wird eine logistische Regression (GLM) mit folgenden tiefengemittelten Parametern durchgeführt:

- verschiedene Korngrößen (gS, mS, fS, gU, mU, fU, T)
- verschiedene Schadstoffe
(As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, 16PAK, 6PAK, 7PCB)
- verschiedene Nährstoffe (P, N)
- pH und Leitfähigkeit (LFK).

Das Testen auf signifikante Interaktionseffekte der Parameter hinsichtlich des Vorkommens von Schilf erfolgt mittels backward selection (CRAWLEY 2002). Ebenfalls wurden auch die einzelnen Parameter überprüft. Es konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang bezogen auf die 16 in die Analyse eingegangenen Flächen festgestellt werden (Anhang I). Das deutet darauf hin, dass die bestimmten Korngrößen und die gemessenen Gehalte Schadstoffe, Nährstoffe, pH und Leitfähigkeit das Vorkommen von Schilf nicht wesentlich beeinflussen.

3.2.2 Hauptkomponentenanalyse (PCA)



Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 47

Abbildung 3-39: Streudiagramm der Hauptkomponentenanalyse der Weserdaten

Mit der Hauptkomponentenanalyse der Aufnahme-Standortfaktoren-Matrix kann die Ähnlichkeit der Aufnahmen mit Bezug auf die Variabilität der Standortfaktoren zwischen diesen abgebildet werden (Abbildung 3-39) (LEYER & WESCHE 2007). Je ähnlicher die Standortfaktoren sind, desto näher liegen sie beieinander. Der Winkel der abgebildeten Vektoren ist von dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson abhängig: Hat der Koeffizient den Wert 1, ist der Winkel 0° . So liegen z. B. die Vektoren der ähnlichen Kornfraktionen dicht beieinander wie auch die Übergangsmetalle Cadmium und Quecksilber. Die Aufnahmen, die besonders hohe Leitfähigkeiten aufweisen, liegen dicht bei dem Vektor dieses Standortparameters, genauso wie die mit hohen Sandgehalten. Die Ordinationsachsen werden nach den Hauptrichtungen der standörtlichen Variabilität bestimmt. Die Richtung, die die größte Varianz aufzeigt, bildet die 1. PCA-Achse. Hier stellt die 1. PCA-Achse mit 83 % erklärter Gesamtvariabilität v. a. den Gradienten der Leitfähigkeit dar. Das lässt sich damit erklären, dass die Leitfähigkeit sowohl im lateralen als auch im longitudinalen Flussgradienten wiederzufinden ist.

3.2.3 Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS)

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 48

Die Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS), auch Ähnlichkeitsstrukturanalyse genannt, ist ein Ordinationsverfahren, das die Abstände der Distanzen je nach Ähnlichkeit der Untersuchungsobjekte im Koordinatensystem unverzerrt in einer relativen Abfolge abbildet. Die Berechnung der Distanzen erfolgt nach Bray-Curtis (LEYER & WESCHE 2007). Die NMDS gilt als eines der robusten Ordinationsverfahren und ist gerade bei lückenhaften Datensätzen der Korrespondenzanalyse (CA oder DCA) vorzuziehen. Die Analyse ergab einen Stresswert von 7,4, d. h. die Güte der NMDS ist als gut einzustufen und das Ergebnis ist höchstwahrscheinlich zuverlässig.

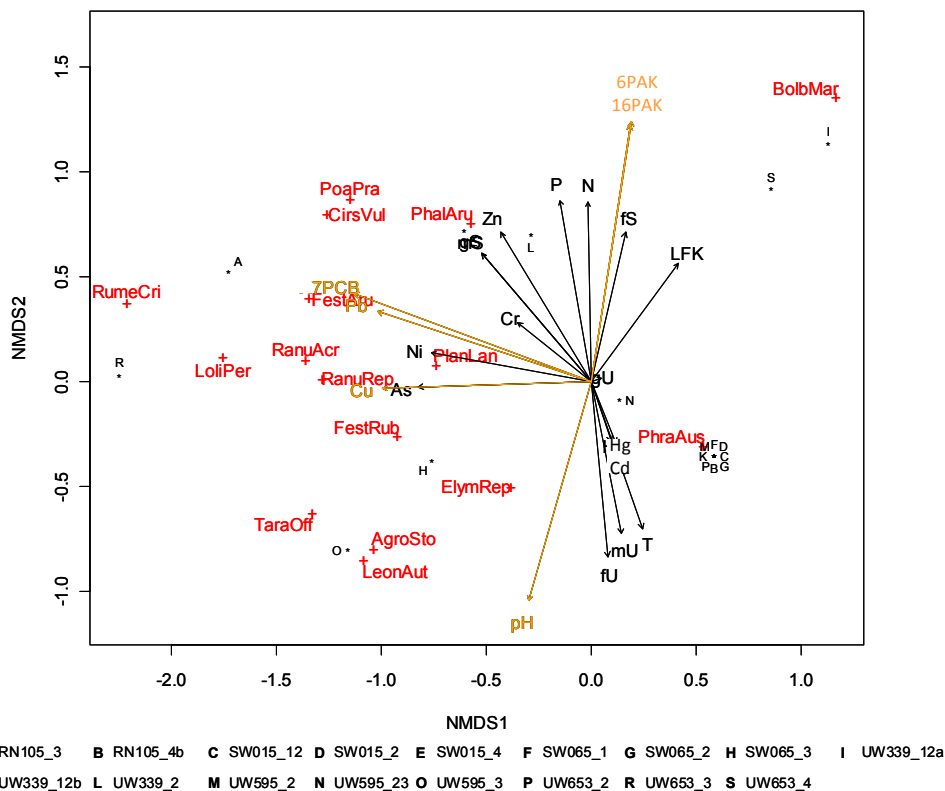


Abbildung 3-40: NMDS der Artenzusammensetzung mit Projektion der Aufnahmepunkte und Standortfaktoren. Arten (rot), signifikante Standortfaktoren (orange)

Abbildung 3-40 spiegelt gut die Variabilität der verschiedenen Grünlandaufnahmen in der linken Hälfte des Ordinationsraumes wider. Im Gegensatz hierzu stehen die nur von Schilf bestandenen Standorte, die sich kreisförmig um die Art gruppieren (rechts unten). Die kompletten Artnamen sind in Anhang C zu finden. Die Vektoren der Schadstoffe sind überwiegend über die Grünlandarten projiziert. Das deckt sich mit der Aussage in Kapitel 3.1.2, dass eine steigende Tendenz der Schadstoffgehalte von Watt zu Grünland vorliegt. Dieses könnte auch der Grund für die hochsignifikanten Standortfaktoren der organischen Schadstoffe (Tabelle

3-3) sein. Mit den Daten der Voruntersuchung können jedoch keine Aussagen darüber getroffen werden, ob die Arten in ihrer Zusammensetzung von den signifikanten Standortfaktoren beeinflusst werden. Hierfür bedarf es eines größeren Datensatzes.

Tabelle 3-3: Signifikanzwerte der bedeutendsten Standortfaktoren. Die Spalten NMDS1 und NMDS2 listen die Koordinaten der Vektorspitze des jeweiligen Standortfaktors auf. Die Spalte r^2 beinhaltet das Bestimmtheitsmaß des jeweiligen Standortfaktors.

	NMDS1	NMDS2	r^2	Pr(>r)
16PAK	0.15361	0.98813	0.7566	0.004664**
6PAK	0.15192	0.98839	0.7345	0.005996**
7PCB	-0.93808	0.34641	0.6989	0.009993**
Pb	-0.94991	0.31251	0.5502	0.027315*
pH	-0.27395	-0.9617	0.5688	0.051299.
Cu	-0.99939	-0.0348	0.4758	0.085943.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

P values based on 1500 permutations.

4 Trends und weiteres Vorgehen

Folgende Aussagen könne aus der Voruntersuchung „Vorlandflächen als Senke von Sedimenten und Schadstoffen“ abgeleitet werden:

1. Die Schadstoffgehalte in den Rhizomen der untersuchten Röhrichte liegen oftmals unter der Nachweisgrenze, womit sich für diesen Parameter zunächst keine qualitativen Zusammenhänge zwischen Pflanze und Sediment herstellen lassen können.
2. Die Untersuchungen zu den Schadstoffgehalten in den Sedimenten haben gezeigt, dass generell eine Zunahme im lateralen Gradienten Watt-Marsch zu verzeichnen ist. Als Grund hierfür kann ein höheres Sedimentalter in den Grünländern angenommen werden, das auf frühere stoffliche Belastungen indiziert. Im longitudinalen Gradient ist die typische Abnahme der Schadstoffgehalte meerwärts zu erkennen.
3. Die Korngrößenzusammensetzung der Sedimentproben ergaben weder im Längsverlauf der Weser noch innerhalb der einzelnen Transekte signifikante Trends. Offensichtlich bestimmt eher die hydromorphologische Flusscharakteristik das lokale Verteilungsmuster.
4. Im Allgemeinen spiegelt die gemessene Leitfähigkeit der Sedimentproben den Salzgradienten im Längsverlauf der Tideweser wider. Abhängig von der Dauer der Bodengenese und dem damit einhergehenden Aussüßungsprozess nimmt die Leitfähigkeit mehr oder weniger im lateralen Verlauf (landwärts) ab. Beide Trends werden auch durch die Artenzusammensetzung der Pflanzen (Salzzahl nach Ellenberg) angezeigt. Ist das Sediment wie im Fall Blexener Watt beweglich, schwankt die Leitfähigkeit mit der des Wassers, so dass die Leitfähigkeit der Sedimente weiter landeinwärts zunächst höher als im Wattbereich ist.
5. Für die Nährstoffversorgung ist festzuhalten, dass die C/N-Verhältnisse generell auf eine hohe biologische Aktivität hinweisen. Die hohen P- und N-Gehalte variieren im Längsverlauf sowie innerhalb des Transekts. In der vertikalen Verteilung (Tiefenprofil) können Muster erkannt werden, aber keine eindeutigen Trends zugeordnet werden, da lokal die Nährstoffverteilung von unterschiedlichen Sedimentbedingungen und Nutzungseinflüssen (Düngung, Beweidung, ...) mitbestimmt wird.

Die Voruntersuchung lässt einzelne Muster der untersuchten Parameter erkennen. Jedoch reichen diese nicht aus, qualitative Zusammenhänge zwischen Röhrichten, Sedimenten und Schadstoffen signifikant nachzuweisen. Das liegt zum einen daran, dass der untersuchte Datensatz

aufgrund seiner Größe die möglichen, statistischen Analysemethoden einschränkt. Zum anderen weisen weder untersuchte Pflanzenteile noch Sedimente hohe Schadstoffgehalte auf. Zukünftig sollte darauf geachtet werden, dass bei einer Probenahme von unterirdischen Pflanzenteilen nicht nur junge sondern auch ältere Rhizome und Wurzelteile untersucht werden. Um belastbare Aussagen in dieser interdisziplinären Form treffen zu können, muss die Untersuchung in einem repräsentativen Umfang erhoben werden. Dieser kann idealerweise innerhalb eines Systemmonitorings erfolgen, wie dies z. B. an der Tideelbe geplant ist.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

KLIWAS

Voruntersuchungen

Vorlandflächen als
Senke von
Sedimenten und
Schadstoffen

Datum: 19.01.2012

Seite 51

ACKERMANN, F. & SCHUBERT, B. (2000): Das Elbeästuar: Senke und Quelle für Schadstoffe. In: Gewässerlandschaften. 9. Magdeburger Gewässerschutzseminar Einzugsgebietsmanagement. Die IKSE: 10 Jahre integriertes Management im Einzugsgebiet Elbe. ATV-DVWK-Schriftenreihe 22: 298-299.

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (Hrsg.), 5. Aufl., Hannover.

AIT ALIA, N., PILAR BERNAL, M., ATER, M. (2004): Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper and zinc. In: *Aqua. Bot.*, 80: 163-176.

AMBASHT, R.S. (2008): Wetland ecology: An overview. In: Proceedings of the national academy of science India section B-Biological sciences 78: 3-12.

ANONYMUS (2009): Gemeinsame Übergangsbestimmungen zum Umgang mit Baggergut in den Küstengewässern (GÜBAK) zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den fünf Küstenländern.

ARGE ELBE (1980): Schwermetalle der Elbe. Bericht über die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen im Elbabschnitt von Schnackenburg bis zur Nordsee (1979/80). Bericht der Wassergütestelle Elbe, Hamburg.

BFG (2004): Methoden der Umweltrisikoeinschätzung und FFH-Verträglichkeitseinschätzung für Projekte an Bundeswasserstraßen – Ein Beitrag zur Bundesverkehrswegeplanung. Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-Mitteilungen Nr. 26, Koblenz.

BONANNO, G. & LO GIUDICE, R. (2010): Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. In: *Ecological Indicators*, Volume 10, Issue 3, 639-645.

CRAWLEY, M. (2002): *Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. Verlag John Wiley & Sons, Ltd, New York.

DIN EN ISO 17294-2 (2005): Wasserbeschaffenheit - Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) - Teil 2: Bestimmung von 62 Elementen (ISO 17294-2:2003). Deutsche Fassung EN ISO 17294-2:2004.

ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DÜLL, R., WIRTH, V. & WERNER, W. (2001): *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Verlag Erich Goltze, Göttingen.

- HEBERT, P.D.N. (2002): Discover Canada's Wetland Habitats. E-Book:
<http://www.aquatic.uoguelph.ca>. Date of last access: 16.12.09.
- IFB (1997): UVU Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt. Materialband V. Boden. Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg. im Auftrag: PÖU, WSV, WSA-HH, HPA, Hamburg.
- LEYER, I & WESCHE, K. (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie: Eine Einführung. Verlag Axel Springer, Berlin.
- OSPAR (2002): JAMP Guidelines for monitoring contaminants in sediments. Technical Annex 5 – Normalisation of contaminant concentrations; Ref. No. 2002-16, OSPAR Commission London.
- REICHEL, G. & WILMANN, O. (1973): Vegetationsgeographie, Westermann Verlag, Braunschweig.
- SCHEFFER / SCHACHTSCHABEL (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Aufl., Hrsg. H.P. Blume et al., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg- Berlin, ISBN 3-8274-1324-9.
- SCHUBERT, B. & HUMMEL, D. (2008): Sedimentation areas of the Elbe estuary as secondary sources of contamination. Tagungsband Magdeburger Gewässerschutzseminar 2008: 137-139.
- SCHWARTZ, R. (2001): Die Böden der Elbau bei Lenzen und ihre mögliche Veränderung nach Rückdeichung. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 48, ISSN 0724-6382.
- US EPA Method (U. S. Environmental Protection Agency Method) 3052 (1996).
- WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Anhang

ANHANG A:	ÜBERSICHT ÜBER DIE RHIZOM- UND WURZELPROBEN	A-1
ANHANG B:	FOTODOKUMENTATION DER RÖHRICHRHIZOME	A-2
	B-1: RHIZOME VON <i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i> : LINKS: ÄLTERES RHIZOM, RECHTS: JÜNGERES RHIZOM. (DIE WURZELN NEHMEN, IM GEGENSATZ ZU DEN RHIZOMEN, JEWEILS DIE FARBE DES UMGEBENDEN BODENS AN)	A-2
	B-2: <i>PHRAGMITES</i> -RHIZOM, GESÄUBERT, GETROCKNET	A-2
	B-4: RHIZOME VON <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA</i> , RECHTS: GESÄUBERT, GETROCKNET	A-3
	B-5: WURZELKNOLLEN VON <i>BOLBOSCHOENUS MARITIMUS</i> , RECHTS: GESÄUBERT, GETROCKNET	A-3
ANHANG C:	VEGETATIONSEINHEITEN DER TRANSEKTE	A-4
ANHANG D:	ERGEBNISSE DER SCHADSTOFFGEHALTE IN UNTERIRDISCHEN PFLANZENTEILEN DER RÖHRICHTE	A-5
ANHANG E:	BODENARTEN UND ORGANOLEPTISCHE BODENANSPRACHE (AG BODEN, 2005)	A-6
ANHANG F:	ENTWICKLUNG DER KORNGRÖßENVERTEILUNG GETRENNT FÜR DIE VERSCHIEDENEN ZONEN (WATT, RÖHRICHT, GRÜNLAND) UND FÜR EINZELNE KORNFRAKTIONEN	A-7
ANHANG G:	SCATTERPLOTS DER ELLENBERG-ZEIGERWERTE MIT UNTERSCHIEDLICHEN STANDORTPARAMETERN	A-12
ANHANG H:	ERGEBNISSE UND BEWERTUNG DER SCHADSTOFFANALYSEN	A-14

	H-1: ERGEBNISSE DER SCHADSTOFFANALYSEN (ROHDATEN)	A-14
	H-2: BEWERTUNG DER SCHADSTOFFANALYSEN NACH DEM URE-SCHEMA	A-17
	H-3: BEWERTUNG DER SCHADSTOFFANALYSEN NACH URE AN DREI DAUERMESSSTELLEN DER WESER	A-19
ANHANG I:	ERGEBNISSE DER UNIVARIATEN STATISTISCHEN ANALYSE	A-21
	I-1: EINGANGSDATEN FÜR DIE UNIVARIATE AUSWERTUNG (GLM)	A-21
	I-2: ERGEBNIS DER BACKWARD SELECTION	A-22

Anhang A: Übersicht über die Rhizom- und Wurzelproben

Ort	Fluss- km	Transekt- punkt (Gelände- Nr.)	Art	Pflanzenteil	Boden- tiefe (cm)	Datum Probe- nahme
Blexen	UW 65,3	2	Bolboschoenus maritimus	Knollen	40-60	22.10.09
Blexen	UW 65,3	3	Phragmites australis	älteres Rhizom	ca. 0-20	22.10.09
Blexen	UW 65,3	3	Phragmites australis	Sprossspitzen, beim Durchstoßen der Bodenoberfläche	0	22.10.09
Blexen	UW 65,3	4	Phragmites australis	Rhizom aus tiefer Bodenschicht	80-100	22.10.09
Luneplate	UW 59,5	2	Phragmites australis	junge Rhizome	ca. 0-20	21.10.09
Strohauser Plate Nord	SW 6,5	1	Phragmites australis	junge Rhizome	ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Nord	SW 6,5	1	Phragmites australis	Sprossspitzen, z. T. grün	0	22.10.09
Strohauser Plate Nord	SW 6,5	2	Phragmites australis		ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	1	Phragmites australis	Rhizom, jung	ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	1	Typha angustifolia	junges Rhizom	ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	1	Typha angustifolia	Sprossspitzen, teilweise grün	0	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	2	Phragmites australis	älteres Rhizom	ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	2	Phragmites australis	junge Rhizome	ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	2	Phragmites australis	Rhizom aus tiefer Bodenschicht	80-100	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	3	Phragmites australis	junge Rhizome	ca. 0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	3	Phragmites australis	Sprossspitzen, beim Durchstoßen der Bodenoberfläche	0	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	3	Heracleum sphondylium	Knollen	0-20	22.10.09
Strohauser Plate Süd	SW 1,5	3	Phalaris arundinacea	Rhizom	0-20	22.10.09
Harriersand Nord	RN 10,5	4	Typha angustifolia	älteres Rhizom	ca. 0-20	21.10.09
Harriersand Nord	RN 10,5	4	Typha angustifolia	junge Rhizome	ca. 0-20	21.10.09
Harriersand Nord	RN 10,5	4	Typha angustifolia	Sprossspitze	ca. 0-20	21.10.09
Harriersand Nord	RN 10,5	Nähe 4	Phragmites australis	junge Rhizome	ca. 0-20	21.10.09
Harriersand Nord	RN 10,5	Nähe 4	Phragmites australis	Sprossspitzen, beim Durchstoßen der Bodenoberfläche	0	21.10.09

Anhang B: Fotodokumentation der Röhrichtrhizome

B-1: Rhizome von *Phragmites australis*: links: älteres Rhizom, rechts: jüngeres Rhizom.
(Die Wurzeln nehmen, im Gegensatz zu den Rhizomen, jeweils die Farbe des umgebenden Bodens an)



B-2: *Phragmites*-Rhizom, gesäubert, getrocknet



B-3: Rhizome von *Phalaris arundinacea*



B-4: Rhizome von *Typha angustifolia*, rechts: gesäubert, getrocknet



B-5: Wurzelknollen von *Bolboschoenus maritimus*, rechts:, gesäubert, getrocknet



Anhang C: Vegetationseinheiten der Transekte

Laufende Nr.	1		2		3			4		5		6			7				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Probepunkt-Nr	UW653_4	UW339_1/2	RN105_4	UW595_2	RN105_4	UW339_1/2	UW339_1/2	UW339_1/2	UW339_1/2	UW339_1/2	UW339_2	UW653_2	UW653_5	UW653_3	UW595_3	UW653_3	UW653_3	UW653_3	RN105_3
Höhe z MThw	5,3	4,5	0,5	8	0,00	-0,90	0,00	-1,50	-2,97	-1,36	0,32	0,00	1,30	1,34	0,92	0,73	2,68	1,75	0,00
Mittlerer Salzwert (Eil.)	7	6,5	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mittlerer Nährstoffwert (Eil.)	5	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bolboschoenus maritimus</i>
<i>Aster tripolium</i>
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>
<i>Typha angustifolia</i>
<i>Calystegia sepium</i>
<i>Phragmites australis</i>
<i>Elymus repens</i>
<i>Phalaris arundinacea</i>
<i>Angelica archangelica</i>
<i>Chaerophyllum bulbosum</i>
<i>Cirsium arvense</i>
<i>Urtica dioica</i>
<i>Atriplex prostrata</i>
<i>Taraxacum officinale</i> agg.
<i>Lolium perenne</i>
<i>Leontodon autumnalis</i>
<i>Festuca rubra</i> agg.
<i>Agrostis stolonifera</i> agg.
<i>Ranunculus repens</i>
<i>Ranunculus acris</i>
<i>Festuca arundinacea</i>
<i>Rumex crispus</i> x <i>obtusifolius</i>

- 1 Strandsimsen-Röhricht
- 2 Rohrkolben-Röhricht
- 3 Schiff-Röhricht
- 4 Quecken-dominiertes Röhricht
- 5 Rohrglanzgras-Röhricht
- 6 Störflecken im Röhricht
- 7 Grünland

Weitere Arten:

Cirsium vulgare 12: +, 19:1; *Sonchus oleraceus* 14:2, 18:1; *Dactylis glomerata* 14: +, 18:3; *Poa pratensis* 15:1, 19: +; *Plantago lanceolata* 15: +; *Glechoma hederacea* 14: 2; *Galium aparina* 14: r; *Heracleum sphondylium* 15: 1; *Rumex acetosa* 15: +; *Cardamine pratensis* 15: +; *Pastinaca sativa* 16: 1; *Trifolium pratense* 16: 1; *Polygonum spec.* 16: +; *Symphytum officinale* 16: +; *Carum carvi* 16: +; *Poa spec.* 17: 2; *Plantago major* 17: 1; *Stellaria media* agg. 18: +; *Capsella bursa-pastoris* 18: r; *Potentilla anserina* 19: 1; *Carex spec.* 19: +; *Rumex crispus* 19: +

Anhang D: Ergebnisse der Schadstoffgehalte in unterirdischen Pflanzenteilen der Röhrichte

Standort	Art	Pflanzenteil	Bodentiefe	Schwermetalle (mg/kg)							
				As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
UW 65,3_3	Phragmites a.	älteres Rhizom	ca. 0-20	<0,30	0,15	<0,40	5,33	<0,04	<0,20	<1,00	48,85
UW 65,3_3	Phragmites a.	Sprossspitzen aus tiefer	0	<0,30	<0,10	<0,40	6,25	<0,04	<0,20	<1,00	37,40
UW 65,3_4	Phragmites a.	Bodenschicht	80-100	0,75	0,36	0,89	8,19	<0,04	1,10	1,38	33,20
UW 59,5_2	Phragmites a.	junge Rhizome	ca. 0-20	<0,30	<0,10	0,65	1,70	<0,04	0,45	<1,00	13,43
SW 6,5_1	Phragmites a.	junges Rhizom	ca. 0-20	0,30	<0,10	<0,40	1,20	<0,04	<0,20	<1,00	15,05
SW 6,5_1	Phragmites a.	Sprossspitzen	0	<0,30	<0,10	<0,40	2,81	<0,04	<0,20	<1,00	46,24
SW 6,5_2	Phragmites a.		ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	1,48	<0,04	0,36	<1,00	23,73
SW 1,5_1	Phragmites a.	Rhizom, jung	ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	2,12	<0,04	0,29	<1,00	25,81
SW 1,5_1	Typha a.	junges Rhizom	ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	3,87	<0,04	0,32	<1,00	19,95
SW 1,5_1	Typha a.	Sprossspitzen	0	<0,30	<0,10	0,60	3,29	<0,04	0,72	<1,00	16,69
SW 1,5_2	Phragmites	älteres Rhizom	ca. 0-20	<0,30	0,12	0,40	6,76	0,07	0,27	<1,00	47,86
SW 1,5_2	Phragmites	junge Rhizome aus tiefer	ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	5,10	<0,04	0,22	<1,00	26,98
SW 1,5_2	Phragmites	Bodenschicht	80-100	0,34	<0,10	<0,40	2,79	<0,04	<0,20	<1,00	8,40
SW 1,5_3	Phragmites	junges Rhizom	ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	5,41	<0,04	<0,20	<1,00	40,93
SW 1,5_3	Phragmites	Sprossspitzen	0	<0,30	<0,10	<0,40	3,15	<0,04	0,22	<1,00	30,00
SW 1,5_3	Phalaris a.	Rhizom	0-20	<0,30	0,10	<0,40	25,44	<0,04	0,52	<1,00	75,50
RN 10,5_4	Typha a.	älteres Rhizom	ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	7,26	<0,04	0,31	<1,00	44,14
RN 10,5_4	Typha a.	junge Rhizome	ca. 0-20	<0,30	<0,10	0,66	2,67	<0,04	2,41	<1,00	23,50
RN 10,5_Nähe 4	Phragmites a.	junge Rhizome	ca. 0-20	<0,30	<0,10	<0,40	3,14	<0,04	0,23	<1,00	15,51
RN 10,5_Nähe 4	Phragmites a.	Sprossspitzen	0	<0,30	<0,10	<0,40	4,19	<0,04	0,27	<1,00	36,44

Anhang E: Bodenarten und organoleptische Bodenansprache (AG Boden, 2005)

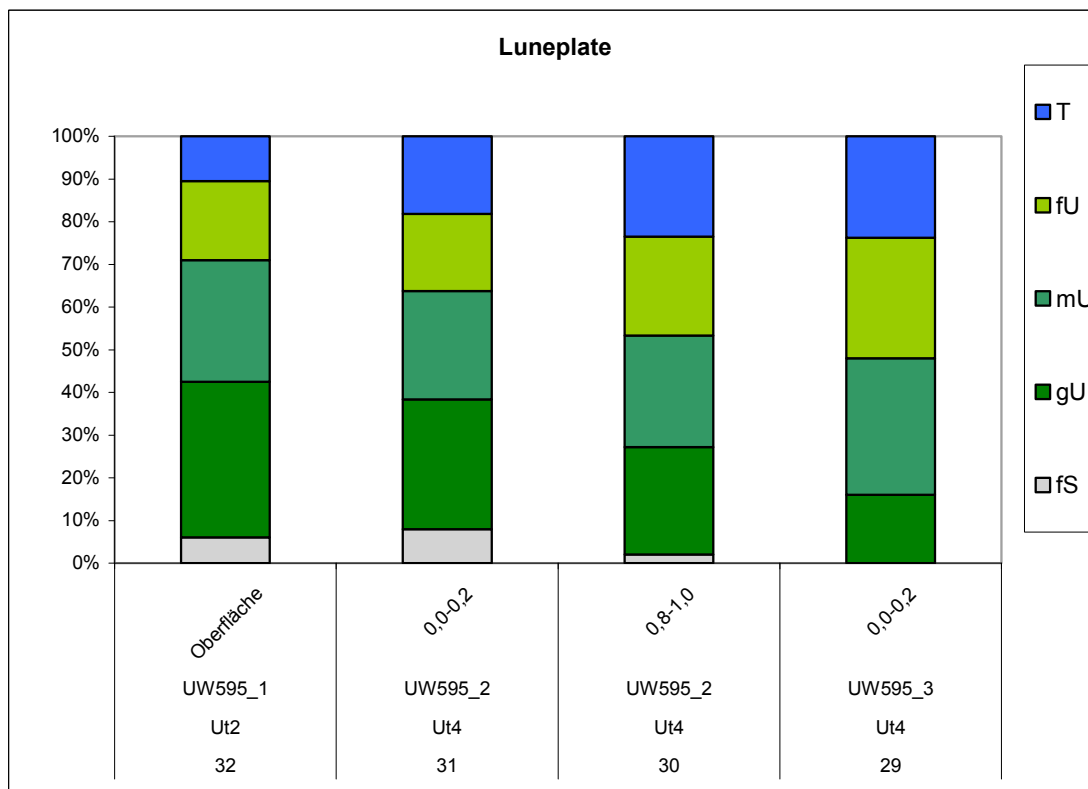
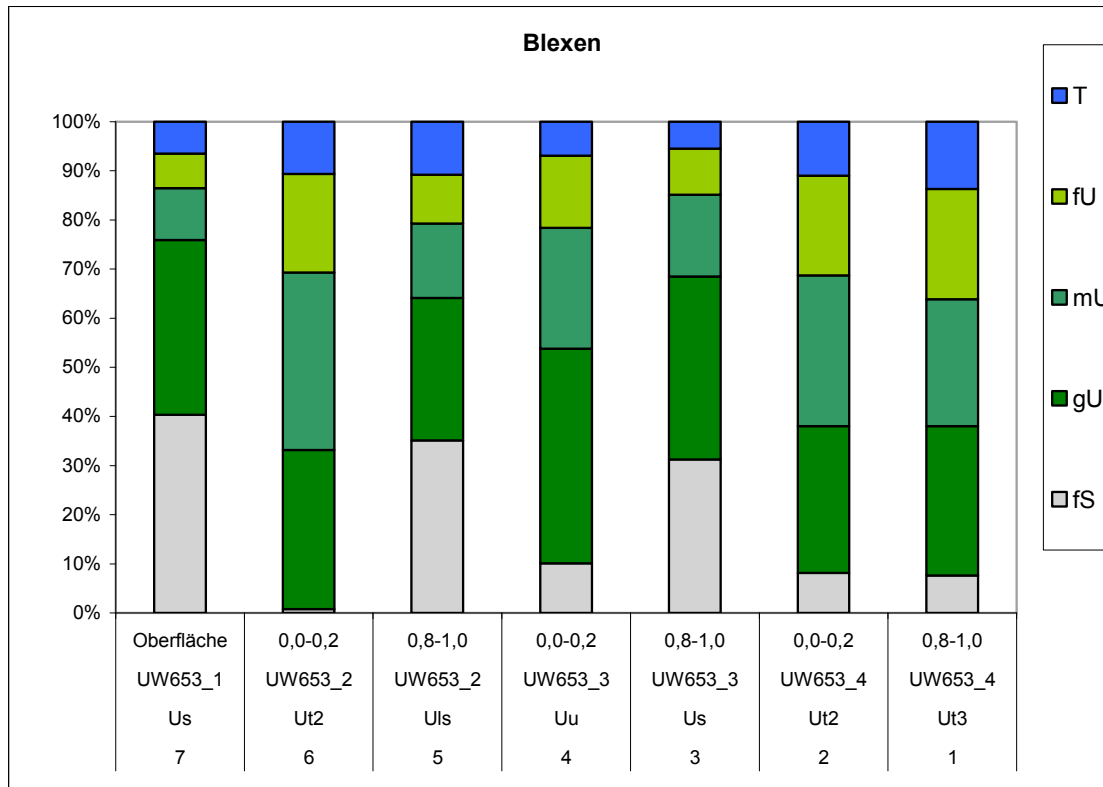
Ort	Entnahmetiefe [m]	Bodenart DIN 4022	Bodenarten- untergruppen AG Boden, 1994	Farbe	Dw	H	CaCO3	Lf [mS/ cm]	pH	T [°C]
Blexen	Watt, Oberfläche	t',S/U	Us	grau-schwarz			C5/C6	4.60	8	9.7
Blexen	Strandsimse 0,0-0,2	s'',t',U	Ut2	dunkelbraun	Wf4		C4	3.66	7.7	10
Blexen	Strandsimse 0,2-0,8			braun-grau			C3.3	7.00	7.4	8.8
Blexen	Strandsimse 0,8-1,0	t',s*,U	Uls	grau-schwarz			C5	6.70	7.4	9
Blexen	Schilf 0,0-0,2	t',s',U	Uu	braun	Wf4		C3.4	7.04	7.4	8.5
Blexen	Schilf 0,2-0,8			braun			C3.2	3.10	7.5	8.4
Blexen	Schilf 0,8-1,0	t',s*,U	Us	grau-braun			C4	4.96	7.6	8.7
Blexen	Grünland 0,0-0,2	s'',t',U	Ut2	dunkelbraun						
Blexen	Grünland 0,8-1,0	s'',t',U	Ut3	rotbraun	fossiles Schilf					
Luneplate	Watt, Oberfläche	s'',t',U	Ut2	braun-grau			C3.3	6.70	7.4	7
Luneplate	Schilf 0,0-0,2	s'',t,U	Ut4	braun-grau	Wg4	h1.2	C3.3	6.70	7.4	7.2
Luneplate	Schilf 0,8-1,0	s'',t,U	Ut4	grau-schwarz		h3-4		6.10	7.5	7.5
Luneplate	Grünland 0,0-0,2	t,U	Ut4	dunkelbraun	Wf2	h1-2	C0	2.20	7.2	6.8
Luneplate	Grünland 0,35-0,55			braun			C3.2	2.02	7.2	6.8
Luneplate	Grünland 0,8-1,0	s'',t,U	Ut3	grau-braun		h0	C3.3	2.00	7.3	6.6
Strohauser Plate N	Watt, Oberfläche	t,U	Ut3	grau-braun			C3.3	1.80	7.9	8.2
Strohauser Plate N	Schilf 0,0-0,2	s'',t',U	Ut2	grau-schwarz			C3.4	3.30	7.4	8.6
Strohauser Plate N	Schilf 0,2-0,8			anthrazit			C3.3	1.62	7.3	8
Strohauser Plate N	Schilf 0,8-1,0	s'',t,U	Ut3	anthrazit			C3.3	0.56	7	9.4
Strohauser Plate N	Grünland 0,0-0,2	s'',t',U	Ut2	dunkelbraun	Wf4		C3.4	0.70	7.8	7.7
Strohauser Plate N	Grünland 0,4-0,6	s'',t',U	Ut3	braun			C3.4	0.79	7.3	8.8
Strohauser Plate S	Watt, Oberfläche	s'',t,U	Ut3	grau-braun	keine		C4	1.11	7.9	6.7
Strohauser Plate S	Schilf 0,0-0,2	t',s,U	Ut2	grau-braun	Wf2	h1	C3.2	0.41	7.3	8.6
Strohauser Plate S	Schilf 0,2-0,8			grau-braun	Wf1	h1	C3.2	0.42	7.3	6.7
Strohauser Plate S	Schilf 0,8-1,0	s'',t,U	Ut3	anthrazit-braun	Wg2	h1	C3.2	0.35	7.3	7.3
Strohauser Plate S	Rohr-Glanzgras 0,0-0,2	t,s,U	Uls	braun	Wf3		C3.4	0.12	7.2	6.6
Strohauser Plate S	Rohr-Glanzgras 0,2-0,4	t',s,U	Uls	braun			C4	0.51	7.4	6.2
Harriersand N	Watt, Oberfläche	s'',t',U	Ut3	braun-grau			C3.3	1.24	7.7	9.5
Harriersand N	Rohrkolben 0,0-0,2	s'',t',U	Ut3	braun-grau	Wg3		C3.2	1.24	7.5	8.6
Harriersand N	Rohrkolben 0,2-0,6			grau-schwarz			C5		7.2	11
Harriersand N	Rohrkolben 1,0-1,2	s'',t',U	Ut3	grau-schwarz			C3.2	1.05	7.1	9.8
Harriersand N	Grünland 0,0-0,2	s'',t',U	Ut2	braun	Wf2-3	h1		1.81	7.6	9.7
Harriersand N	Grünland 0,4-0,6	t',u',S	Ss	hellbraun-grau						9.6
Harriersand S	Oberfläche	t',u'',S	Ss	hellbraun	gering		Muschel- schalen			
Harriersand S	0,0-0,2	t',u'',S	Ss	grau-braun	gering					
Harriersand S	0,6-0,8	t',u'',S	Ss	hellgrau	gering					
Harriersand S	0,0-0,2	t',s,U	Uls	braun	Wf2		C0	0.34	5.2	9.7
Harriersand S	0,6-0,8	S	Ss	braun						

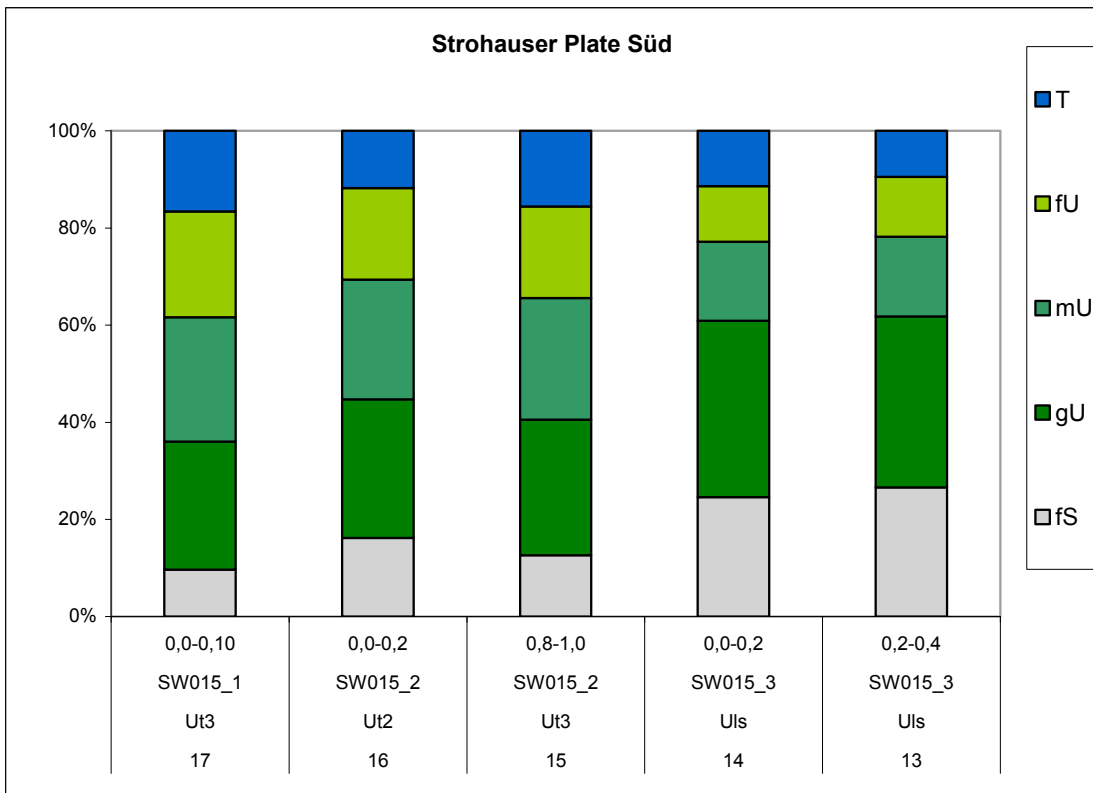
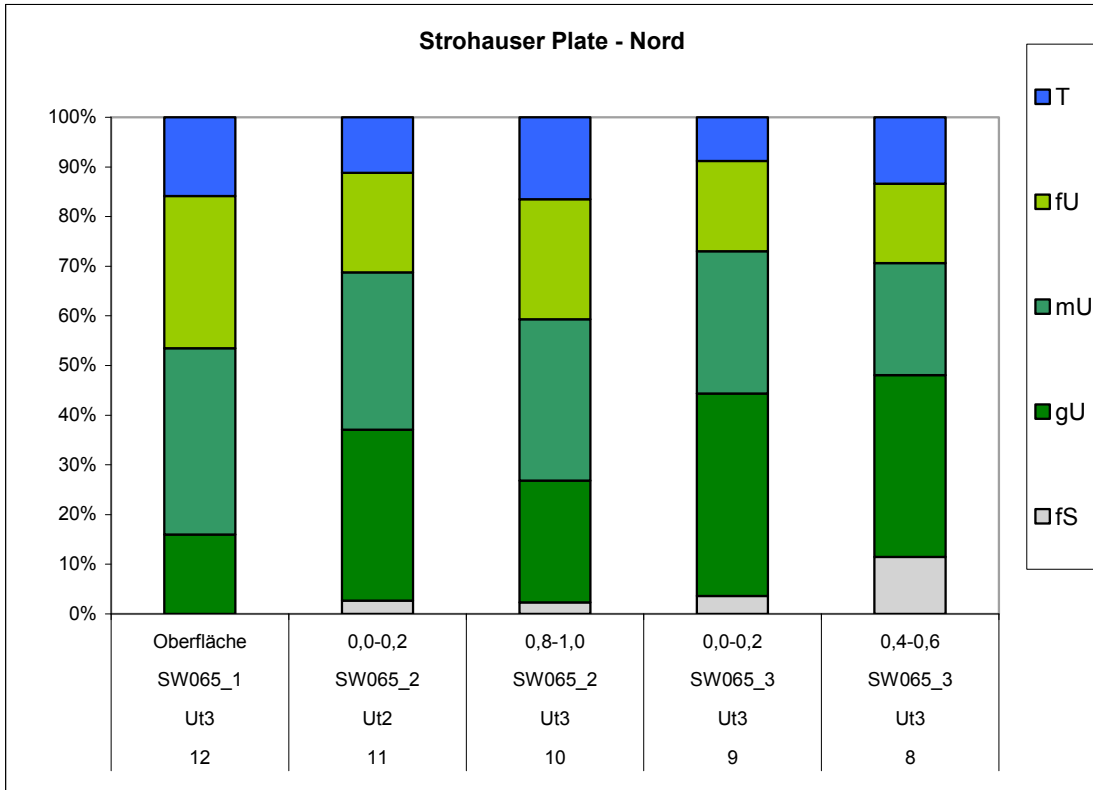
' ~ schwach

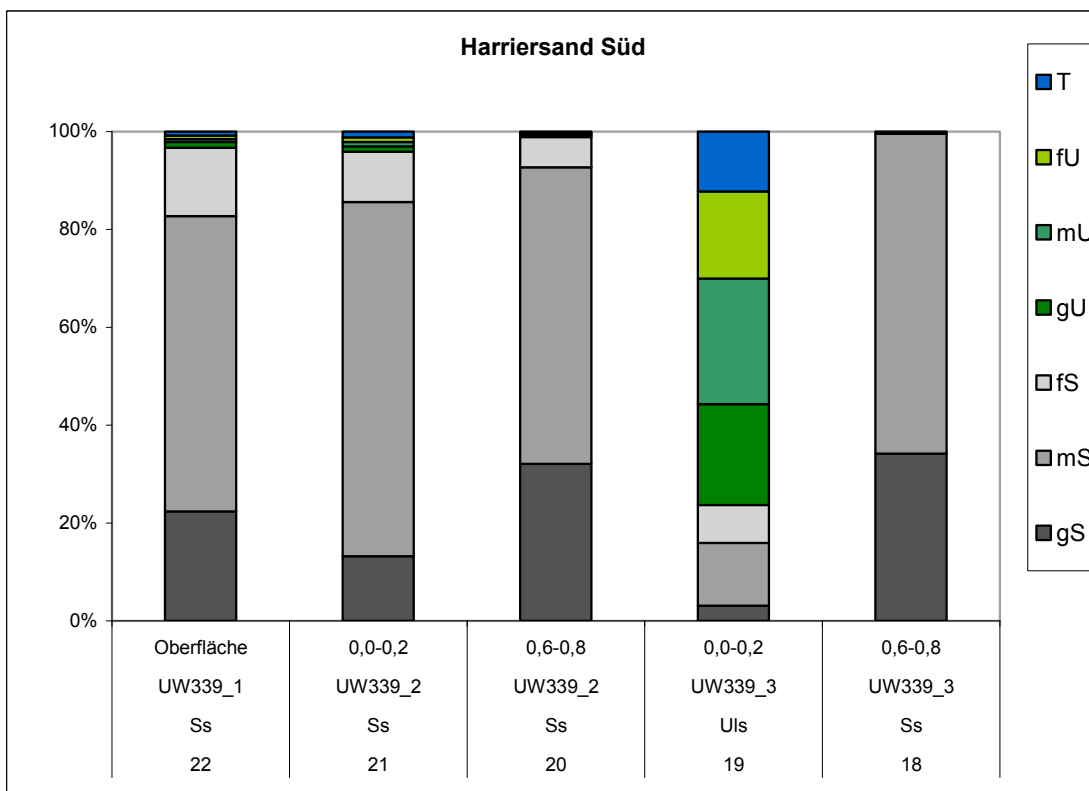
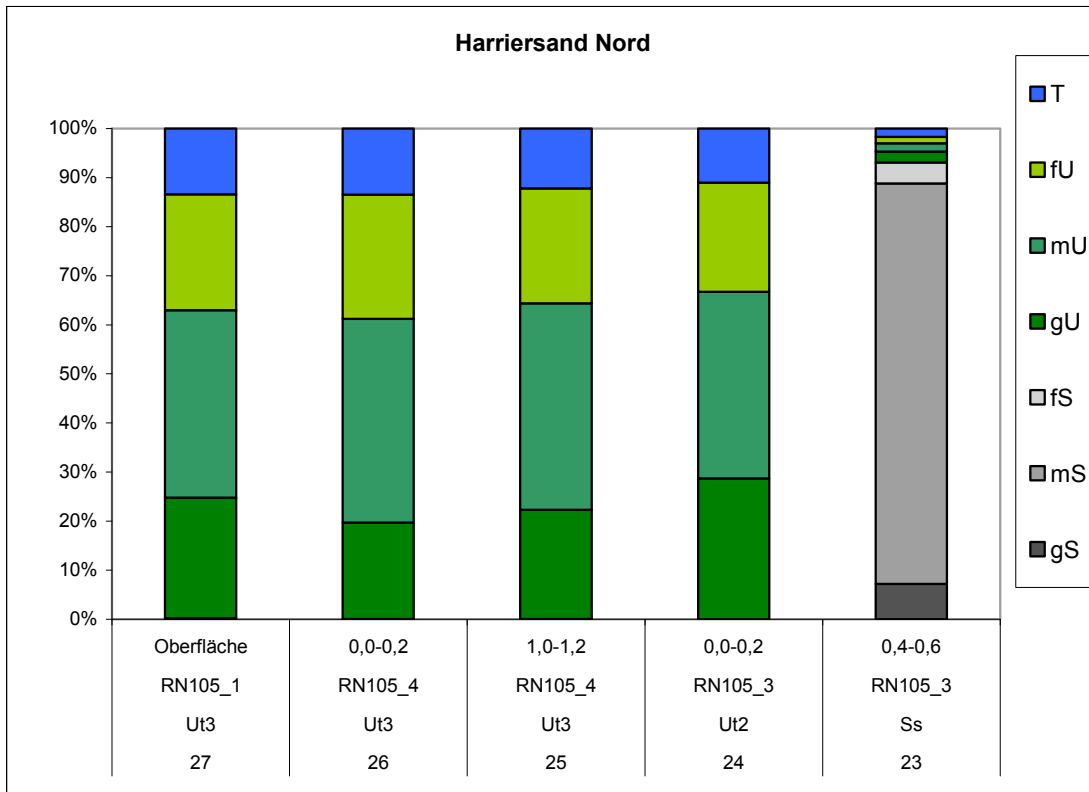
'' ~ sehr schwach

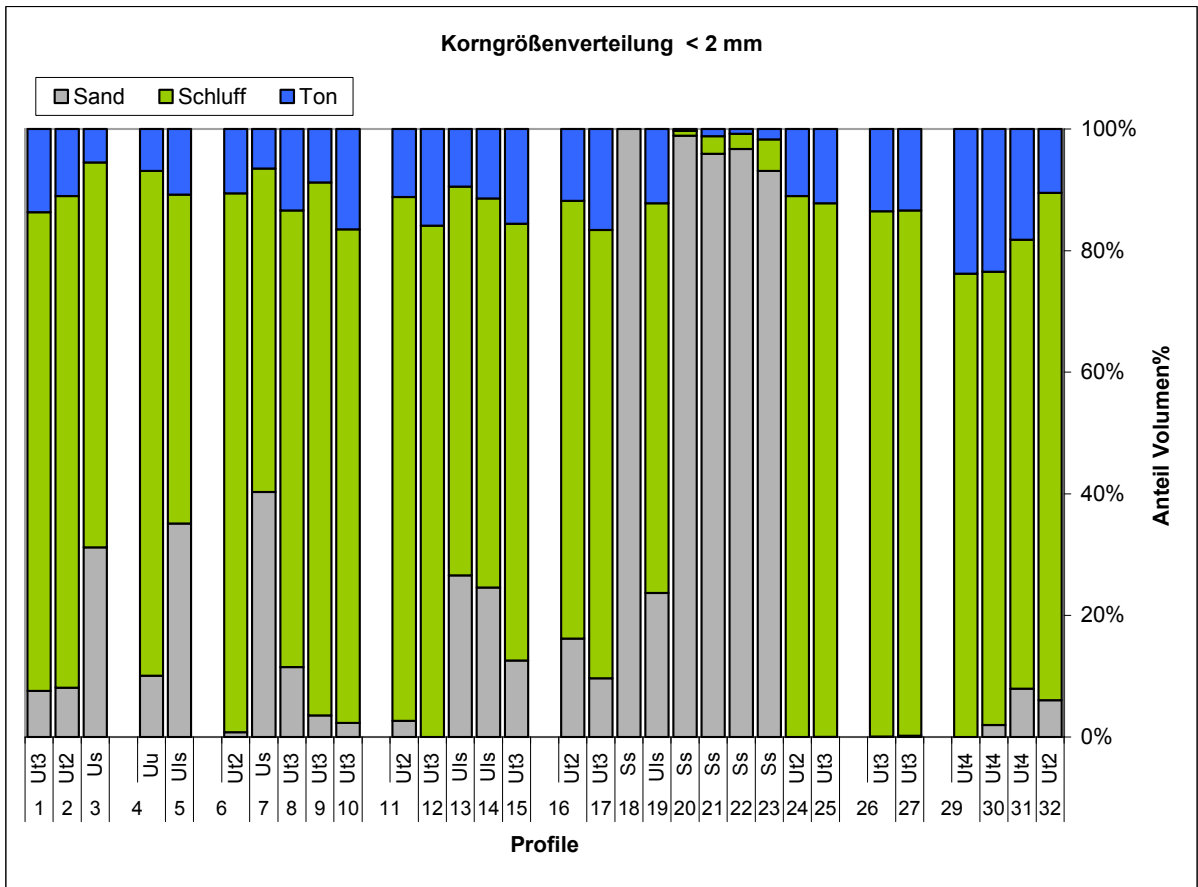
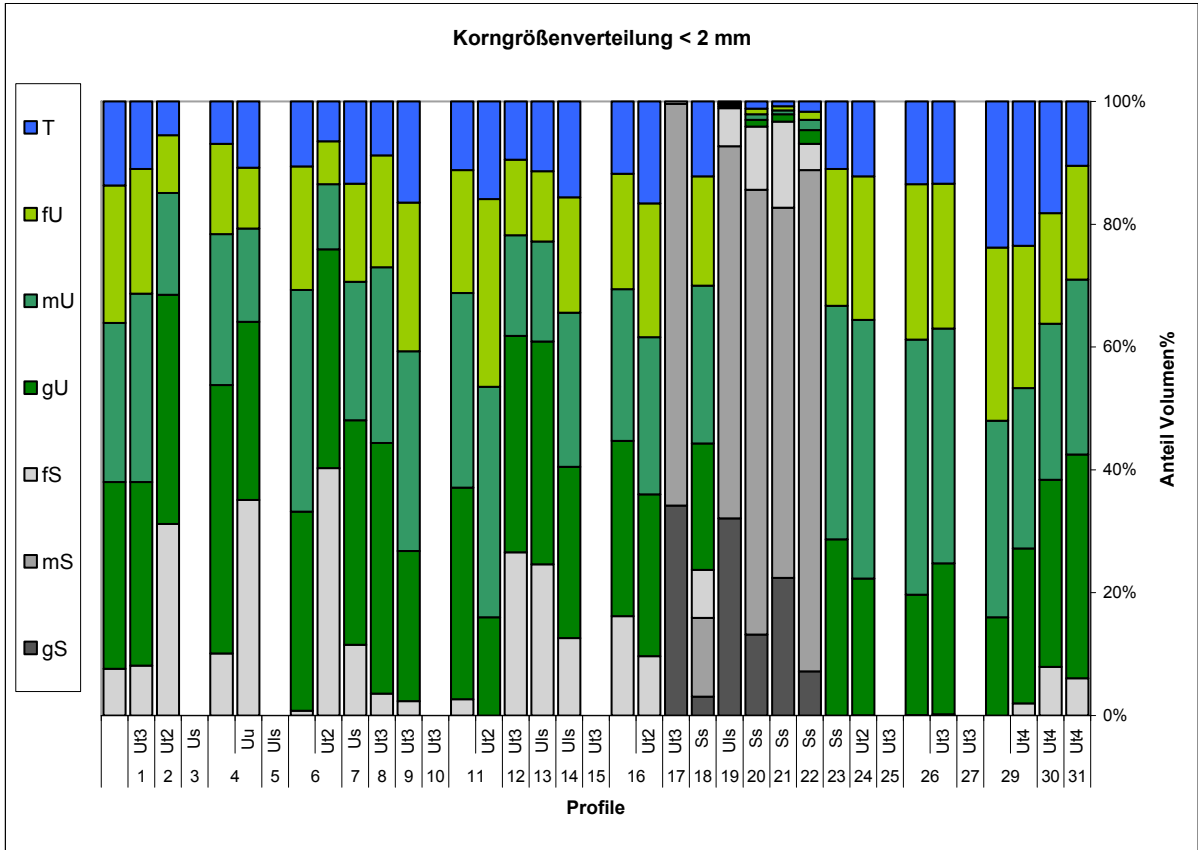
* ~ stark

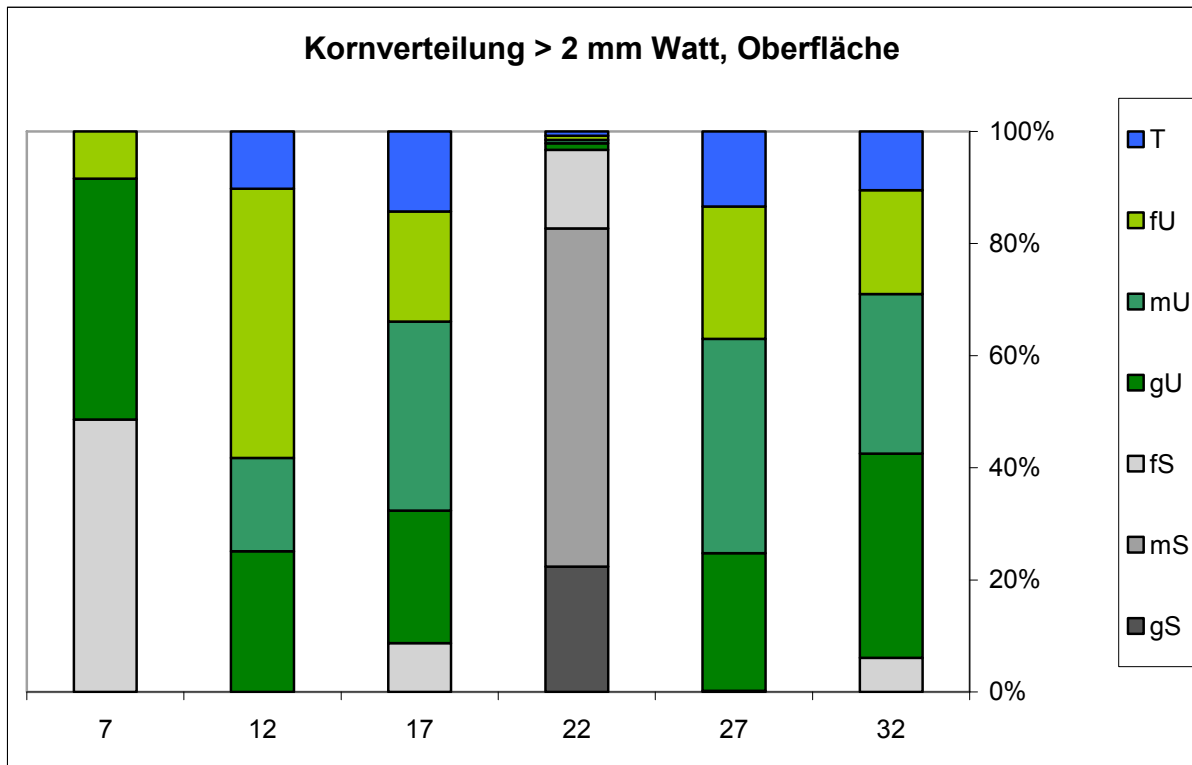
Anhang F: Entwicklung der Korngrößenverteilung getrennt für die verschiedenen Zonen (Watt, Röhrlicht, Grünland) und für einzelne Kornfraktionen



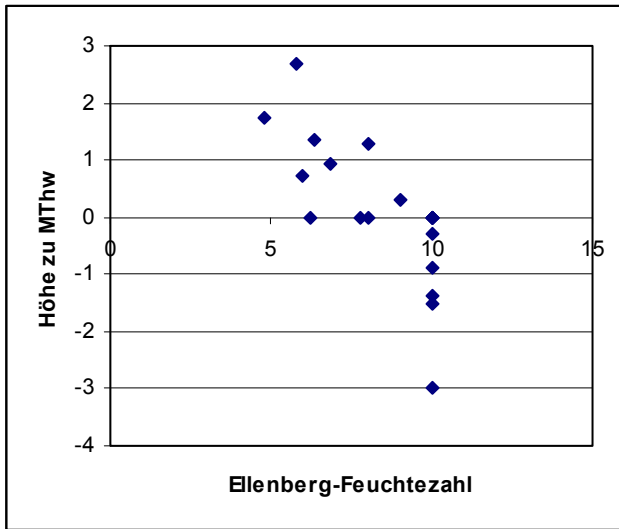




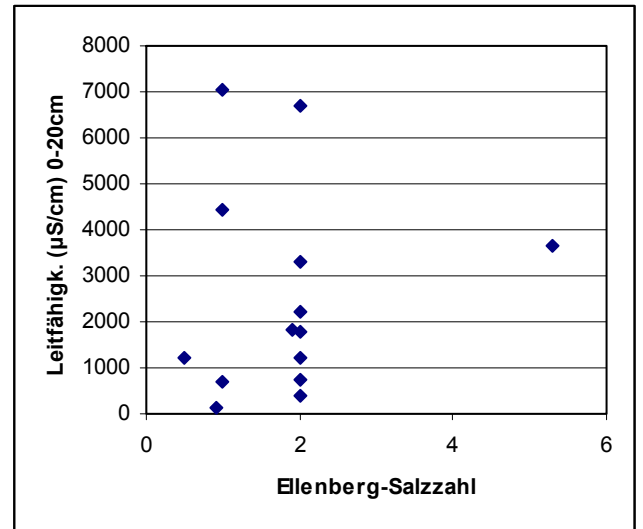




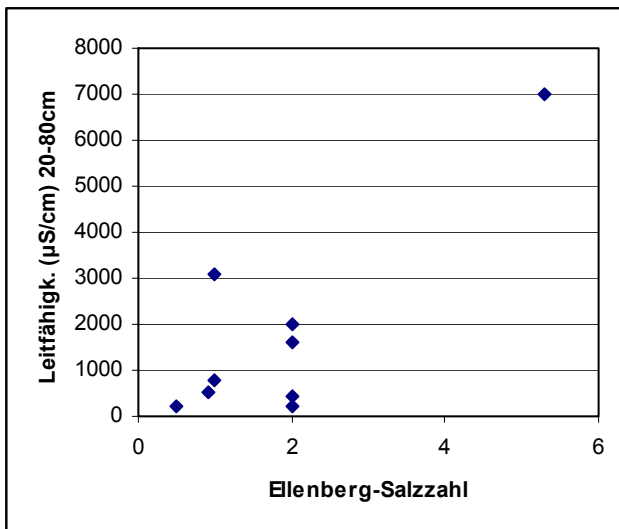
Anhang G: Scatterplots der Ellenberg-Zeigerwerte mit unterschiedlichen Standortparametern



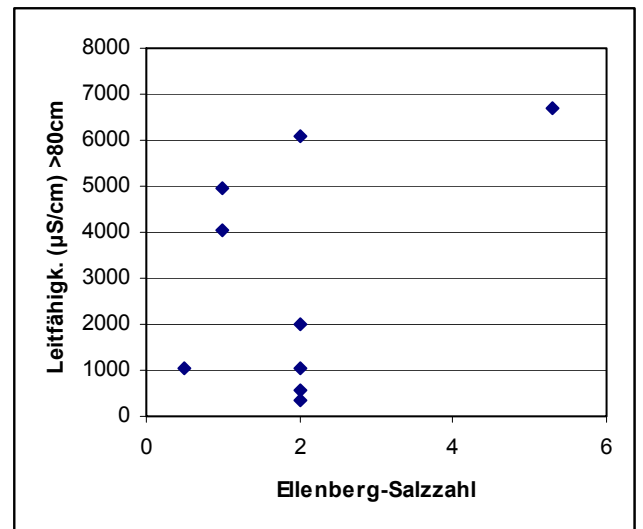
Ellenberg-Feuchtezahl und Höhe zu MThw (Spearman's Rho: $r = 0.610 / p < 0.01$)



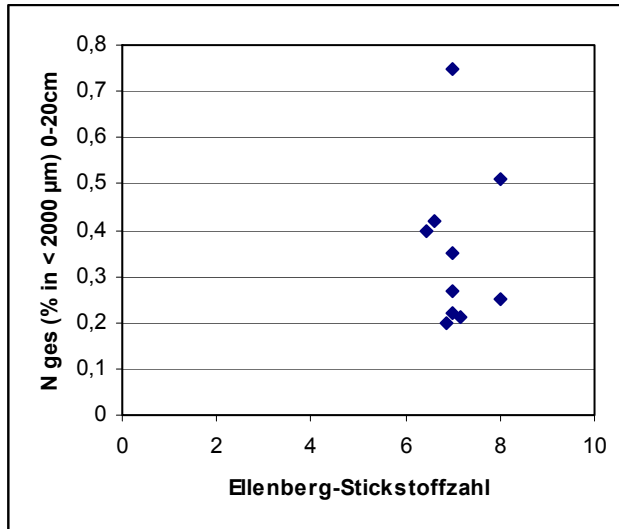
Ellenberg-Salzzahl und Leitfähigkeit in 0 - 20 cm Bodentiefe (Spearman's Rho: $r = 0.203 /$ nicht signifikant)



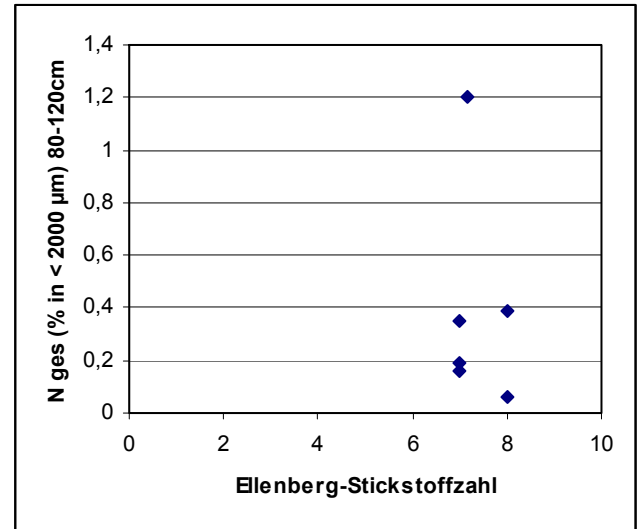
Ellenberg-Salzzahl und Leitfähigkeit in 20 - 80 cm Bodentiefe (Spearman's Rho: $r = 0.435 /$ nicht signifikant)



Ellenberg-Salzzahl und Leitfähigkeit in > 80 cm Bodentiefe (Spearman's Rho: $r = 0.166 /$ nicht signifikant)



Ellenberg-Stickstoffzahl und
Gesamtstickstoffgehalt in 0 - 20 cm Bodentiefe
(Spearman's Rho: $r = 0.058$ / nicht signifikant)



Ellenberg-Stickstoffzahl und
Gesamtstickstoffgehalt in 80 - 120 cm Bodentiefe
(Spearman's Rho: $r = 0.506$ / $p < 0.05$)

H-2: Bewertung der Schadstoffanalysen nach dem URE-Schema

Entnahmestelle	Bezeichnung	Bewertungsstufen URE					Blexen								Luneplate								Schweiburg Nord (Strohausen)				
		Stufe E (sehr gering belastet)	Stufe D (gering belastet)	Stufe C (mittlere Belastung)	Stufe B (hoch belastet)	Stufe A (sehr hoch belastet)	Watt		Strandsimse		Schilf		Grünland/Deich		Watt		Schilf		Kern				Watt		Schilf		Grünland
							0-10	0-20	80-100	0-20	80-100	0-20	80-100	0-10	0-20	0-40	40-66	66-100	100-150	150-200	0-10	0-20	80-100	0-20	40-60		
Entnahmetiefe	cm						0-10	0-20	80-100	0-20	80-100	0-20	80-100	0-10	0-20	0-40	40-66	66-100	100-150	150-200	0-10	0-20	80-100	0-20	40-60		
Trockenrückstand	Gew. %						67,20	23,60	63,00	53,40	69,60	72,60	34,00	47,50	46,30	68,40	73,20	69,40	61,30	52,90	34,30	39,40	35,90	64,50	73,30		
Fraktion <0,02 mm	% in Gesamtfrakt.						17,90	55,60	26,40	29,10	13,20	43,60	37,40	51,50	54,70	38,10	32,90	60,00	67,50	76,80	93,20	64,70	76,40	50,00	49,00		
TOC (<2000 µm-Fraktion)	Gew. % TS						1,10	12,00	1,80	3,40	0,73	3,30	22,00	2,30	2,80	3,30	2,50	2,60	1,70	2,20	4,20	3,80	3,90	4,60	1,60		
Fraktion <0,02 mm	% in Gesamtfrakt.						17,90	55,60	26,40	29,10	13,20	43,60	37,40	51,50	54,70	38,10	32,90	60,00	67,50	76,80	93,20	64,70	76,40	50,00	49,00		
Arsen	mg/ kg in < 20 µm	10	20	40	80	>80	19	23	24	28	25	27	99	14	15	16	24	15	15	16	20	19	20	14	12		
Blei	mg/ kg in < 20 µm	25	100	200	400	>400	85	71	89	80	102	123	180	60	58	107	266	79	63	73	74	79	90	94	48		
Cadmium	mg/ kg in < 20 µm	0,3	1,2	2,4	4,8	>4,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	2,9	0,6	0,8	1,2	2,5	1,0	0,5	0,3	0,6	0,8	1,0	1,3	0,4		
Chrom	mg/ kg in < 20 µm	80	100	200	400	>400	43	44	46	43	46	39	61	33	31	42	59	47	39	42	53	58	64	63	41		
Kupfer	mg/ kg in < 20 µm	20	60	120	240	>240	30	37	32	32	31	28	92	26	27	27	38	25	19	17	30	31	35	39	21		
Nickel	mg/ kg in < 20 µm	30	50	100	200	>200	28	33	33	32	34	33	50	24	23	29	35	36	33	35	32	34	37	34	26		
Quecksilber	mg/ kg in < 20 µm	0,2	0,8	1,6	3,2	>3,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	1,5	0,4	0,3	0,5	1,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	1,4	0,3		
Zink	mg/ kg in < 20 µm	100	200	400	800	>800	259	258	303	260	309	228	393	201	199	260	602	292	168	132	235	249	303	348	171		
KW (C10 bis C40)	mg/ kg normiert auf 20 µm	50	300	1000	3000	>3000	140	133	95	86	189	57	182	49	117	66	204	42	37	33	86	96	93	50	51		
Summe 16 PAK	mg/ kg normiert auf 20 µm	0,1	2	6	18	>18	2,1	8,3	2,4	2,1	1,8	1,6	5,9	1,4	1,5	1,9	4,0	4,0	0,2	0,2	1,0	1,3	1,4	2,2	0,6		
Summe 6 PAK	mg/ kg normiert auf 20 µm	0,5	1	3	9	>9	1,1	4,6	1,4	1,2	0,9	0,9	3,5	0,8	0,9	1,1	2,3	2,1	0,1	0,1	0,6	0,7	0,8	1,3	0,3		
Pentachlorbenzol	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	1	3	10	>10	1,4	0,4	0,9	0,9	1,9	0,6	1,6	0,5	0,5	0,7	0,8	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5		
Hexachlorbenzol	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	2	6	20	>20	1,4	0,4	0,9	0,9	1,9	0,6	4,8	0,5	0,5	0,7	2,9	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5		
Summe 7 PCB	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	20	60	200	>200	18	32	22	24	29	57	237	11	15	25	79	3	3	2	11	15	15	39	5		
a-HCH	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	0,4	1	3	>3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
g-HCH	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	0,2	0,6	2	>2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
p,p'-DDE	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	1	3	10	>10	1,4	2,3	0,9	1,9	1,9	0,6	11,2	0,5	1,1	0,7	7,3	0,4	0,4	0,3	0,6	1,1	0,9	1,6	0,5		
p,p'-DDD	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	3	10	30	>30	2,8	5,0	6,4	2,8	1,9	1,6	18,2	1,2	1,5	0,7	5,8	0,4	0,4	0,3	1,1	1,9	2,2	1,5	0,5		
p,p'-DDT	mg/ kg normiert auf 20 µm	0	1	3	10	>10	1,4	0,4	6,1	0,9	1,9	0,6	4,8	0,5	0,5	0,7	17,6	0,4	0,4	0,3	2,1	0,4	0,3	0,5	0,5		
Tributylzinn	µg OZK/ kg normiert auf 20 µm	0	20	60	200	>200	6,2	41,0	21,0	10,0	5,1	4,6	10,0	12,0	23,3	5,2	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	12,0	17,0	48,0	3,4	<1,0		

Entnahmestelle	Bezeichnung	Bewertungsstufen URE					Schweiburg Süd (Schmalenfleth)										Harrersand Nord (Wilhelmsplate)				Harrersand Süd, Kleiner Pater	
		Stufe E (sehr gering belastet)	Stufe D (gering belastet)	Stufe C (mittlere Belastung)	Stufe B (hoch belastet)	Stufe A (sehr hoch belastet)	Watt		Schilf			Rohr-Glanzgras		Kern				Watt		Rohrkolben	Grünland	Grünland
							0-10	0-20	80-100	0-20	20-40	0-50	50-100	100-150	150-200	0-10	0-20	100-120	0-20	0-20		
Entnahmetiefe	cm						0-10	0-20	80-100	0-20	20-40	0-50	50-100	100-150	150-200	0-10	0-20	100-120	0-20	0-20		
Trockenrückstand	Gew. %						36,00	56,20	57,80	74,40	76,10	64,60	56,90	51,90	51,20	30,40	24,80	34,30	64,10	76,20		
Fraktion <0,02 mm	% in Gesamtfrakt.						75,30	53,90	34,60	31,90	20,60	39,80	62,60	60,70	84,90	73,10	85,70	71,40	71,10	49,80		
TOC (<2000 µm-Fraktion)	Gew. % TS						3,30	2,60	2,30	2,40	1,90	3,30	3,80	3,10	2,20	3,30	5,10	4,30	4,50	5,20		
Fraktion <0,02 mm	% in Gesamtfrakt.						75,30	53,90	34,60	31,90	20,60	39,80	62,60	60,70	84,90	73,10	85,70	71,40	71,10	49,80		
Arsen	mg/kg in < 20 µm	10	20	40	80	>80	21	21	21	18	21	14	25	25	13	15	17	19	16	12		
Blei	mg/kg in < 20 µm	25	100	200	400	>400	79	87	83	77	98	82	129	126	36	66	77	94	113	35		
Cadmium	mg/kg in < 20 µm	0,3	1,2	2,4	4,8	>4,8	0,8	1,0	1,0	1,1	1,5	1,4	1,7	1,5	0,2	0,7	0,8	1,4	2,0	0,3		
Chrom	mg/kg in < 20 µm	80	100	200	400	>400	45	48	48	40	55	57	62	55	55	34	35	42	53	31		
Kupfer	mg/kg in < 20 µm	20	60	120	240	>240	32	31	30	29	36	31	32	30	15	28	29	35	42	26		
Nickel	mg/kg in < 20 µm	30	50	100	200	>200	30	31	29	26	33	40	36	34	37	25	26	32	33	22		
Quecksilber	mg/kg in < 20 µm	0,2	0,8	1,6	3,2	>3,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,9	0,1	0,3	0,3	0,6	1,4	0,4		
Zink	mg/kg in < 20 µm	100	200	400	800	>800	271	303	263	259	339	304	425	337	146	225	266	323	438	127		
KW (C10 bis C40)	mg/kg normiert auf 20 µm	50	300	1000	3000	>3000	86	111	72	78	121	224	192	41	29	79	106	154	281	50		
Summe 16 PAK	mg/kg normiert auf 20 µm	0,1	2	6	18	>18	1,1	2,4	1,9	1,6	2,5	2,2	3,4	1,6	0,2	1,1	1,1	1,7	3,1	0,9		
Summe 6 PAK	mg/kg normiert auf 20 µm	0,5	1	3	9	>9	0,6	1,3	1,1	0,8	1,3	1,2	2,1	1,0	0,1	0,6	0,6	1,0	1,8	0,5		
Pentachlorbenzol	mg/kg normiert auf 20 µm	0	1	3	10	>10	0,3	0,5	0,7	0,8	1,2	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,7	0,5		
Hexachlorbenzol	mg/kg normiert auf 20 µm	0	2	6	20	>20	0,3	0,5	0,7	0,8	1,2	0,6	0,4	0,4	0,3	2,5	0,3	0,4	1,0	0,5		
Summe 7 PCB	mg/kg normiert auf 20 µm	0	20	60	200	>200	10	13	23	21	27	35	44	9	2	12	12	24	45	15		
a-HCH	mg/kg normiert auf 20 µm	0	0,4	1	3	>3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
g-HCH	mg/kg normiert auf 20 µm	0	0,2	0,6	2	>2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
p,p'-DDE	mg/kg normiert auf 20 µm	0	1	3	10	>10	0,8	0,5	1,4	0,8	1,2	1,7	1,9	0,4	0,3	0,7	0,8	1,3	1,7	0,5		
p,p'-DDD	mg/kg normiert auf 20 µm	0	3	10	30	>30	1,0	0,5	2,2	0,8	1,2	1,4	10,7	1,6	0,3	1,0	1,0	2,0	1,7	0,5		
p,p'-DDT	mg/kg normiert auf 20 µm	0	1	3	10	>10	0,3	0,5	0,7	0,8	1,2	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	4,8	0,5		
Tributylzinn	µg OZK/kg normiert auf 20 µm	0	20	60	200	>200	13,0	8,8	20,0	4,5	8,4	5,0	<1,0	1,7	<1,0	12,0	19,0	43,0	5,2	<1,0		

H-3: Bewertung der Schadstoffanalysen nach URE an drei Dauermessstellen der Weser

Vergleich der DMS Farge, Nordenham und Bremerhaven Nordschleuse

Weser		Bewertung nach URE					
		Farge, km 26,13		Nordenham, km 56,8		Bhv-Nordschleuse, km 69,48	
		2008	2009	2008	2009	2008	2009
Anteil <20 µm	Gew.-%	63,0	71,9	34,3	50,4	30,3	35,5
<u>Schwermetalle</u>							
As	mg/kg	19,6	18,1	19,6	18,9	21,6	20,0
Cd	mg/kg	2,7	2,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Cr	mg/kg	67,9	57,3	68,8	64,2	72,4	69,0
Cu	mg/kg	57,3	50,3	34,1	29,7	32,9	30,9
Ni	mg/kg	51,8	45,3	42,4	38,4	39,7	39,8
Pb	mg/kg	118	110	78,1	78,2	76,7	79,4
Zn	mg/kg	606	553	312	271	306	284
Hg	mg/kg	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<u>Polychlorierte Biphenyle</u>							
Σ 7 PCB	µg/kg	30,9	23,6	13,4	13,1	17,9	13,7
<u>Hexachlorcyclohexane</u>							
a-HCH	µg/kg	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1
g-HCH	µg/kg	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1
<u>Chlorbenzole</u>							
Pentachlorbenzol	µg/kg	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3
Hexachlorbenzol	µg/kg	1,4	1,4	0,8	0,7	1,0	0,8
<u>DDT und analoge Verbindungen</u>							
p,p-DDE	µg/kg	2,6	1,9	0,8	0,8	1,1	1,0
p,p-DDD	µg/kg	2,4	1,4	1,7	1,5	2,0	1,5
p,p-DDT	µg/kg	1,5	0,9	1,2	0,5	0,9	0,4
<u>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe</u>							
Σ 6 PAK	mg/kg	2,5	1,2	0,9	0,9	1,1	n.b.
Σ 16 PAK	mg/kg	4,5	2,0	1,6	1,6	2,1	n.b.
<u>Kohlenwasserstoffe</u>	mg/kg	240	95,6	198,0	129,5	149,3	171,4
<u>Zinnorganische Verbindungen</u>							
TBT in <20µm	µg/kg	81,7	61,4	47,1	31,6	72,2	52,8

	nach URE Bewertung Stufe E (sehr gering belastet)
	nach URE Bewertung Stufe D (gering belastet)
	nach URE Bewertung Stufe C (mittlere Belastung)
	nach URE Bewertung Stufe B (hoch belastet)
	nach URE Bewertung Stufe A (sehr hoch belastet)



Anhang I: Ergebnisse der univariaten statistischen Analyse

I-1: Eingangsdaten für die univariate Auswertung (GLM)

	PhraAus	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	16PAK	6PAK	7PCB	P	N	pH	LFK
RN105_1	0	0.00	0.00	0.21	24.59	38.20	23.60	13.40	15	66	1	34	28	25	0	225	1.14	0.63	12.04	1642	0.48	7.70	1235
RN105_3	0	3.6	40.81	2.15	15.45	19.85	11.8	6.35	16	113	2	53	42	33	1	438	2.20	1.27	31.90	2600	0.42	7.60	1805
RN105_4	1	0	0	0.07	20.93	41.8	24.35	12.85	18	86	1	39	32	29	0	295	1.39	0.80	18.26	1984	0.58	7.20	1050
SW015_1	0	0.00	0.00	9.65	26.35	25.60	21.80	16.60	21	79	1	45	32	30	0	271	1.13	0.63	10.27	1328	0.42	7.86	1105
SW015_12	1	0	0	12.82	27.58	25.13	19.8	14.67	21	83	1	47	31	30	0	279	1.18	0.68	12.83	1477	0.50	7.58	755
SW015_2	1	0	0	14.4	28.2	24.9	18.8	13.7	21	85	1	48	31	30	0	283	2.13	1.20	17.65	2098	0.48	7.32	392
SW015_4	1	0	0	25.6	35.75	16.35	11.85	10.45	20	88	1	48	33	30	0	299	2.03	1.10	24.09	2849	0.78	7.30	313
SW065_1	1	0	0	0	16	37.5	30.6	15.9	20	74	1	53	30	32	0	235	1.01	0.59	10.90	1395	0.50	7.86	1800
SW065_2	1	0	0	2.5	29.45	32.1	22.1	13.85	20	85	1	61	33	36	0	276	1.34	0.76	14.76	1558	0.50	7.24	1092
SW065_3	1	0	0	7.54	38.72	25.55	17.1	11.1	13	71	1	52	30	30	1	260	0.70	0.39	10.83	890	0.28	7.55	743
UW339_12	1	22.57	64.43	10.17	0.87	0.6	0.6	0.77	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
UW339_2	1	22.65	66.5	8.25	0.7	0.6	0.55	0.75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
UW595_1	0	0.00	0.00	6.07	36.43	28.50	18.50	10.50	14	60	1	33	26	24	0	201	1.38	0.79	11.09	1650	0.45	7.40	6700
UW595_2	1	0	0	4.96	27.84	25.75	20.6	20.85	15	58	1	31	27	23	0	199	0.99	0.59	9.82	1206	0.33	7.45	6400
UW595_23	1	0	0	2.71	24.44	28.98	23.73	20.15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7.32	3804
UW595_3	0	0	0	0.46	21.04	32.2	26.85	19.45	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7.23	2073
UW653_1	0	0.00	0.00	40.30	35.60	10.60	7.00	6.50	19	85	1	43	30	28	0	259	2.11	1.03	18.04	2067	0.54	8.04	4600
UW653_2	1	0	0	20.65	40.5	20.6	12.05	6.2	2	27	91	1	45	32	33	0	0.64	0.33	8.28	1008	0.23	7.48	5033
UW653_3	0	0	0	7.87	30.14	28.3	21.35	12.35	63	152	2	50	60	42	1	311	1.45	0.83	56.84	1695	0.71	7.26	706
UW653_4	1	0	0	17.94	30.71	25.65	15	10.7	24	80	1	45	35	33	0	281	3.79	2.13	17.63	1530	0.67	5.79	5787

I-2: Ergebnis der backward selection

```
Call:
glm(formula = PhraAus ~ fs + gU + mU + T + Cd + Cr, family = binomial)
```

```
Deviance Residuals:
```

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-8.237e-05	-2.107e-08	2.107e-08	4.638e-06	6.014e-05

```
Coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)
(Intercept)	-10792.41	3586012.40	-0.003	0.998
fs	101.06	33850.49	0.003	0.998
gU	81.16	27141.12	0.003	0.998
mU	149.76	49933.49	0.003	0.998
T	165.32	54841.26	0.003	0.998
Cd	14.41	21579.11	0.001	0.999
Cr	23.78	7966.33	0.003	0.998

```
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
```

```
Null deviance: 2.1170e+01 on 15 degrees of freedom
Residual deviance: 1.7372e-08 on 9 degrees of freedom
(4 observations deleted due to missingness)
AIC: 14
```

```
Number of Fisher Scoring iterations: 25
```


IMPRESSUM

Herausgeber:
Bundesanstalt für Gewässerkunde
KLIWAS Koordination
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: 0261 / 1306-0
Fax: 0261 / 1306-5302
E-Mail: kliwas@bafg.de
Internet: <http://www.kliwas.de>

Redaktion: Andrea Mehling,
Bundesanstalt für Gewässerkunde

Layout: Christin Hantsche und Tobias Knapp,
Bundesamt für Seeschifffahrt
und Hydrographie - Rostock

Druck: Bundesanstalt für Gewässerkunde

DOI: 10.5675/Kliwas_4.2012_Vorlandflaechen