

# Vergleich der Röhrichbestände und Boden- verhältnisse an der Unterems 2009 und 2019

## Auswertung von Orthophotos und Bodendaten

Raimund Kesel

ecosurvey

Februar 2021

## Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung .....	3
Datengrundlagen .....	3
Auswertungsmethoden .....	4
GIS-Projekt .....	4
Vegetationsanalyse.....	5
Kritische Methodenanmerkung.....	7
Bodenanalyse .....	7
Kritische Methodenanmerkung.....	9
Geländehöhenanalyse .....	9
Sonstige Analysen .....	9
Lage der Transekte in der Bodenlandschaft .....	10
Ergebnisse.....	11
Zusammenfassende Auswertung.....	13
➤ Vegetationsentwicklung.....	13
➤ Uferentwicklung.....	14
➤ Geländehöhenentwicklung .....	15
➤ Bodenentwicklung .....	15
Zusammenfassung .....	19
Literatur .....	21
Anhang (S. 22-52) .....	22

## Aufgabenstellung

Vergleich der Röhrichtausdehnung und der Bodenverhältnisse alte gegen neue Aufnahme an 30 Transekten anhand von Luftbildern und Erstellung eines Berichts mit aussagekräftigen Abbildungen und Karten. Eine Geländebegehung fand nicht statt.

## Datengrundlagen

Vom Auftraggeber WSA (Wasser- und Schifffahrtsamt Ems-Nordsee) wurden nachfolgende Daten für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

Tab. 1: Liste der zur Verfügung gestellten Datengrundlagen

Nr.	GIS-Dateien (Vektor-Shapes):	
1	201908_Roehrichttransekten_pkt	Punkt-Shape mit den Vegetationsaufnahmepunkten von 2009 In ETRS89-UTM32
2	Schilfgrenze- Wasser	Linien-Shape mit der wasserseitigen Schilfgrenze 2019
3	Schilfgrenze-Land	Linien-Shape mit der landseitigen Schilfgrenze 2019
4	Schilfflächen_Ems.dxf	AutoCAD-Datei der Schilfgrenzen 2009
GIS-Orthophotos (Raster-Shapes):		
5	2019: Ortho-Kacheln (Digitale Orthophotos DOP, 6-Kanal RGB+NIR++)	TIF- mit TWF-Dateien für Georeferenz, 5cm-Bodenauflösung, erstellt im November 2019 (lt. Metadaten)
6	2012: Ortho-Kacheln (DOP, 3-Kanal RGB)	ECW- mit EWW-Dateien für Georeferenz, 20cm-Bodenauflösung, erstellt im Mai 2012 (lt. Metadaten)
Excel-Dateien:		
7	roehrichttransekt-posis.xlsx	Lage der Vegetationsaufnahmepunkte 2009, Koordinaten in Gauß-Krüger Zone 2 (GK2)
8	T01.xlsx bis T30.xlsx	Bodenprofilaufnahmen von Sept 2019 und Jan 2020 an den Aufnahmepunkten von 2009 (Auswahl) Koordinaten in GEO-ETRS89/WGS84
Text-Dateien:		
9	Transekt-1.txt bis Transekt-30.txt	Text-Dateien mit den Koordinaten der Transektpunkte in UTM32 und Höhenangaben für 2019, Höhen ermittelt aus DGM1 (Digitales Geländemodell - 1m Auflösung, Höhengenaugigkeit $\leq 30\text{cm}$ ), Bearbeitungsstand für Emsland = 2015 lt. LGLN

PDF-Dateien:		
10	F_17-1_Anhang_Tab_Abb_2012-12-19.pdf	Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Kapitel F 17.1 – Anhang: Abbildungen und Tabellen - schutzgutspezifisch
11	F17-5_Anhang-1_2012-12-19.pdf	Übersichtskarte zur Lage der Transekte (ohne Transekt 28 bis 30)
12	F17-5_Anhang-2_2012-12-19.pdf	Anhang 2: Höhenprofile zu den Transekten 1 bis 30, April 2010 (mit GK2-Koordinaten und NN-Höhen <sup>1</sup> )
13	F17-5_Anhang-3_2012-12-19.pdf	Geländeformblätter zu den Bodenprofilen September 2009 an den Transekten 1 bis 30 (mit GK2-Koordinaten, nach KA5)
14	F17-5_Roehrichterfassung_2012-12-19.pdf	Anlage zu Unterlage F5 Schutzgut Pflanzen: Vegetationsaufnahmen 2009 (mit GK2-Koordinaten und NN-Höhen, Deckungsschätzung nach LONDO-Skala, Methodenbeschreibung)

## Auswertungsmethoden

### GIS-Projekt

Das GIS-Projekt wurde mit QGIS 3.16.3 erstellt. Koordinaten-Bezugssystem (KBS) des Projekts: ETRS89 - UTM Zone 32N (EPSG 25832).

Es wurden folgende Datenquellen der Tab. 1 eingebunden:

- Nr. 5 und 6 als Kartengrundlagen (DOP's von 2012 und 2019).
- Nr. 1 als Grundlage für die Lage der Transekte.
- Nr. 2, 3 und 4 für die Lage der Röhrichtgrenzen 2009 und 2019, stellenweise ergänzt oder verändert.

Zusätzlich erstellt und umgesetzt in eine Shape-Datei:

- Excel-Datei mit Lage der Röhrichtgrenzen 2009 im Transekt aus Koordinaten-Angaben in der Datenquelle Nr. 14.
- Excel-Datei mit Lage der Bodenprofilaufnahmen 2019 aus Koordinaten-Angaben in der Datenquelle Nr. 8.
- Polygonshape mit Transektgitter für jedes der Transekte 1 bis 30, positioniert entlang der Transektpunkte (Datenquelle Nr. 1), bestehend aus einer Gitterreihe von 5 x 5 m großen Transektquadraten, beginnend beim Vegetationsaufnahme punkt 1 in Richtung Fluss und auf der Seite der Fließrichtung (Ausnahme T21, Größe und Orientierung der Vegetationsaufnahmen und des Gitters aus Datenquelle Nr. 14).

<sup>1</sup> Lage- und Höheneinmessung mittels DGPS (lt. Datenquelle Nr. 14), ohne Angabe von verwendetem Gerät und Genauigkeiten; typische Genauigkeiten Lage 0.3 bis 2.5 m, Höhe 0.2 bis 5 m, bei Verwendung geodätischer L1/L2-Geräte 1 bis 10 mm pro km Entfernung zur Referenzanlage.

## Vegetationsanalyse

Für den Vergleich der Vegetationszustände 2009 bzw. 2012<sup>2</sup> und 2019 anhand der Digitalen Orthophotos (DOP) wurden entsprechend der verfügbaren Bildkanäle zwei verschiedene Vegetationsindizes ausgewählt, mit dem neue Rasterbilder der jeweiligen DOP für die 30 Transekte berechnet wurden als ersten Schritt.

Für die 3-Kanal Rot+Grün+Blau-DOP von 2012 wurde der VARI-Index (Visible Atmospherically Resistant Index nach Gitelson et al. 2002b), kurz – VARI – angewendet:

$$VARI = \frac{(Grün - Rot)}{(Grün + Rot - Blau)} \times 100$$

Der VARI zeigt eine minimale Sensitivität gegenüber atmosphärischen Effekten und erlaubt damit eine Bestimmung der Vegetationsfraktion mit einem Fehler <10% (Gitelson et al. 2020a).

Für die 6-Kanal Rot+Grün+Blau+NahesInfraRot+-DOP von 2019 wurde der EV-Index (Enhanced Vegetation Index) – kurz EVI – angewendet:

$$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - Rot)}{(NIR + 6 \times Rot - 7.5 \times Blau + 1)} \times 100$$

Der Enhanced Vegetation Index (EVI) weist eine verbesserte Sensitivität gegenüber Unterschieden in der Pflanzendecke in Regionen mit hoher Biomasse auf und verbessert die Vegetationsbeobachtung durch Berücksichtigung des Blattflächenindex (LAI), der Vegetationsstruktur und der Pflanzenphänologie sowie durch die Entkopplung des Vegetationssignals vom Bodensignal und der Reduktion der atmosphärischen Effekte (Huete et al. 1994, 2002; [https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote\\_sensing\\_methods:enhanced\\_vegetation\\_index](https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:enhanced_vegetation_index)).

Mittels des Rasterrechner-Tools wurden im GIS aus den DOP's von 2012 und 2019 die VARI- und EVI-Raster-Karten erstellt. Die errechneten Index-Pixelwerte wurden für die VARI- und EVI-Rasterkarten auf den Grünkanal und die in Abb. 1 gezeigte jeweilige Farbskala eingestellt. Die neuen Rasterbilder haben die gleiche Auflösung wie die Ausgangsraster: 20cm beim VARI-Raster, 5cm beim EVI-Raster. Aufgrund der unterschiedlichen Jahreszeiten der Befliegungen, für 2012 im Mai, für 2019 im September, steckt ein Jahreszeiteffekt in den Vegetationsindices, der ohne Geländekalibrierung nicht herausgerechnet werden kann.

Als zweiter Schritt wurden für die 30 Transekte die Mittelwerte für die VARI- und EVI-Rasterpixelwerte innerhalb des jeweiligen Transektgitters ermittelt. Dafür wurde das Rasteranalyse-Zonenstatistik-Tool von QGIS genutzt, welches jeweils den Mittelwert der VARI- und EVI-Rasterpixelwerte der unter dem jeweiligen Rastergitter liegenden VARI- und EVI-DOPs für jedes der mit spezifischer Anzahl vorliegenden 5x5m-Raster eines Transekts berechnet. Dieser Mittelwert ist unabhängig von der Farbgebung der DOPs. Aufgrund der unterschiedlichen Auflösung der 2012er und 2019er DOP's errechnet sich der Mittelwert für 2012 aus im Mittel  $n = 25 \times 25 = 625$  Pixelwerten und für 2019 aus  $n = 100 \times 100 = 10.000$  Pixelwerten. Durch die Schräglage der Transekte

---

<sup>2</sup> Die DOP für den Zustand in 2009 wurden lt. Metadaten im Mai 2012 erstellt.

können sich leichte Abweichungen von n ergeben. Auf einigen DOPs von 2012 ist ein dunkelgrüner Schattenwurf an westlichen Röhrichtgrenzen vorhanden – die Befliegung fand offensichtlich in den Morgenstunden statt –, der aus dem jeweiligen Rastergitter individuell herausgerechnet wurde.

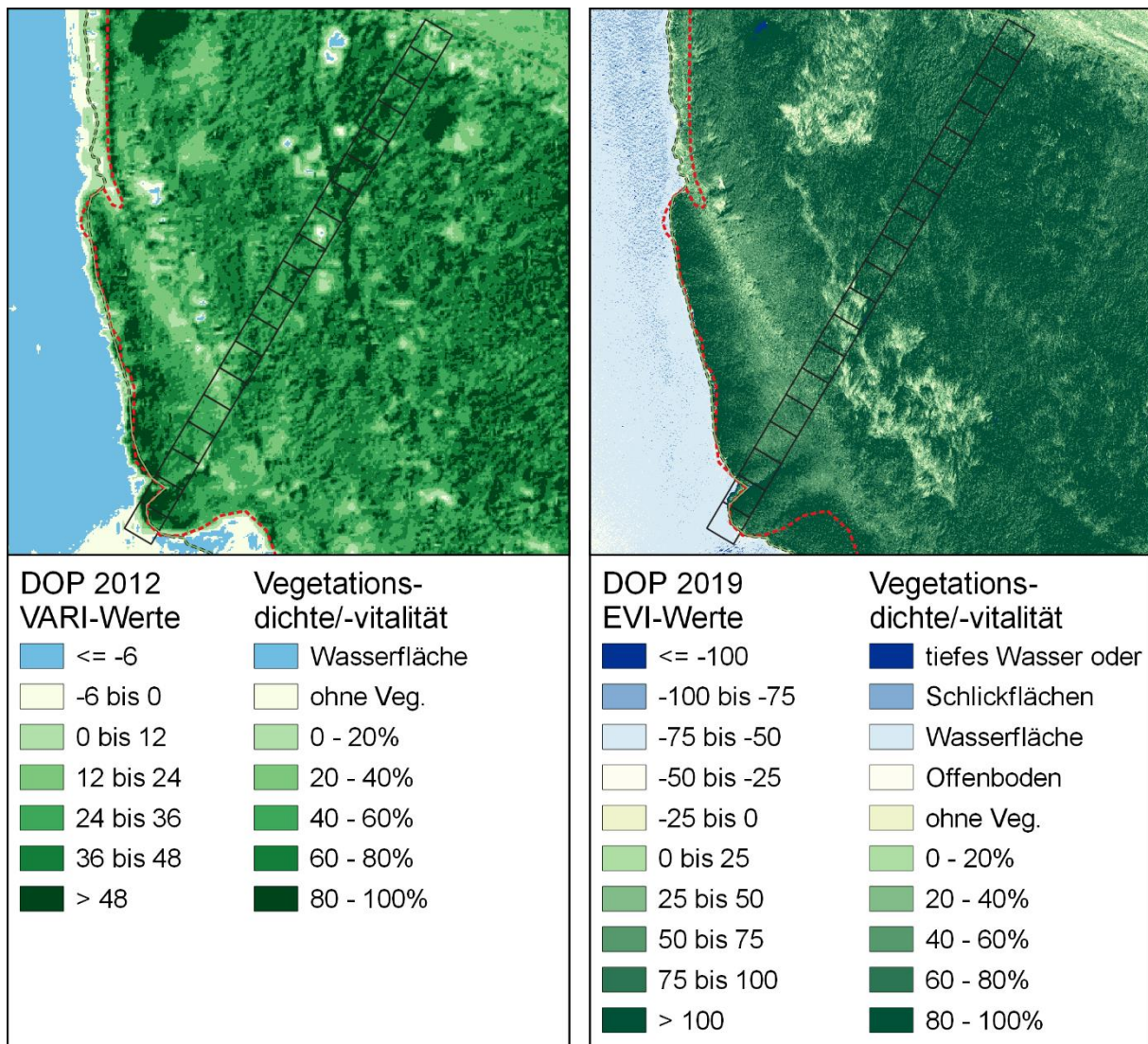


Abb. 1: Kartenbeispiele und Legenden zu den neu berechneten Vegetationsindex-Rasterbildern mit dem EVI (links) und dem VARI (rechts).

Die Transektgitter sind mit der gleichen Farbskala kodiert wie die VARI-Vegetationsdichte/-vitalitäts-Skala. Die vermeintlich ins tiefere Wasser gehenden Skalenwerte der EVI-Skala wurden allerdings auf die Wasserflächen-Kodierung der VARI-Skala gesetzt, um zu vermeiden, einen auf dem Land eigentlich nicht vorhandenen Wassertiefenaspekt vorzuspiegeln. Dies liegt daran, dass weitgehend vegetationsfreie und Offenboden-Bereiche wie auch abgestorbene Vegetation in der originalen Farbgebung mit der der trocken liegenden Flusswattflächen wie auch der schlickführenden Wasserflächen der Ems übereinstimmen. Die Befliegung 2019 fand bei Niedrigwasser statt, sodass die Flusswatten offenlagen. Diese unterscheiden sich in ihrer Färbung nicht wesentlich von den Wasserflächen. Abgetrocknete Wattflächen hingegen scheinen dunkler zu werden als die noch feuchten oder auch das schlickreiche Emswasser und würden so tieferes Wasser vorspiegeln. Ausnahmen davon sind die

Transekte 13 und 23, die hinter dem Uferröhrichtgürtel verschlickte und vegetationsarme bis -freie Flächen aufweisen und dort dunkelblau kodiert sind.

Im dritten Schritt wurden dann die VARI- und EVI-Mittelwerte der Transektquadrate in einer Excel-Liniengrafik zusammen mit den Positionen der Vegetationsaufnahmen und Bodenprofile auf der 2009er Linie dargestellt.













### Kritische Methodenanmerkung

Die Analyse der Vegetationsentwicklung würde präziser ausfallen, wenn für beide Vergleichsjahre Mehrkanal-Orthophotos mit dem EVI (Berücksichtigung des NIR-Kanals) zur Verfügung stehen. Ebenso ist kritisch anzumerken, dass für 2009 das Orthophoto von 2012 zur Verfügung stand, also der Vegetationszustand 3 Jahre später. Damit war eine Kopplung der Vegetationsaufnahmen von 2009 mit den Ergebnissen der VARI-Werte von 2012 nicht sinnvoll.

### Bodenanalyse

Für den Bodenvergleich wurden die Datenquellen Nr. 13 für 2009 (PDF) und Nr. 8 für 2019/20 (XLSX) herangezogen. Beide Bodenaufnahmen wurden nach der Kartieranleitung 5 (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) erstellt und sind damit vergleichbar. Als erster Schritt wurden die Bodenprofilaten (Horizontgrenzen, Horizontsymbole, Bodenart) aus den jeweiligen Geländeformblättern mit etwas Zeitaufwand in eine Excel-Tabelle zusammengeführt.

Tab. 2: Zusammenstellung der Kürzel und Farben für die vorkommenden Bodenhorizonte.

Kürzel	Erläuterung	Farbe
L	Auflage (Laub, Streu etc.)	
Ah	humoser A-Horizont (Oberboden)	
Bv	verwitteter Braunerde-Horizont (Unterboden)	
Ah-Go/Go-Ah	Übergangshorizont Ah nach Go	
Go	Oxidationshorizont der Gleye, Grundwasserschwankungsbereich	
Go-Gr/Gor	Übergangshorizont Go nach Gr	
Gr	Reduktionshorizont der Gleye, ständig im Grundwasser	
Fo	Oxidationshorizont im Wattboden	
Fr	Reduktionshorizont im Wattboden	
R	Mischhorizont bei Tiefumbruchböden	
Ai	Mineralischer Oberboden mit initialer Akkumulation org. Substanz	
IC	lockerer mineralischer Unterboden (Ausgangsmaterial)	
G	Gleyhorizont, grundwasserbeeinflusst	

Im zweiten Schritt wurden dann anhand der Bodenart die mittleren Gehalte an den drei Hauptbodenfraktionen Sand, Schluff und Ton für das Bodenprofil (100cm Tiefe) berechnet. Der mittlere Gehalt wurde für jede Bodenfraktion (BF) mit folgender Formel berechnet:

$$m_{\text{Gesamtmenge}}_{BF} [\%] = \frac{\sum_h^{BA=1} (\text{Horizontdicke} \times m_{G_{BF}})}{100}$$

BF = Bodenfraktion; BA = Bodenart für Horizont h;  $m_{G_{BF}}$  = mittlerer Gehalt der Bodenfraktion in der jeweiligen Bodenart

Die mittleren Gehalte der drei Bodenfraktionen sind in Tab. 4 zusammengestellt.

Tab. 3: Zusammenstellung der Farbcodes für die vorkommenden Bodenarten.

Farbe	Bodenart	Bodentyp
	S, Ss	Sand (S)
	St2, Su2, Sl3	
	Su3, Su4, Su	
	Slu, Sl4, St3, Sl	Lehm (L)
	Lt2, Ls2, Ls3, Ls4, Ls	
	Lts, Ts3, Ts4, Lt, Ts	
	Us, Uu	Schluff (U)
	Ut2, Ut3, Uls, Ul	
	Ut4, Lu	
	Tu3, Tu4, Lt3, Tu	Ton (T)
	Tt, Tu2, Tl, Ts2	

Tab. 4: Liste der Bodenarten und deren mittleren %-Gehalte an Ton, Schluff und Sand.

BG	Bezeichnung	Symbol	Bodenarten-Untergruppe	Symbol	Ton	Schluff	Sand
1	Sand	S	Sand	S	2.5	5	92.5
			reiner Sand	Ss	2.5	5	92.5
			schluffiger Sand	Su	3.5	31.5	65
			schwach schluffiger Sand	Su2	2.5	17.5	80
2	schwach lehmiger Sand	l'S	mittel schluffiger Sand	Su3	4	32.5	63.5
			stark schluffiger Sand	Su4	4	45	51
			lehmiger Sand	Sl	11	28	61
			schwach lehmiger Sand	Sl2	6.5	17.5	76
			mittel lehmiger Sand	Sl3	10	25	65
			schwach toniger Sand	St2	11	5	84
3	stark lehmiger Sand	lS	schluffig-lehmiger Sand	Slu	12.5	45	42.5
			stark lehmiger Sand	Sl4	14.5	25	60.5
			mittel toniger Sand	St3	21	7	72
4	sandiger/schluffiger Lehm	sl/uL	sandiger Lehm mit Sandbändern	LsS	11.5	19.5	69
			sandiger Lehm	Ls	21	34	45
			schwach sandiger Lehm	Ls2	21	45	34
			mittel sandiger Lehm	Ls3	21	35	44
			stark sandiger Lehm	Ls4	21	22.5	56.5
			stark sandiger Lehm	Ts4	30	7.5	62.5
			reiner Schluff	Uu	4	90	6
			sandiger Schluff	Us	4	65	31
			lehmiger Schluff	Ul	12.5	57.5	30
			sandig-lehmiger Schluff	Uls	12.5	57.5	30
			schwach toniger Schluff	Ut2	10	78	12
			mittel toniger Schluff	Ut3	14	75	11
			stark toniger Schluff	Ut4	20	70	10
schluffiger Lehm	Lu	23.5	57.5	19			
5	toniger Lehm bis Ton	tl/T	toniger Lehm	Lt	35	34	31
			schwach toniger Lehm	Lt2	40	40	20
			mittel toniger Lehm	Lt3	40	40	20
			sandig-toniger Lehm	Lts	35	22.5	42.5
			sandiger Ton	Ts	47.5	7.5	45
			sandiger Ton + Sandbänder	TsS	25	6	69
			mittel sandiger Lehm	Ts3	40	7.5	52.5
			schwach sandiger Ton	Ts2	40	7.5	52.5
			lehmiger Ton	Tl	55	22.5	22.5
			schluffiger Ton	Tu	41	50	9
			schwach schluffiger Ton	Tu2	30	65	5
			mittel schluffiger Ton	Tu3	30	65	5
			stark schluffiger Ton	Tu4	30	65	5
			reiner Ton	Tt	80	10	10

farblich hinterlegte Bodenart = zusätzlich in den Bodenprofilen von 2009 vorhandene Symbole, die in der originalen Liste der KA5 nicht vorhanden sind. Berechnung der Gehalte als Mittelwert der Gehalte der Bodenarten mit gleichem Kürzelbeginn.

Quelle: Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005 (KA5).



Im dritten Schritt wurden dann drei Excel-Grafiken erstellt – Bodenprofil mit den Horizontsymbolen, Bodenprofil mit den Bodenarten der Horizonte, Ton, Schluff und Sandgehalte der Bodenprofile – und jeweils die beiden Vergleichsjahre gegenübergestellt. Die Farbgebung der Horizonte folgt Tab. 2, die der Bodenarten Tab. 3.

### **Kritische Methodenanmerkung**

Für die Analyse der Bodenentwicklung standen für 2019/20 nur eine Auswahl von Bodenformblättern sowohl unterschiedlicher Anzahl pro Transekt und von unterschiedlichen Positionen im Transekt zur Verfügung. Sowohl für die Bodenauswertung als auch für die Analyse des Zusammenhangs der Vegetationsentwicklung mit der des Bodens wäre die Einbeziehung aller Bodenprofile sinnvoll gewesen.

### **Geländehöhenanalyse**

Die Geländehöhen wurden 2009 im Gelände mittels DGPS im Normal-Null-Höhen-system gemessen, also vermutlich im damals gültigen DHHN92-Bezugssystem, die Höhen für 2019 wurden dem Digitalen Geländemodell DGM1, vermutlicher Stand 2015 und vermutlich im derzeit gültigen DHHN2016-Bezugssystem entnommen. Aufgrund dieser Unterschiede im Bezugssystem und den angegebenen Standardfehlern für eine DGPS-Messung (bestenfalls 20 cm) und ein Abgreifen aus dem DGM1 ( $\leq 30$  cm) muss ein Höhenunterschied von bis zu 20 cm als innerhalb des Fehlerbereichs liegender und damit als nicht sicherer Höhenunterschied angesehen werden. Für das Abgreifen aus dem DGM wäre außerdem die mittlere Höhe aus einer größeren Fläche wie z.B. 1 m<sup>2</sup> sinnvoll.

### **Sonstige Analysen**

Alle Grafiken und die Statistik in Abb. 6 wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2019 berechnet und erstellt.

Die Glättungskurven in Abb. 4, Abb. 8 und Abb. 9 wurden mit dem Repeated LOESS Smoothing Tool des Programms BRODGAR 2.7.5 berechnet. LOESS = Locally Weighted Scatterplot Smoothing. Der smoothing-(Glättungs-)Faktor  $\alpha$  ist jeweils angegeben.

## Lage der Transekte in der Bodenlandschaft

Die Lage der Transekte ist in der Übersichtskarte Abb. 2 dargestellt. Für den Außen-deichsbereich der Unterems, in dem die Transekte liegen, sind in der BK50 (Stand 2017) folgende Bodenarten angegeben: Die Transekte T01 bis T19 liegen heute in der sehr flachen Salzhalmarsch und vegetationskundlich in der unteren Salzwiese, die Transekte T20 bis T27 in der Mittleren Kalkmarsch-Rohmarsch / in der oberen Salzwiese und der Brackwasserröhrichtzone, die T28 bis T30 in der Salzhalmarsch übergehend ins Salzwatt / in der Queller- und Schlickgraszone.

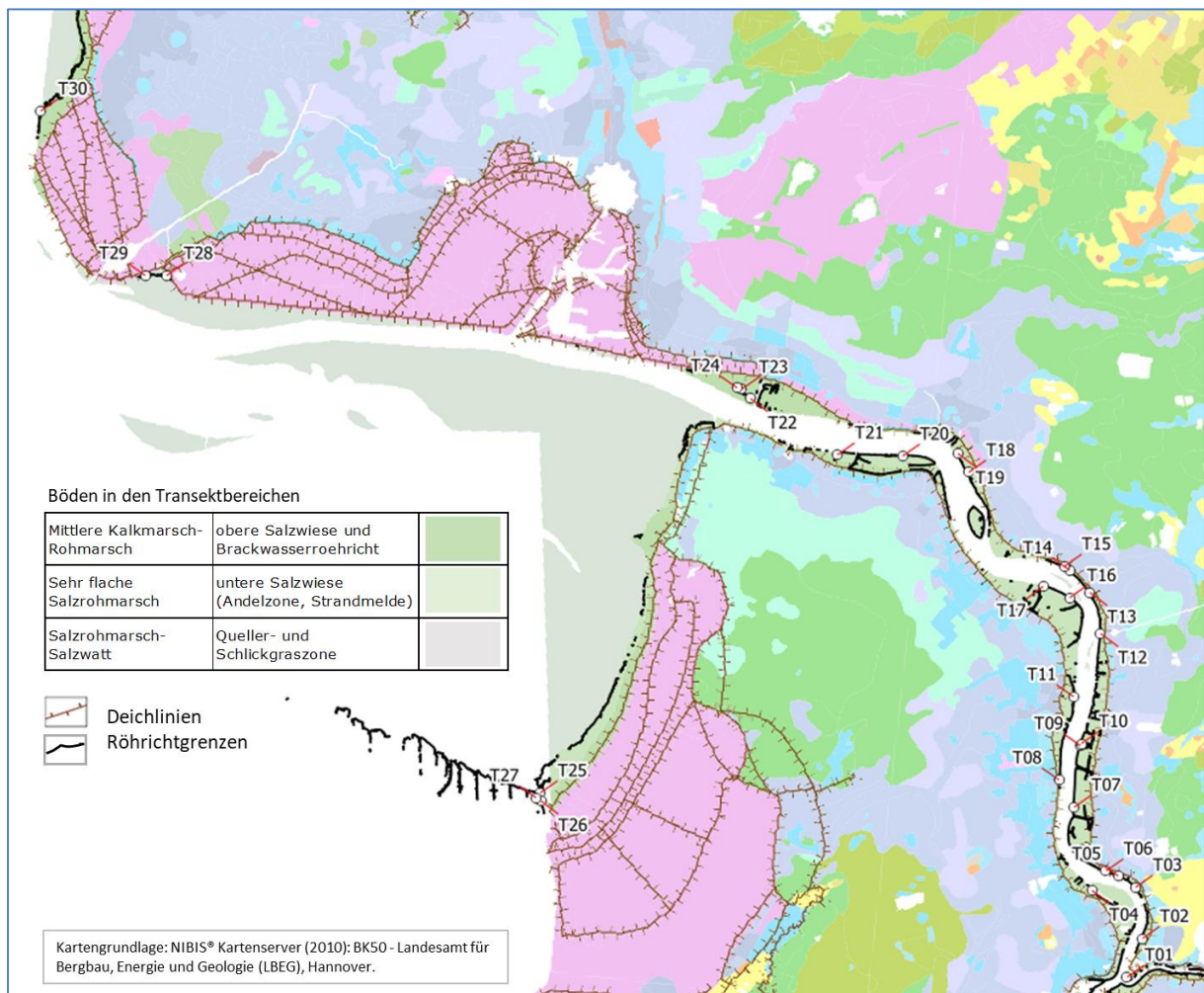
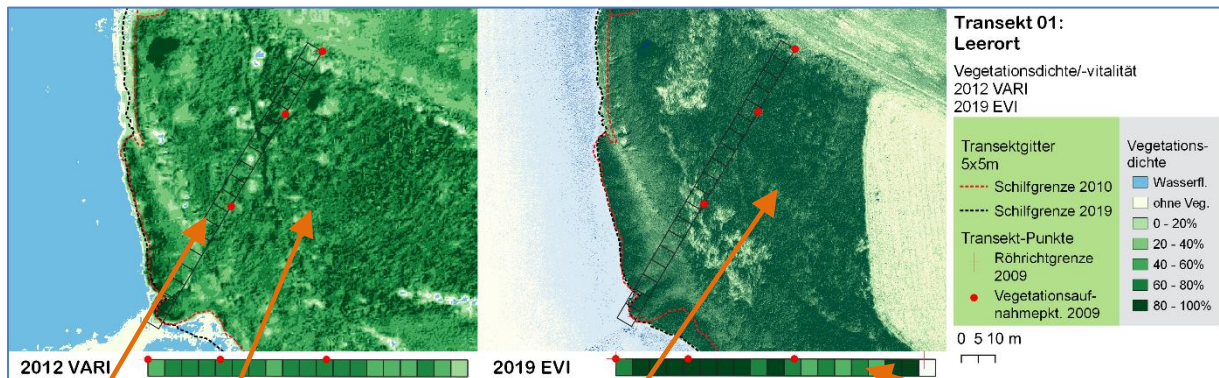


Abb. 2: Übersichtskarte zur Lage der Transekte auf dem Hintergrund der Bodenkarte BK50 mit den Deichlinien und wasserseitigen Röhrichtgrenzen.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertung der digitalen Orthophotos von 2012 und 2019 und der Auswertung der Bodendaten von 2009 und 2019/20 sind im Folgenden in Steckbriefen für jedes der 30 Transekte zusammengestellt. Die in den Steckbriefen enthaltenen Grafiken werden im Folgenden erläutert.

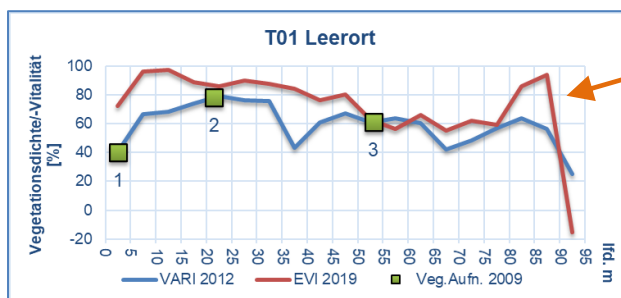


Rasterbildauschnitt der VARI-Pixelwerte (2012)

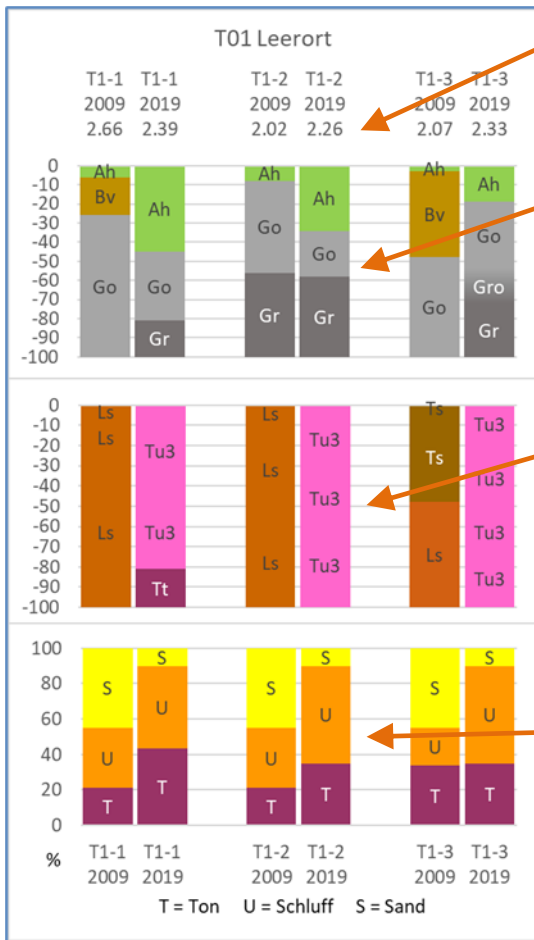
Rasterbildauschnitt der EVI-Pixelwerte (2019)

Verlauf des Transektrasters aus 5x5m-Quadraten und Position der Vegetations-/Bodenaufnahmen (rote Punkte)

Transektraster mit Farbkodierung der Rasterquadrate entsprechend der Vegetationsdichte-Skala auf der rechten Seite und Position der Vegetations-/Bodenaufnahmen (rote Punkte). Orientierung: Landseite links, Flussseite rechts



Verlauf der Vegetationsindex-Prozentwerte für 2012 (blau) und 2019 (rot) im Transekt (Landseite links, Flussseite rechts), Position der Vegetations-/Bodenaufnahmen als grüne Quadrate mit Nr., Vegetationsdichte/-vitalität der Punkte interpoliert



Geländehöhenangabe in m ü. NN (2009) und NHN (2019)

Gegenüberstellung der Bodenprofile 2009 und 2019/20 – Darstellung der Bodenhorizontabfolge bis in 100 cm Tiefe; Erklärung der Kürzel in Tab. 2

Gegenüberstellung der Bodenprofile 2009 und 2019/20 – Darstellung der Bodenarten entsprechend der Horizontabfolge bis in 100 cm Tiefe; Erklärung der Farben in Im zweiten

Gegenüberstellung der Bodenprofile 2009 und 2019/20 – Darstellung der Bodenfraktionen entsprechend der Horizontabfolge bis in 100 cm Tiefe; Erklärung der Kürzel in der Grafik

<b>Vegetationsentwicklung</b>
➡ positiv/negativ
<b>Uferentwicklung</b>
➡ Uferzuwachs/Ufererosion
<b>Geländeentwicklung</b>
➡ keine Geländeänderungen
<b>Bodenentwicklung</b>
➡ Humusbildung
➡ Grundwasserspiegelabsenkung
➡ Verschlickung

Erläuterung der festgestellten Entwicklungen

Die Steckbriefe der Transekte T01 bis T30 befinden sich im Anhang.

## Zusammenfassende Auswertung

### ➔ Vegetationsentwicklung

In den 30 Transekten zeigt der Vergleich der aus den digitalen Orthophotos berechneten Vegetationsindices (VARI für 2012 und EVI für 2019) sowohl Zunahmen als auch Abnahmen der Vegetationsdichte/-vitalität (VD/V) im Verlauf der Transekte. In der Gesamtanalyse (Abb. 3) zeigt sich im Mittel eine leichter Gewinn von 1.8% VD/V direkt am Ufer. Hier halten sich Gewinne und Verluste ungefähr die Waage, im Wesentlichen verursacht durch Ufererosion bzw. -zuwachs. Im weiteren Verlauf der Transekte zeigt sich bis zum Transektquadrat Nr. 7 (35 m vom Ufer Richtung Deich) ein Gewinn an VD/D von 7 bis 9% im Mittel, dann unvermittelt bei 40 m ein Verlust von 2%, vermutlich verursacht durch einen Sturmflutsaum mit Getreibsel und Störungen. Darauf folgend bis 80 m zeigen sich stärkere Zugewinne bis zu 13% im Mittel. Danach, im Bereich von 85 bis 130 m vom Ufer entfernt, sind im Wesentlichen nur Verluste an VD/V zu beobachten. Betrachtet man die 2019er EVI-Karten unter den Transekten und deren virtueller Fortsetzung, so zeigt sich dieses Lückenmuster bei 40 m bei mindestens der Hälfte und das ab 85 m bei mindestens 2/3 der Transekte.

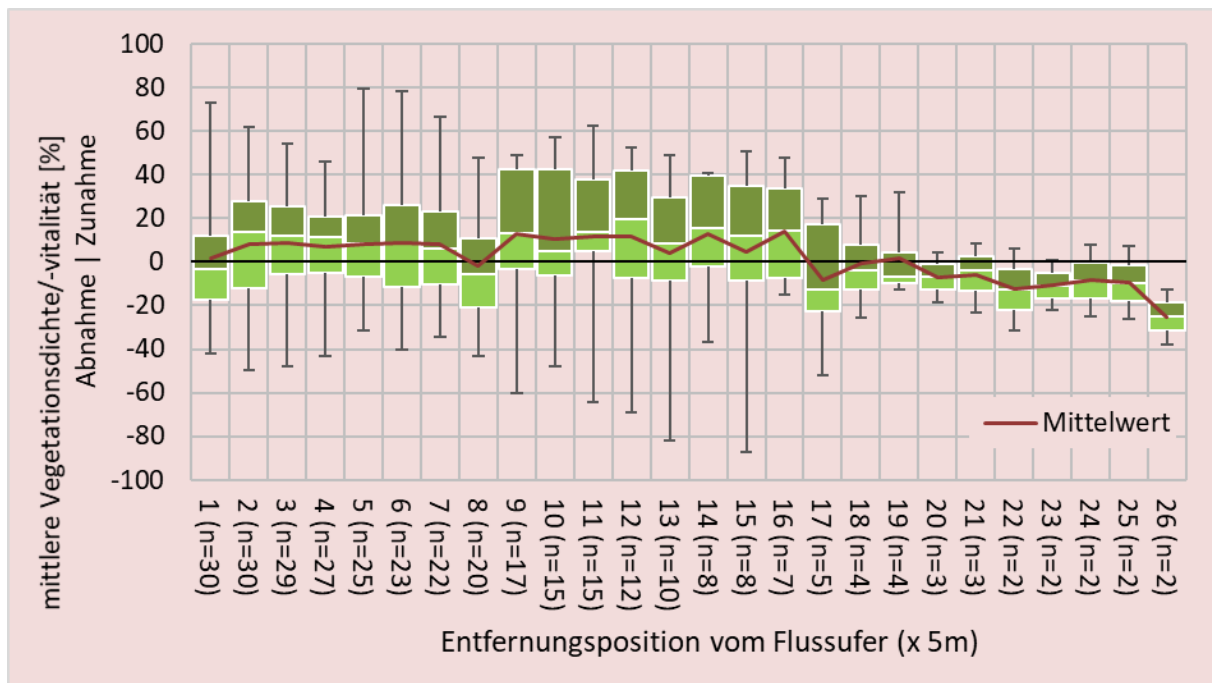


Abb. 3: Verteilung der mittleren Veränderungen 2019 zu 2012 der Vegetationsdichte/-vitalität in den Transektquadraten in Reihenfolge vom Flussufer zur Landseite.

Ordnet man die Veränderungen der Vegetationsdichte/-vitalität, genauer: den Mittelwert der vordersten 1 bis 8 Transektquadrate ohne die Quadrate mit Ufererosion, in Reihenfolge der Unterems-Flusskilometer-Position der Transekte, erhält man die interessante Verteilung der Abb. 4, die nicht zufällig so sein kann. Es bildet sich hier in der Vegetationsveränderung die natürliche Dynamik eines Fließgewässers (lotic ecosystems) mit seiner Tendenz zur Mäanderbildung und in den Mündungsbereichen zur Ausuferung sowie die dabei entstehenden Diskontinuitäten verschiedener Ökosystemparameter ab (Elwood et al. 1983, Ward & Stanford 1983, Pringle et al. 1988). An der Ems wird dieser Mechanismus über die Gezeiten wie auch die Anstauphasen für die Schiffsüberführungen in die Röhrichtflächen des Außendeichslands übertragen.

Die Schwingungs-Periode beträgt hier ungefähr 3.5 Fluss-km, d.h. der Flusswasserkörper bewegt sich räumlich und spiralförmig in 3.5 km einmal von der Flussmitte auf die eine Uferseite, dann auf die andere und dann wieder zurück in die Mitte. Dabei wird er durch die vorhandene Schwingung des Flusses und Einmündungen von Seitengewässern, durch die Gezeitenströme sowie sicher auch Starkwindereignisse und Sturmfluten gestört, so dass sich die Amplituden unterschiedlich stark ausbilden und die Periode unterschiedlich lang werden können (Diskontinuitäten). Im Bereich des Dollarts herrschen vermutlich besondere zusätzliche Bedingungen. Nimmt man die Dollart-Süd-Transekte 25 bis 27 aus der Kurve heraus, so liegen zwischen T24 (km 35) und T28 (km 49) ca. 14 km, also 4 x 3.5 km, die 3.5km-Schwingung setzt sich offensichtlich im Emsfahrwasser fort. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um dieses Verhalten der Ems und seine Auswirkungen genauer beschreiben zu können.

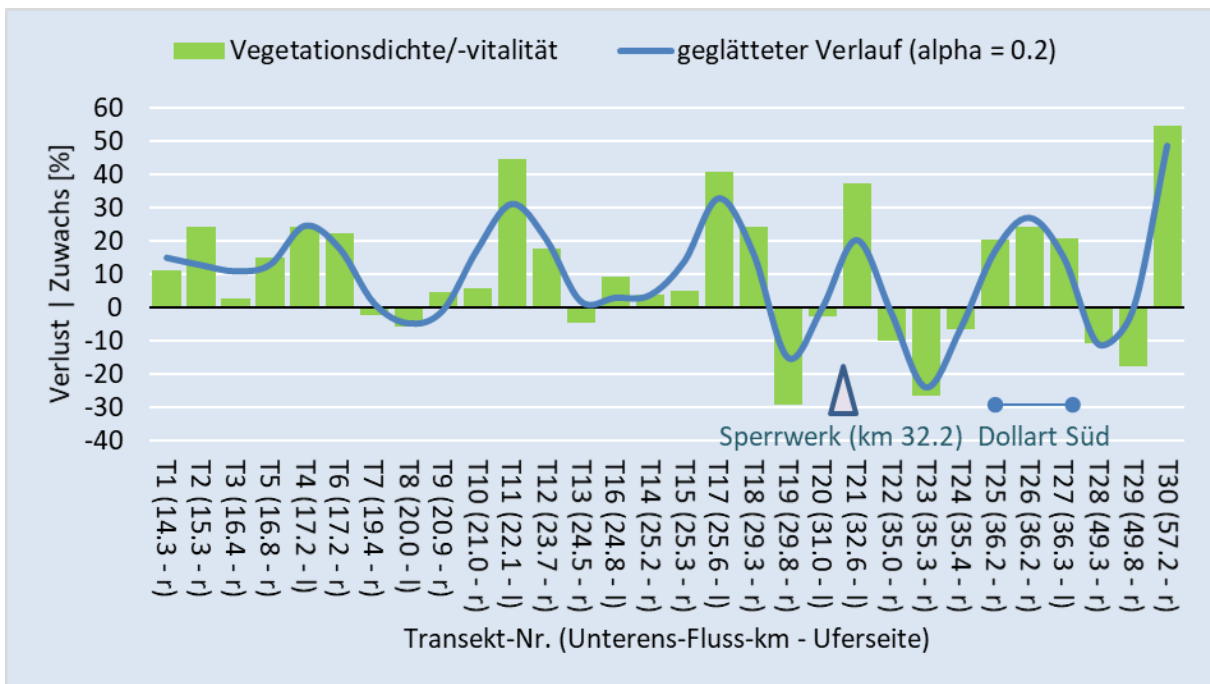


Abb. 4: Verteilung der Veränderungen 2019 zu 2012 der Vegetationsdichte/-vitalität in den vordersten Transektquadraten jedes Transekten (Mittelwert, n=3 bis 8, ohne Uferabbruch-Quadrate) in Reihenfolge der Unterems-Flusskilometer-Position.

### ➔ Uferentwicklung

Im direkten Uferbereich der Transekte zeigen sich sowohl Ufererosionen als auch Uferzuwächse im Vergleich 2019 zu 2012. Trägt man die Strecken dieser Verluste und Zuwächse gegen die Himmelsrichtung der Exposition der Ufer im Bereich der Transekte auf, so zeigt sich eine deutliche Präferenz der Erosionsufer und der Zuwachsufer für einen Himmelsrichtungsbereich (Abb. 5).

Die größten Zuwächse sind bei einer Nord-Ost-Exposition zu verzeichnen. Diese Windrichtung, also Wind aus NO, tritt nicht allzu häufig und auch weniger als Sturm auf und drückt das Wasser eher in Richtung Mündung. Die größten Verluste hingegen finden auf den westlich bis südwestlich exponierten Uferabschnitten statt. Diese Windrichtung, also aus Südwest, ist die Hauptwindrichtung an der Küste und tritt häufig auch als Sturm in Erscheinung. Dadurch kommt es an solchermaßen ausgerichteten Ufern eher zur Erosion und zu Vegetationsverlusten. Da das Ufer an der Ems relativ naturnah verläuft und auf wenigen Metern in verschiedene Richtungen

schwenken kann, zeigen die Uferkanten auch eine gewisse dynamische Reaktion auf die einwirkenden Winde und Wellen, die sich auch in der Verteilung der Zuwächse und Verluste verdeutlicht (Abb. 5). Hinzu kommt die zu Abb. 4 beschriebene Flussdynamik.

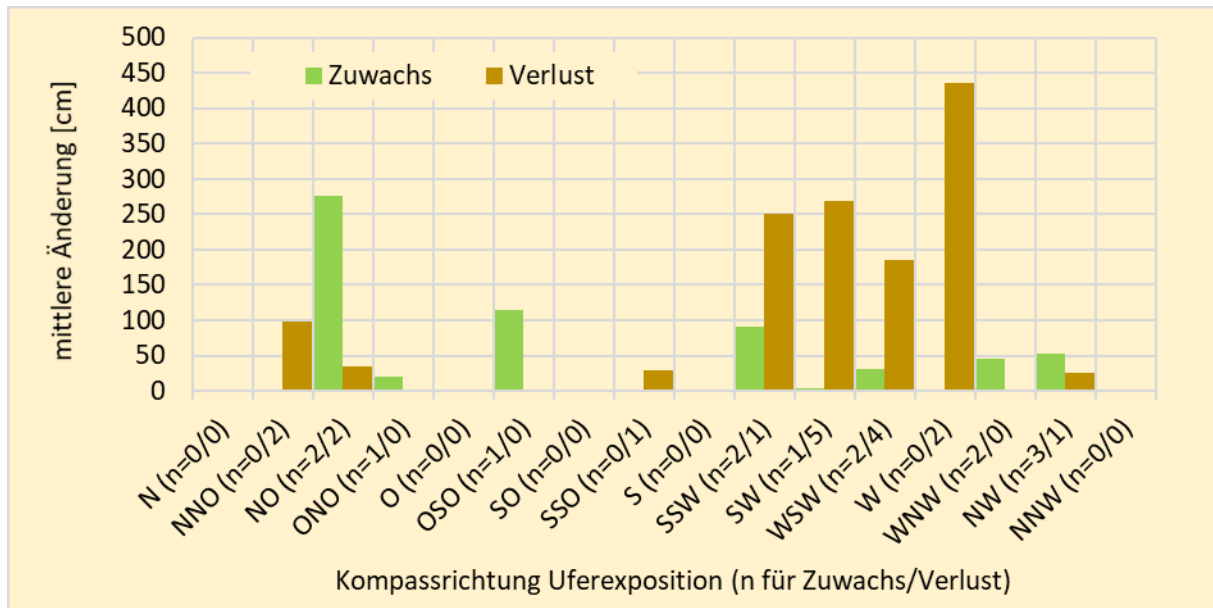


Abb. 5: Verteilung der Mittelwerte der Uferzuwächse und Uferverluste im Vergleich 2019 zu 2012 in Bezug zu den Kompassrichtungen der Uferexpositionen.

### ➔ Geländehöhenentwicklung

Die Geländehöhen bewegen sich im Vergleich von 2009 und 2019/20 fast überall bis auf wenige Erhöhungen am Ufer innerhalb des in der Methodenbeschreibung genannten Fehlerbereichs. Die wenigen Ufererhöhungen sind vermutlich auf Anschwemmungen und Ablagerungen zurückzuführen.

### ➔ Bodenentwicklung

Der Vergleich der Bodenprofile von 2009 und 2019/20 zeigt starke Veränderungen in der Horizontfolge und Bodenart und damit auch der Bodenzusammensetzung.

➔ **Humusbildung:** Hoch signifikante und hoch effektstarke Vergrößerung des Ah-Humusbildungs-Horizonts um im Durchschnitt 12.5 cm (Abb. 6) mit Tendenz zur stärkeren Horizontbildung auf dem linken Emsufer mit seiner häufig vorzufindenden O- bis NO-Orientierung (Abb. 7). Für eine solche relativ rasche Humushorizontbildung ist totes organisches Material notwendig sowie die für die Zersetzung des org. Material zuständigen Bodenorganismen. Es kann vermutet werden, dass in den ungefähr 10 Jahren zwischen den beiden Untersuchungen mehr totes org. Material durch Fluten und deren Getreibeisensäure, durch die Überschlickung der Pflanzen und die Salzeinträge, wie z.B. 2014 beobachtet (Kesel 2014) und evtl. auch durch Bewirtschaftungs- und Pflegemaßnahmen, in unterschiedlichen Entfernungen vom Fluss angeliefert wurde.

➔ **Reduktionshorizont - Grundwasserspiegelgrenze:** Signifikante und mittel-effektstarke Absenkung der Obergrenze des Gr-Horizonts um 10 cm bei

tendenziell stärkerer Absenkung auf dem linken Emsufer (Abb. 6) und bei NO-Orientierung (Abb. 7). Die Himmelsrichtungspräferenzen der Verschiebung der Gr-Obergrenze ist allerdings nicht sehr scharf, so dass hier auch noch weitere Ursachen zu erkunden wären. Ebenso wäre zu untersuchen, inwieweit die nachfolgend beschriebenen Verschlickungen zu diesem Effekt beitragen.

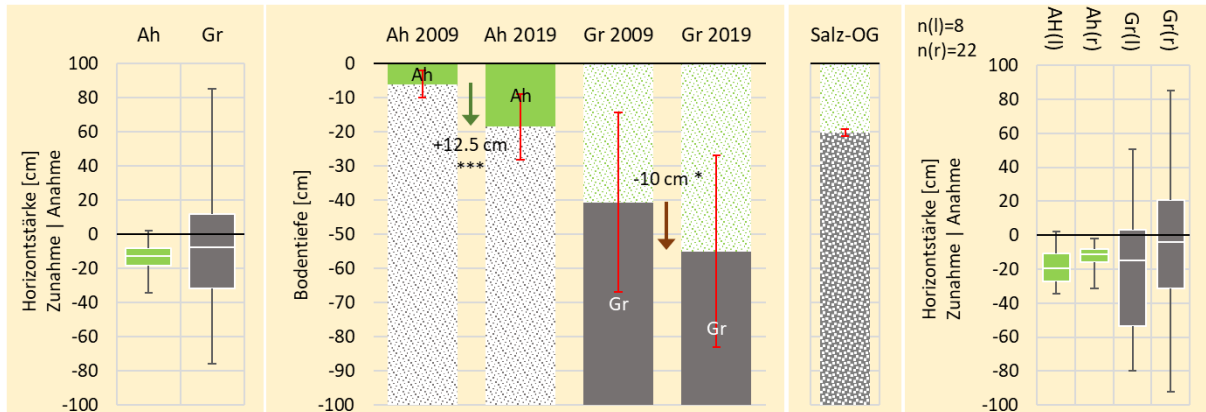


Abb. 6: Veränderung des Ah-(Humus-)Horizonts und des Gr-(Reduktions-)Horizonts sowie der Obergrenze des salzhaltigen Bodens (Salz-OG) in den Uferbereichen der Transekte. Erläuterung: links Box-Whisker Quartile der Horizontstärken-Veränderung; mittig Mittelwerte mit Standardabweichung; rechts Box-Whisker Quartile linkes und rechtes Emsufer; Statistik:  $n = 30$ ; T-Test, \*\*\*  $p \leq 0.001$  = hoch signifikant, \*  $p \leq 0.5$  = signifikant; Effektstärke (Cohen):  $d(\text{Ah}) = 1.7$  starker Effekt,  $d(\text{Gr}) = 0.5$  geringer Effekt; Unterschied zw. linkem und rechtem Ufer nicht signifikant.

➡ **Versalzung:** Alle Bodenaufnahmen von 2019/20 haben bei den Horizontangaben die Kürzel „oe“ bei Ah- und Go-Horizonten und „ez“ bei Go- und Gr-Horizonten vorangestellt. Das Kürzel „e“ steht für mergelig, das Kürzel „z“ für salzhaltig. Die untersuchten Böden sind im Mittel ab 20 cm unter Flur salzhaltig (Abb. 6, zweite Grafik v.r.). In den Bodenaufnahmen von 2009 liegen keine entsprechenden Angaben vor. In der vor 2017 gültigen BÜK50 allerdings werden folgende Angaben gemacht: T01 bis T21 sowie T25 bis T27: Rohmarsch, salzhaltiger Schluffton (Tu4), Tu3 gespittet (für den Deichbau abgespatet); T22 bis T24: Rohmarsch, salzhaltiger Schluffton (Tu3), Lehnton abgespittet (Tu2); T28 bis T30: Wattflächen, nicht beschrieben (Kürzelübersetzung nach Boess et al. 2004). Es ist also davon auszugehen, dass die Böden auch 2009 schon salzhaltig waren. Inwieweit eine weitere Versalzung des Bodens stattgefunden hat, lässt sich nur durch Messungen ermitteln.

➡ **Verschlickung:** Aus den 2009 und 2019/20 aufgezeichneten Bodenprofilen wurde aus den kartierten Bodenarten der mittlere Gehalt der drei Hauptfraktionen des Bodens – Ton, Schluff und Sand – berechnet. Der Vergleich der beiden Aufzeichnungsjahre ergab eine deutliche und für die sonst eigentlich eher langsam verlaufenden Bodenentwicklungen bemerkenswert schnelle Verschiebung hin zu mehr ton- und schluffhaltigen und weniger sandhaltigen Bodenarten (Abb. 8).

Die Darstellung der Ab- und Zunahmen der drei Bodenfraktionen in Abb. 8 zeigt einen Flusskilometertrend. Die ersten 3 km nach der Leda-Mündung sind geprägt durch sehr hohe Einträge bis über 600% von Schluff, die folgenden 20 km zeigen einen Anstieg der Einträge von Ton bis auf 200% bei km 24.5 (Schöpfwerk Neermoor-Terborg) und folgend einen Rückgang bis km 35.4 (Petkum 3). Die Einträge von Schluff sind in diesem Bereich gering bis auf die Standorte bei km 29.3 (Rohrichum 1) und



31.0 (Nendorp) kurz vor dem Sperrwerk bei Gandersum. Auch bei den drei Transektstandorten im südlichen Dollart an der Mündung der Woldschen Aa sowie an den Standorten Knock 1 und 2 sind hohe Schluffeinträge zu verzeichnen. Der letzte Standort Rysum zeigt dann eher moderate Toneinträge. Bis auf drei Standorte ist in allen Transekten ein Rückgang der Sandgehalte zu beobachten, der zwangsläufig erfolgt, da die groberen Poren im Sand mit den feineren Ton- und Schluffpartikeln zu- geschwemmt werden (sic „Verschlickung“).

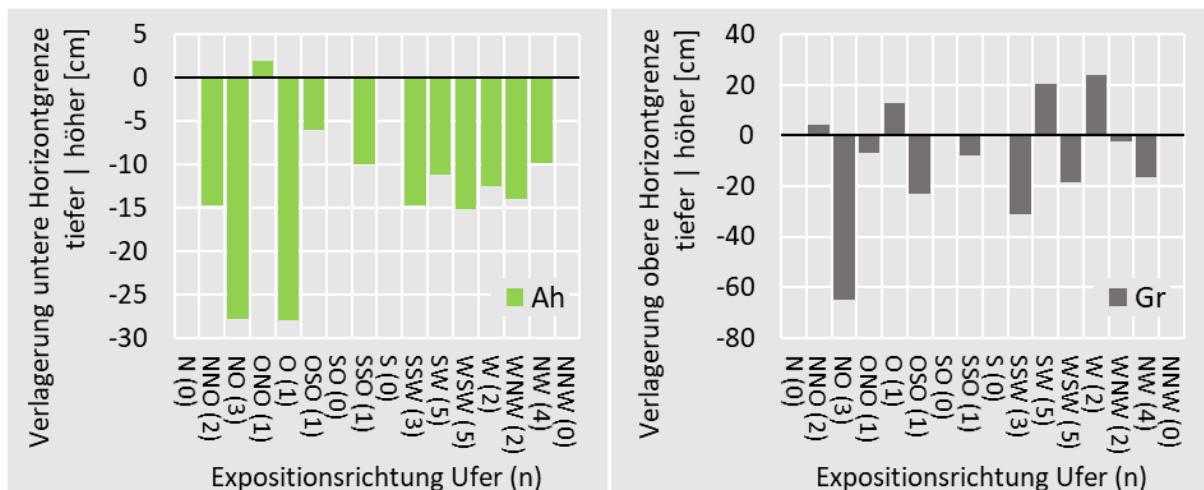


Abb. 7: Verteilung der Veränderungen des Ah-(Humus-)Horizonts (links) und des Gr-(Grundwasser-) Horizonts (rechts) entlang der Expositionsrichtungen der Ufer.

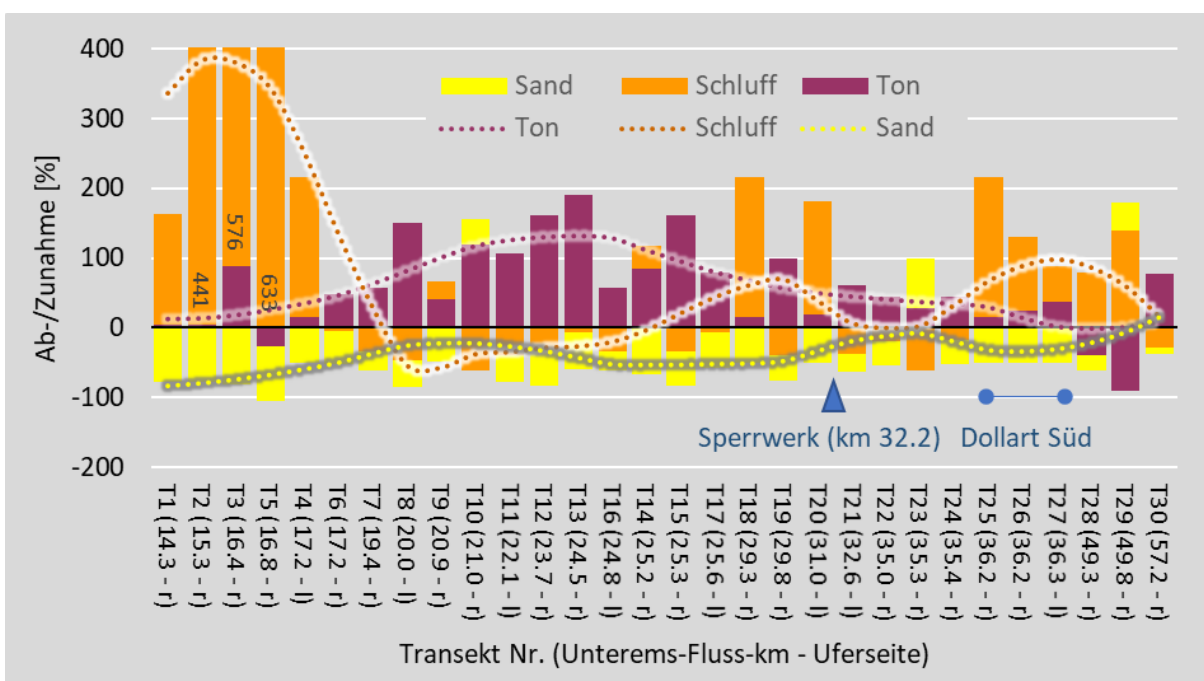


Abb. 8: Veränderung der Bodenzusammensetzung in den Uferbereichen der Transekte. Erläuterung: Transekte in der Reihenfolge ihrer Unterems-Fluss-km-Position. Die Kurven sind Glättungskurven (LOESS) mit  $\alpha = 0.4$ .

Es dürfte auch die Bodenentwicklung über die bei der Vegetationsentwicklung entlang des Flusses beschriebene natürliche Dynamik eines Flussökosystems mit seinen Schwingungen und Diskontinuitäten gesteuert werden. Allerdings zeigen sich hier weitere Diskontinuitätsfaktoren wie z.B. die unterschiedlichen Partikelgrößen und die

Raugigkeit der Röhrichtflächen bzgl. des Sedimentfangs. Hinzu kommt, dass für die Bodenauswertung nur Stichproben zur Verfügung stehen und keine Transektserien. So interessant und deutlich das Ufervegetationsentwicklungs- (Abb. 4) und Sedimentierungsgeschehen (Abb. 8) entlang des Flusses, so gering der Zusammenhang zwischen den Änderungen der Vegetationsdichte/-vitalität und des Bodens (Abb. 9) an ihren wenigen gemeinsamen Stichprobenstandorten. Hier sind keinerlei Muster zu erkennen. Ebenso wenig ergeben sich Beziehungen zwischen den Änderungen der Bodenfraktionen und der Änderung der Vegetationsdichte/-vitalität (Abb. 10). Die Korrelationen ergeben nur geringe Erklärungswerte unter 6% ( $R^2 < 0.06$ ). Ohne zusätzliche Parameter z.B. Nährstoffe, Überflutungshäufigkeiten und -zeiträume, Bewirtschaftungen, etc. können keine zusätzlichen Aussagen zu den die Vegetationsentwicklung treibenden Faktoren gemacht werden.

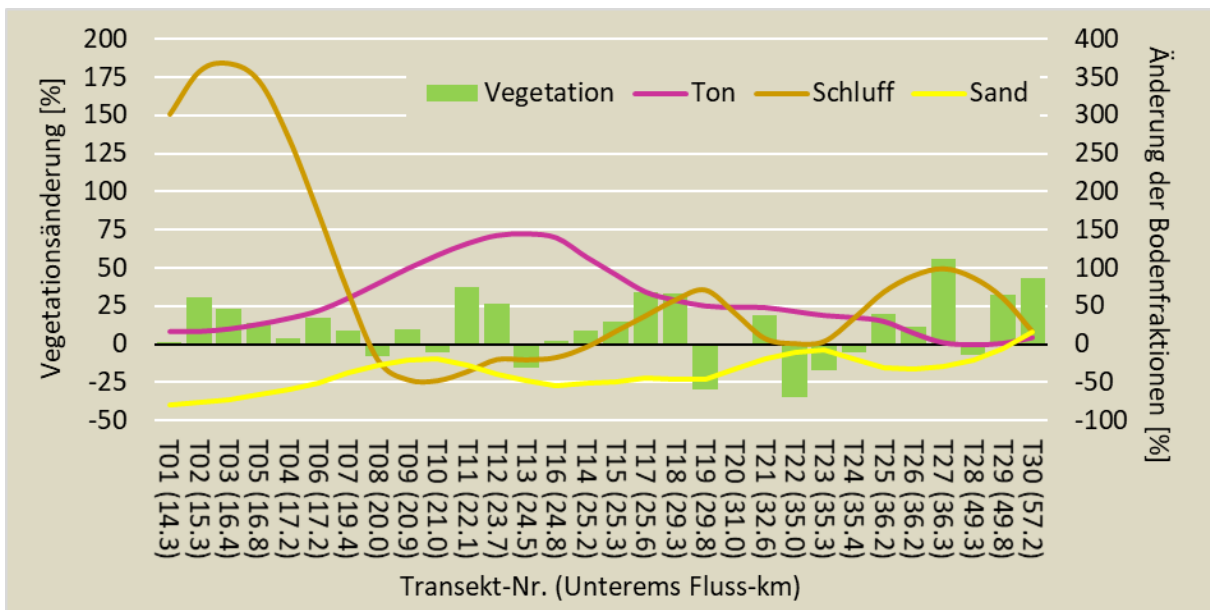


Abb. 9: Veränderung der Vegetationsdichte/-vitalität im Vergleich zur Änderung der Bodenfraktionen an den gemeinsamen Stichprobenstandorten (n=30).

Erläuterung: Transekte in der Reihenfolge ihrer Unterems-Fluss-km-Position. Die Kurven sind Glättungskurven (LOESS) mit  $\alpha = 0.4$ .

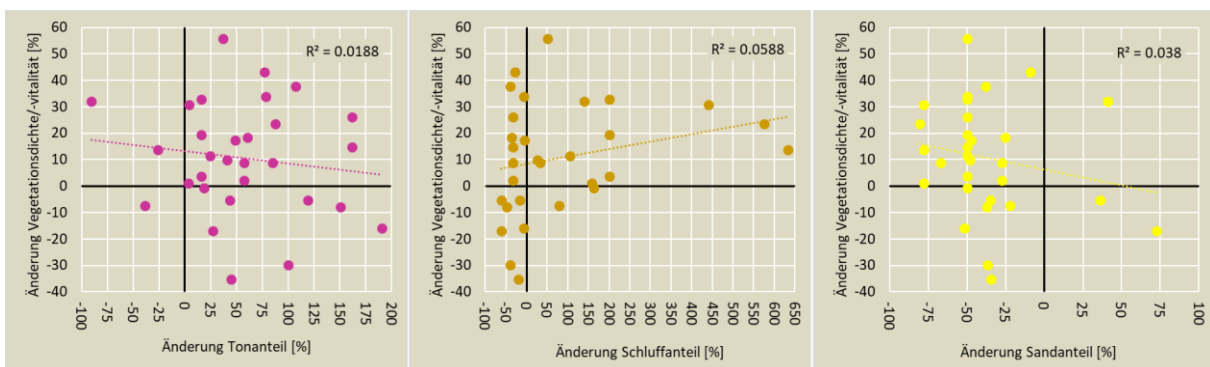


Abb. 10: Korrelation der Änderung der Vegetation mit der Änderung der Bodenzusammensetzung an einem ufernahen Aufnahmestandort Vegetation und Boden pro Transekt.

## Zusammenfassung

Für die Beantwortung der Aufgabenstellung, d.h. den ‚Vergleich der Röhrichtausdehnung und der Bodenverhältnisse alte gegen neue Aufnahme an 30 Transekten‘ wurden die 3-Kanal-RGB-Luftbilder von 2012 und die 4-Kanal-RGB+NIR-Luftbilder von 2019 mittels des Vegetationsindex VARI (**V**isible **A**tmospherically **R**esistant **I**ndex) für die 3-Kanal-Orthophotos und des EVI (**E**nhanced **V**egetation **I**ndex) für die 4+-Kanal-Orthophotos in neue Rasterbilder umgerechnet, die die jeweilige kombinierte Vegetationsdichte/-vitalität repräsentieren.

Für die 30 Transekte, die mit einem Transektband aus einer je nach Zahl der Aufnahme- punkte 2009 unterschiedlichen Anzahl von 5x5m-Quadraten entlang der Aufnahmepunkte von 2009 überlagert wurden, wurde dann die mittlere Vegetationsdichte/-vitalität von jedem der Transektquadrate ermittelt und der bei beiden Indices jeweils maximal erreichte Wert = 100% Vegetationsdichte/-vitalität gesetzt. Diese 30 Datenreihen sind die Grundlage für die Vegetationsanalyse.

Für die Bodenanalyse standen die Bodenprofilaufnahmen von 2009 und neue Bodenprofil- aufnahmen von 2019/20 an ausgewählten der 2009er-Standorte zur Verfügung. Des Weiteren wurden mit DGPS gemessene Geländehöhen der Aufnahmepunkte von 2009 und Geländehöhen aus dem DGM (Digitales Geländemodell) von 2015 einbezogen.

Aus der **Vegetationsanalyse** ergaben sich folgende Hauptergebnisse:

- In den Transekten zeigen sich im Allgemeinen Zunahmen der Vegetationsdichte/vitalität bis in Bereiche 80 m vom Ufer entfernt, oft unterbrochen durch Störungsbänder aus Sturmfluten und Getreibselansammlungen. In den wenigen längeren Transekten sind im weiteren Verlauf über 80 m Rückgänge der Vegetationsdichte/-vitalität zu beobachten.
- Entlang des Flusses folgt die Vegetationsentwicklung den dynamischen Systemeigenschaften von Fließgewässersystemen mit ihren räumlich-spiraligem Fließverhalten und Diskontinuitäten der Ökosystemparameter. Es sind mit einem mehr oder weniger 3.5 km langen Schwingungsmuster Zu- und Abnahmen der Vegetationsdichte/-vitalität in den Uferöhrichten auf bis zu 40 m Abstand vom Ufer zu beobachten.
- Wellenschlag und Sturmfluten bewirkten in den Uferbereichen der Transekte starke Abbrüche an den südwestlich bis westlich exponierten Uferabschnitten. Über den Sedimenttransport kommt es zu Zuwächsen an den nordöstlich exponierten Ufern.
- Geländehöhenveränderungen sind nur an 6 Uferbereichen durch Abtrag festzustellen, alle weiteren Höhenveränderungen in den Transekten liegen innerhalb des methodischen Fehlerbereichs.

Aus der **Bodenanalyse** ergaben sich folgende Hauptergebnisse:

- Signifikante Vergrößerung des Ah-Humusbildungs-Horizonts an fast allen Probestellen um im Mittel 12.5 cm und mit stärkerer Vergrößerung an den nordöstlich-östlich exponierten Ufern, höchstwahrscheinlich verursacht durch erhöhten Anfall toter organischer Substanz infolge Überschwemmungen und Sturmfluten.
- Signifikante Absenkung der Obergrenze des Gr-Reduktions-Horizonts, d.h. des (mittleren) Grundwasserspiegels um 10 cm.
- Starke Verschlickung der Röhrichtflächen durch Eintrag von Ton- und Schlickboden, als Folge davon Wechsel von sandigen Lehm- und Tonböden zu tonigen oder schluffigen Lehm- und Tonböden.
- Entlang des Flusses Wechsel von Schluffeinträgen in den ersten 3 km auf Eintrag von Ton, danach ansteigend bis km 25 und danach wieder sinkend bis km 40 (Emden), die letzten 3 km vor dem Sperrwerk und nach Emden sowie an den Standorten im südlichen Dollart auch wieder starke Schluffeinträge.
- Die Einträge von Schluff und Ton folgen einer ähnlichen Dynamik wie die oben bei der Vegetation beschriebenen, aber mit stärkeren Diskontinuitäten.

- Es besteht zunächst keine erkennbare Korrelation der Schlickeinträge mit der Vegetationsentwicklung. Hier müssten weitere Daten zur Vitalität und Mortalität der Röhrichte herangezogen werden.

## Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S. Hannover.

Bindel, Marcus (2019): Entwicklung einer übertragbaren, synergistischen Methode zur Kartierung von Biotoptypen anhand von hochauflösenden optischen und Radar-basierten Daten. Dissertation an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. 190 S.

Boess, J., Gehrt, E., Müller, U., Ostmann, U., Sbresny, J. & Steininger, A. (2004): Erläuterungsheft zur digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50n) von Niedersachsen. Arbeitshefte Boden 2004/3, 61 S.

Elwood, J.W., Newbold, J.D., O'Neill, R.V., Van Winkle, W. (1983): Resource Spiraling: An Operational Paradigm for Analyzing Lotic Ecosystems. In: Dynamics of Lotic Ecosystems, ed. by T.D. Fontaine, III and S.M. Bartell. Ann Arbor Science, Michigan, USA. page 3-28.

Huete, A., Justice, C. & Liu, H. (1994): Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. Remote Sensing of Environment, 49, 224-234.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002): Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83, 195-213.

Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J.; Stark, R.; & Rundquist, D.(2002a): Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction. Papers in Natural Resources. 149.  
<https://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/149>

Gitelson, A.A., Stark R., Grits U., Rundquist D., Kaufman, Y. & Derry, D. (2002b): Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. Int. J. Remote Sensing, 23(13), 2537-2562.

Kesel, R. (2014): Auswirkungen temporärer Salzbelastungen auf Vegetationsbestände im Emsästuar. Studie i.A. WWF Deutschland. 34 S.

Pringle, C.M., Naiman, R.J., Bretschko, G., Karr, J.R., Oswood, M.W., Webster, J.R., Welcomme, R.L. and Winterbourn, M.J. (1988): Patch Dynamics in Lotic Systems: The Stream as a Mosaic. J. North American Benthological Society, 7(4), 503-524.

Ward, J.V. and Stanford, J.A. (1983): The Serial Discontinuity Concept of Lotic Ecosystems. In: Dynamics of Lotic Ecosystems, ed. by T.D. Fontaine, III and S.M. Bartell. Ann Arbor Science, Michigan, USA. p. 29-42.

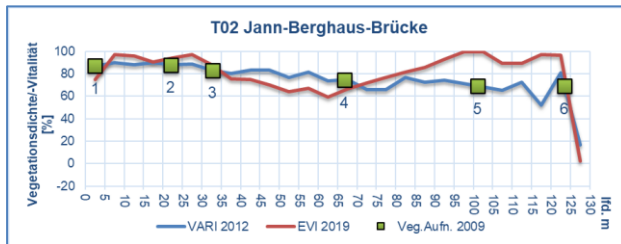
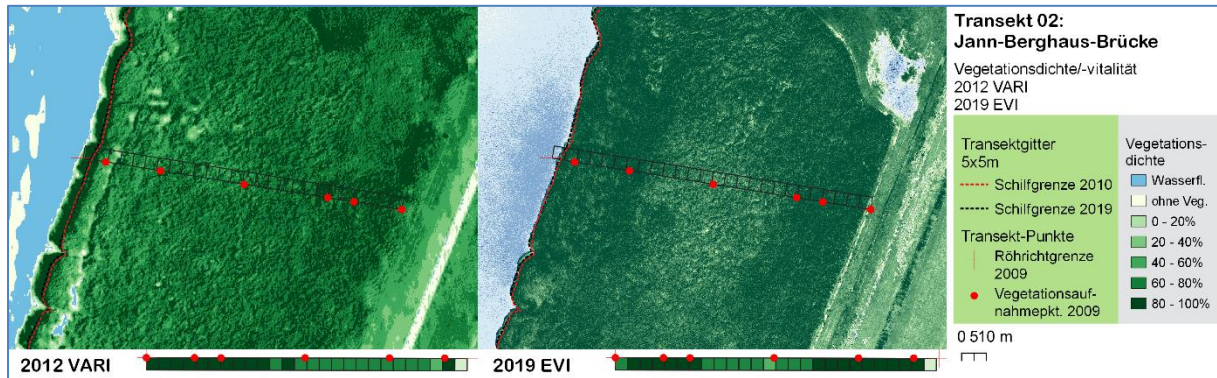
## **Anhang (S. 22-52)**

Steckbriefe T01 bis T30



# Transekt 02 – Jann-Berghaus-Brücke

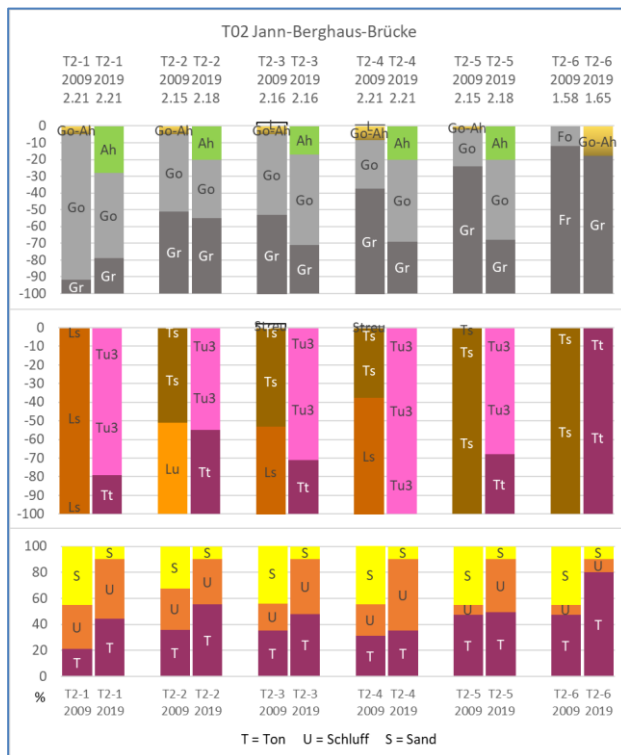
## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 7.6% dichtere/vitalere Vegetation, 3% Zunahme im Bereich 0-35m, 11% Abnahme im mittleren Bereich bis 70m, 20% Zunahme in den ufernahen 70-125m, dort dichtere/vitalere Bestände, einhergehend mit starker Schluffablagerung
- ➡ teilweise Vegetationsverdichtung

## Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Uferentwicklung

- 30-80cm Vegetationszuwachs am Ufer
- ➡ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➡ keine Geländeänderungen

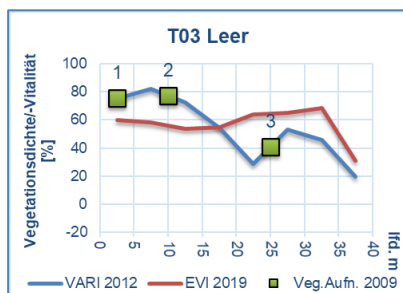
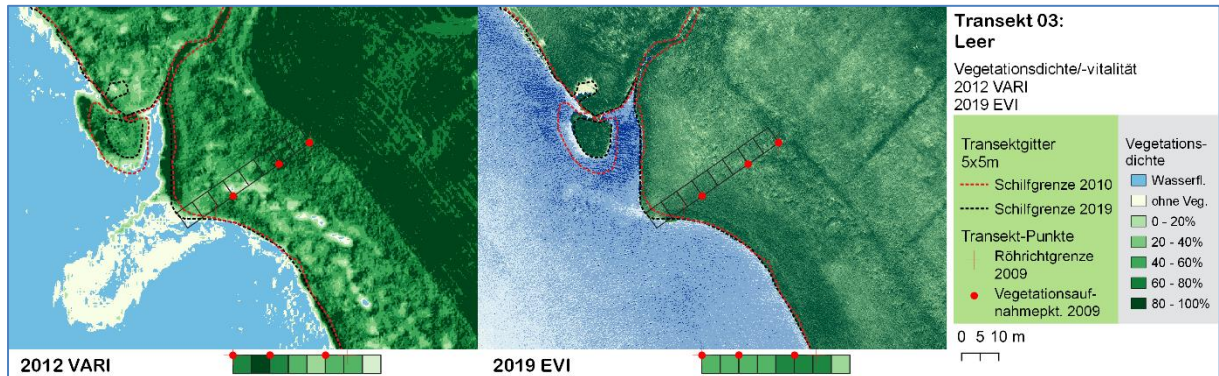
### Bodenentwicklung

- Zunahme des Ah-Horizonts
- ➡ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts
- ➡ Grundwasserspiegelabsenkung
- stark steigende Schluff- und Tongehalte im gesamten Transekt
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu schluffigem bis reintonigem Ton
- ➡ Verschlickung

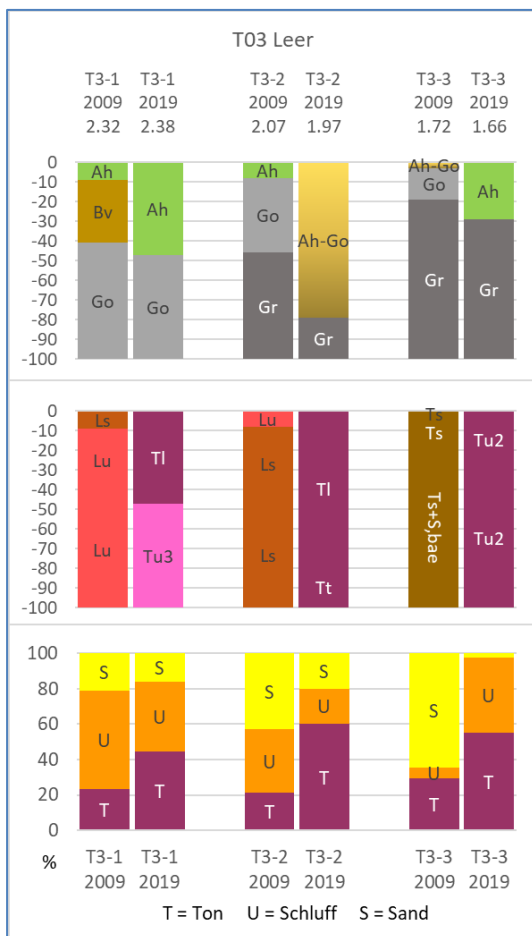


## Transekt 03 – Leer

Vegetationsprofile 2012 und 2019



Bodenprofile 2009 und 2019



Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 5.4% dichtere/vitalere Vegetation, 20% Abnahme im Bereich 0-20m, 16% Zunahme im flusswärtigen Bereich, dort dichtere/vitalere Bestände, einhergehend mit starker Schluffablagerung
- ➔ flussseitige Vegetationsverdichtung

### Uferentwicklung

- 130-210cm Vegetationszuwachs am Ufer
- ➔ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

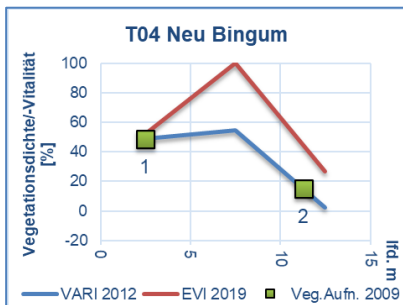
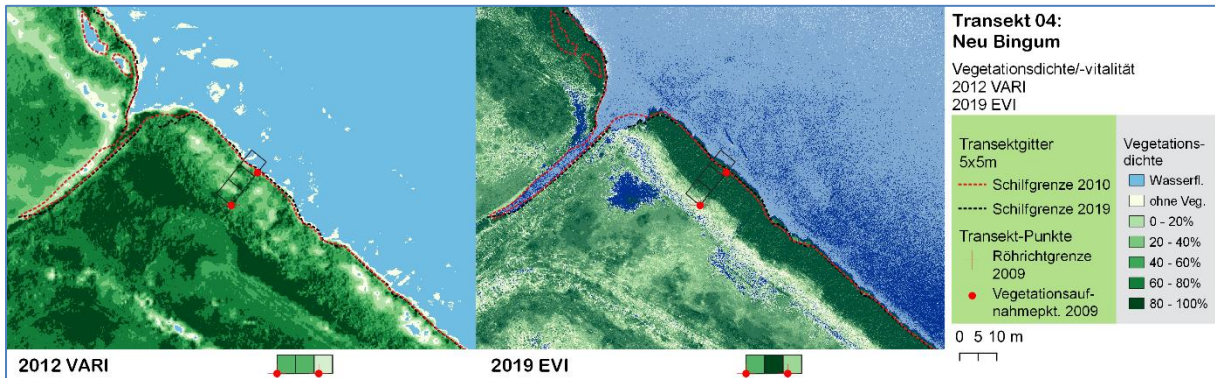
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

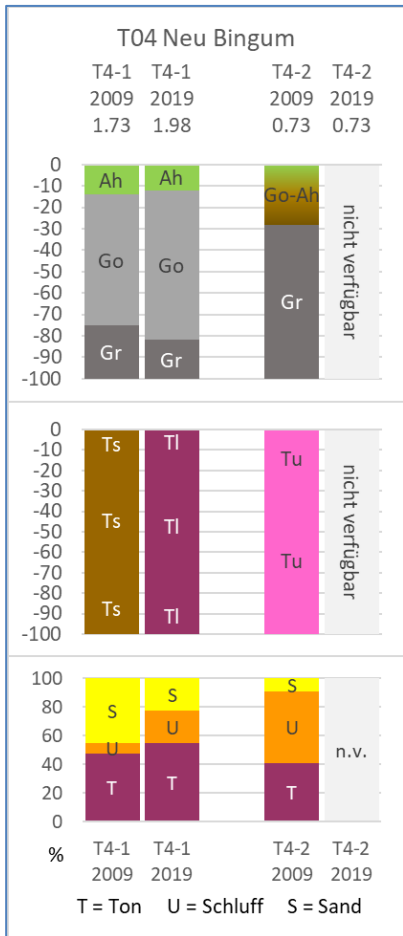
- Zunahme des Ah-Horizonts
- ➔ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts
- ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Starke Zunahme des Tongehalts im gesamten Transekt, in Flussnähe starke Zunahme des Schluffgehalts
- Verschiebung von schluffigem igem Lehm (Lu) und sandigem Lehm (Ls) zu lehmigem Ton (TI) sowie sandigem Ton (Ts) zu schluffigem Ton (Tu) in Ufernähe
- ➔ Verschlickung

# Transekt 04 – Neu Bingham

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

#### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 69% dichtere/vitalere Vegetation
- Ausbildung eines dichten 10m breiten Schilfgürtels, einhergehend mit starker Schluffablagerung  
 ➡ Vegetationsverdichtung

#### Uferentwicklung

- 0-40cm Vegetationszuwachs am Ufer  
 ➡ Uferzuwachs

#### Geländeentwicklung

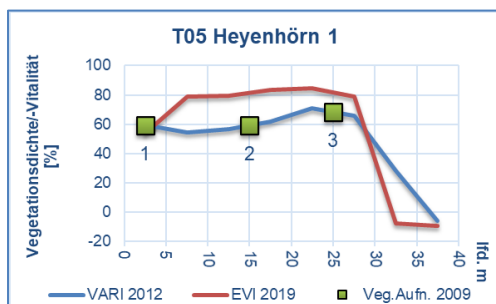
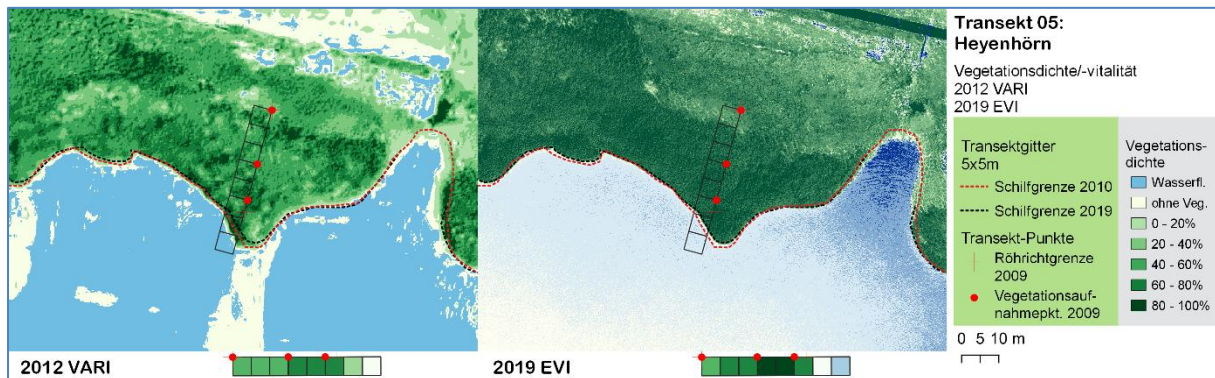
- 25cm Geländehöhenzuwachs in 10m Abstand vom Ufer (T4-1)  
 [➡ Ablagerungen?]

#### Bodenentwicklung

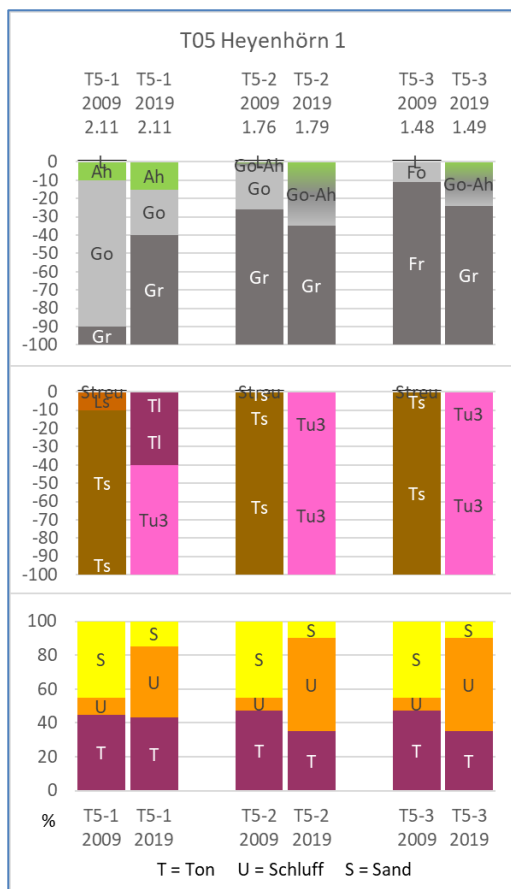
- Leichte Abnahme des Ah-Horizonts (weniger Humus)
- Keine Verlagerung des Gr-Horizonts
- Zunahme des Ton- und Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Ton (Ts) zu lehmigem Ton (Tl) (im gesamten Transekt)  
 ➡ leichte Verschlickung

# Transekt 05 – Heyenhörn 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 8%, stellenweise bis zu 25% dichtere/vitalere Vegetation
- einhergehend mit starker Schluffablagerung
- Verlust am Ufer

### Uferentwicklung

- 110-150cm Vegetationsverlust am Ufer
- Ufererosion

### Geländeentwicklung

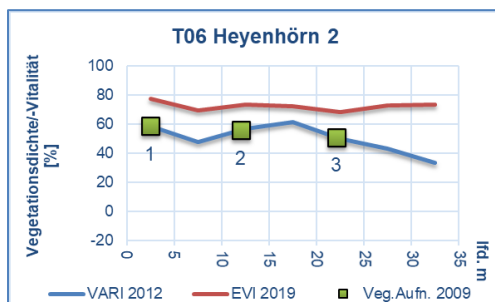
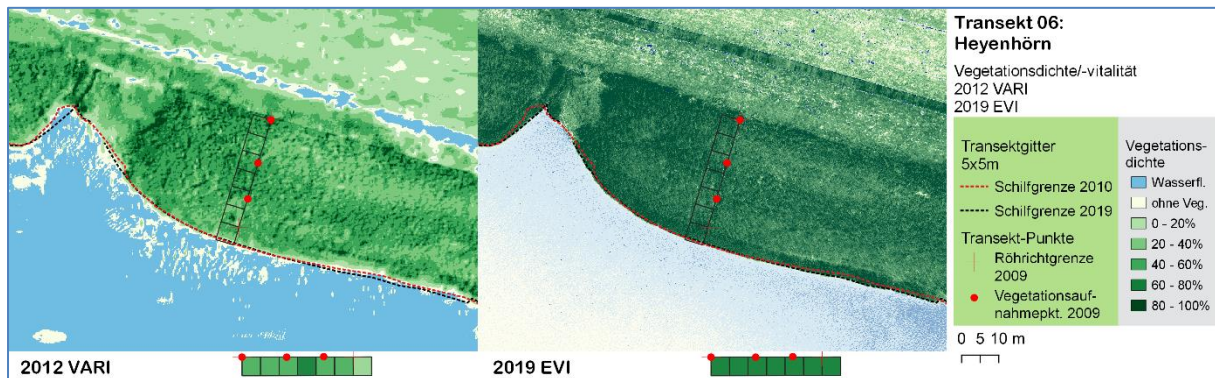
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

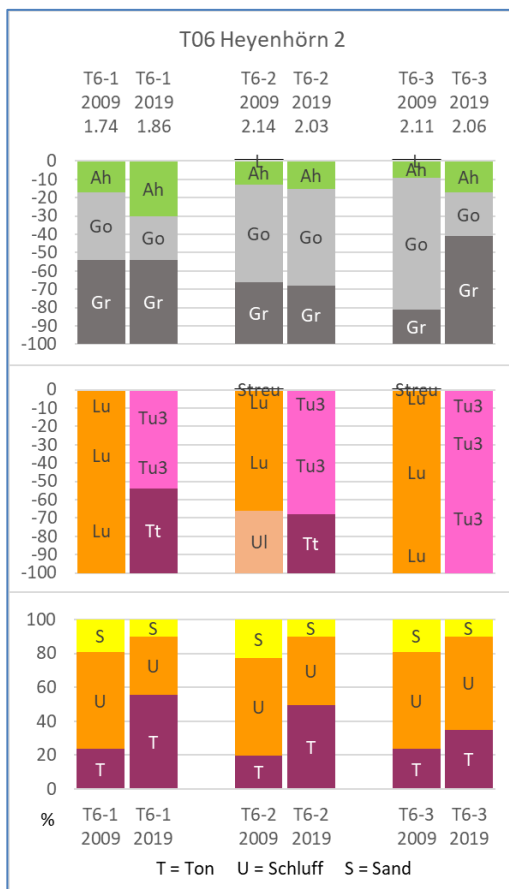
- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
- Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts
- Grundwasserspiegelanstieg in Deichnähe / Geringe Tiefverlagerung flusswärts
- Starke Zunahme des Schluffgehalts, leichte Abnahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Ton (Ts) zu schluffigem Ton (Tu) im gesamten Transekt
- Verschlickung

## Transekt 06 – Heyenhörn 2

### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 22%, am Ufer bis zu 40% dichtere/vitalere Vegetation
- einhergehend mit starker Tonablagung  
 ➔ Vegetationsverdichtung

### Uferentwicklung

- 15-30cm Vegetationsverlust am Ufer  
 ➔ Ufererosion

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich  
 ➔ keine Geländeänderungen

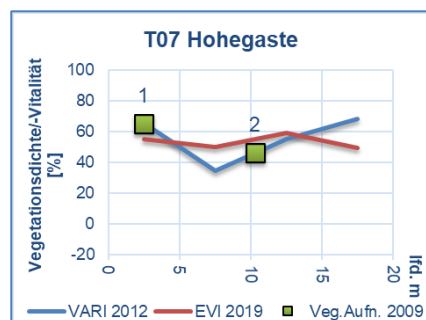
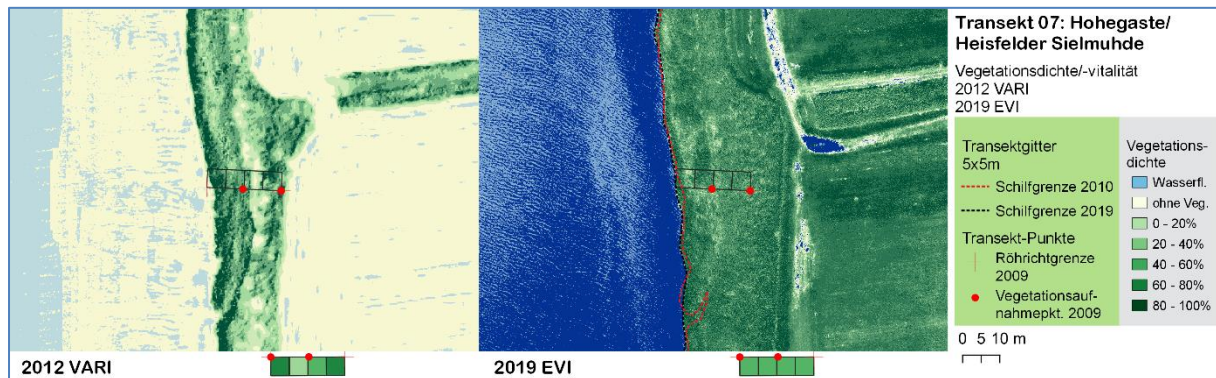
### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts  
 ➔ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts in Flussnähe  
 ➔ Grundwasserspiegelanstieg
- Keine Grundwasserverlagerung deichwärts
- Zunahme des Tongehalts im gesamten Transekt
- Verschiebung von schluffigem Lehm (Lu) zu schluffigem bis reintonigem Ton (Tu, Tt) im gesamten Transekt  
 ➔ Verschlickung

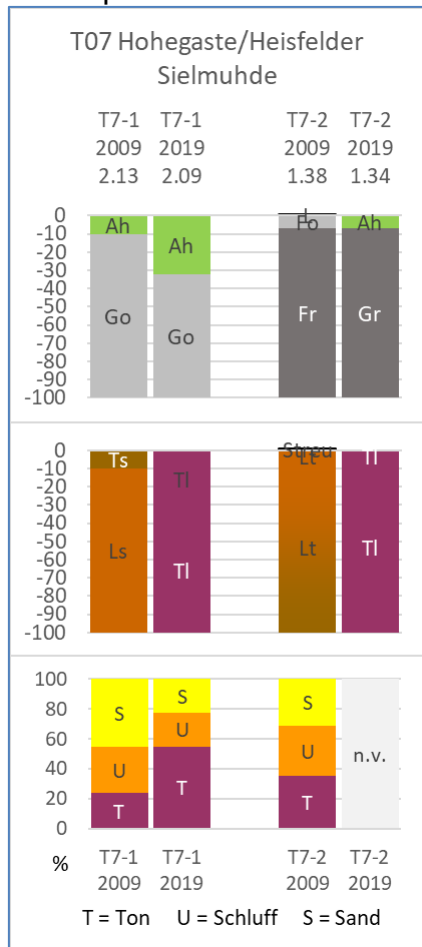
### Änderung der Bodenzusammensetzung

# Transekt 07 – Hohegaste/Heisfelder Sielmuhde

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



## Bodenprofile 2009 und 2019



## Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 2.5% weniger dichte/vitale Vegetation
- Vegetationsschluss des Getreiselstreifens bei 5-10m
  - ➡ stellenweise Vegetationsverdichtung
- einhergehend mit mittelstarker Tonablagerung

### Uferentwicklung

- 50-150cm Vegetationsverlust am Ufer
  - ➡ Ufererosion

### Geländeentwicklung

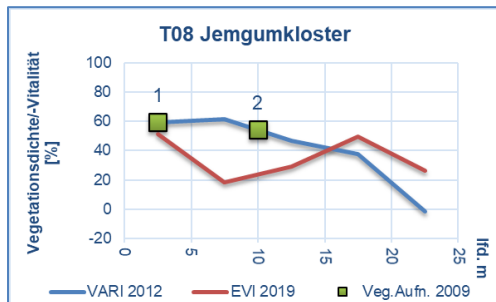
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➡ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

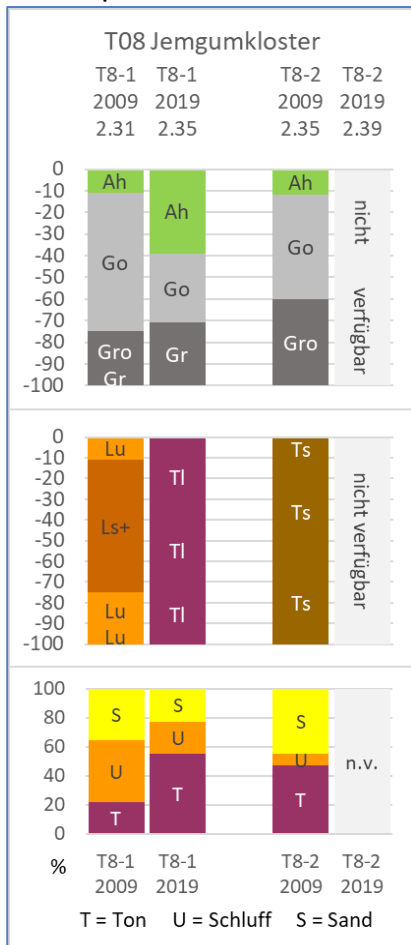
- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts (mehr Humus) im ersten Quadrat
  - ➡ Humusbildung
- Keine Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➡ keine Grundwasserspiegelverlagerung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden in Flussnähe
- Starke Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem und tonigem Lehm (Ls, Lt) zu lehmigem Ton (TI) im gesamten Transekt
  - ➡ Verschlickung

# Transekt 08 – Jemgumkloster

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



## Bodenprofile 2009 und 2019



## Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- bis zu 43% Abnahme der Vegetations-Dichte/Vitalität in den ersten 15m, verursacht durch Störung
- einhergehend mit starker Tonablagerung
- Mahd- und Getreibeseinwirkungen sichtbar
  - ➔ stellenweise Vegetationslückenbildung

### Uferentwicklung

- kein Vegetationsverlust am Ufer
  - ➔ keine Ufererosion

### Geländeentwicklung

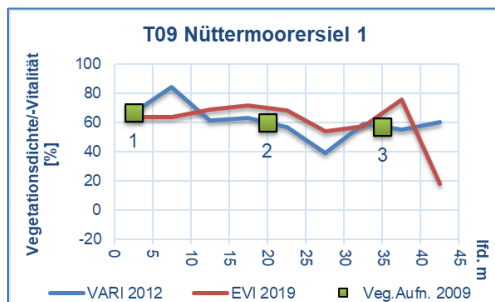
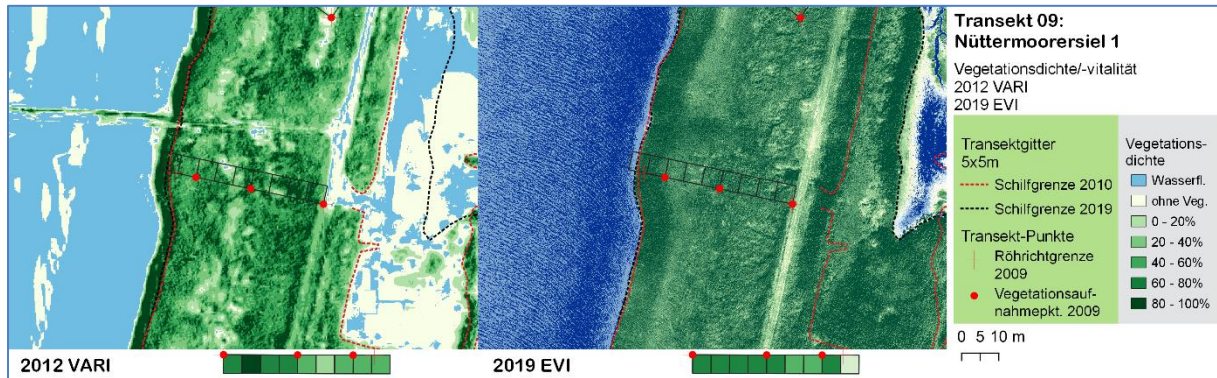
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

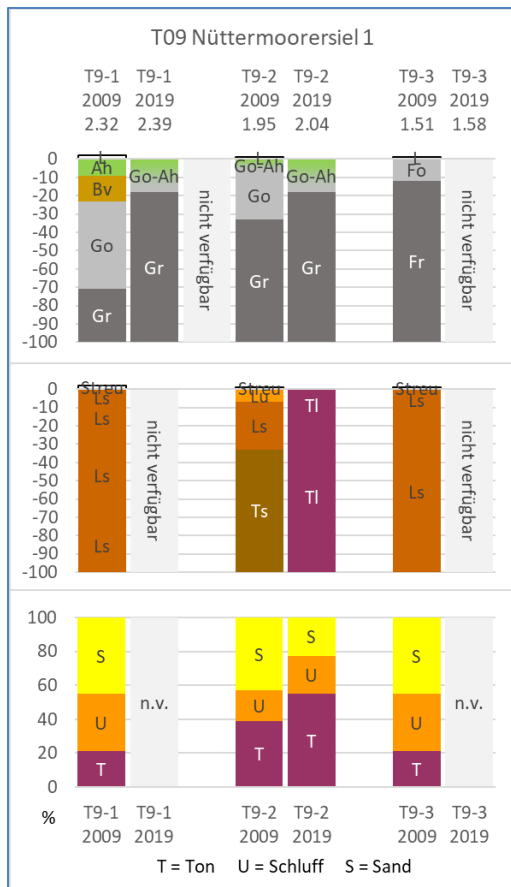
- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- leichte Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ geringe Grundwasserspiegelverlagerung
- starke Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)
  - ➔ Verschlickung

# Transekt 09 – Nüttermoorersiel 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



## Bodenprofile 2009 und 2019



## Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- bis zu 15% dichtere/vitalere Vegetation im Bereich 10-35m, dort Zuwachsen der Getreiselstreifen einhergehend mit leichter Schlickablagerung
- um 20% dichtere/vitalere Vegetation im Uferstreifen
  - ➔ stellenweise Vegetationsverdichtung

### Uferentwicklung

- 20-80cm Vegetationszuwachs am Ufer
  - ➔ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

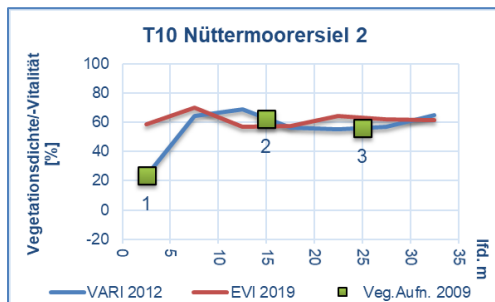
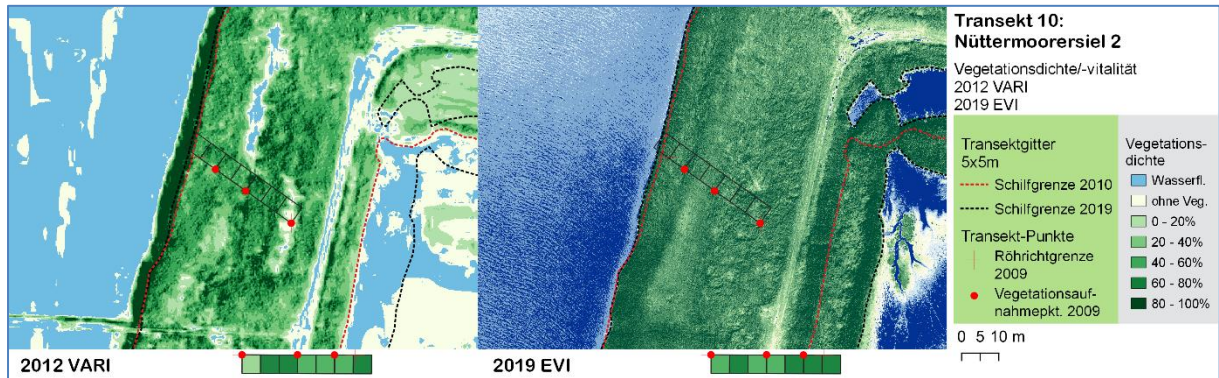
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

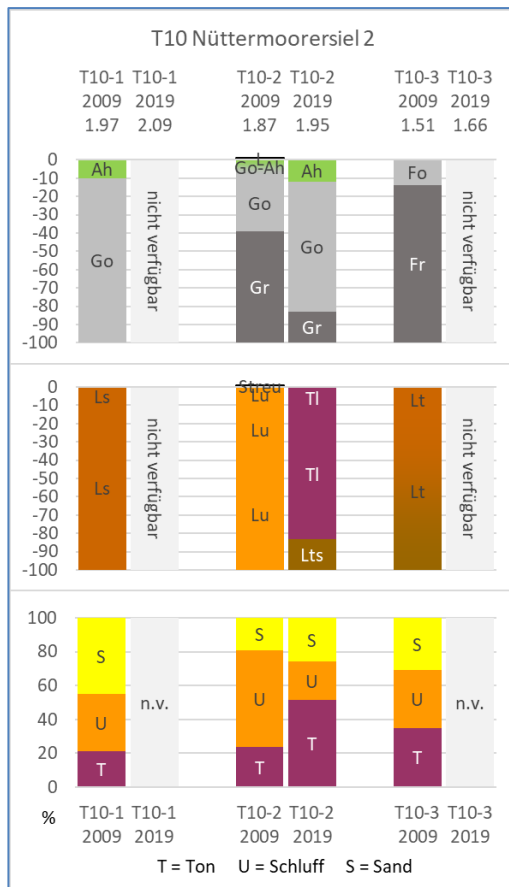
- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ Grundwasserspiegelanstieg
- vermutlich Entwicklung vom Watt zum Marschboden in Flussnähe
- Zunahme des Tongehalts im mittleren Transektbereich
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)
  - ➔ leichte Verschlickung

## Transekt 10 – Nüttermoorersiel 2

### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

#### Vegetationsentwicklung

- Vegetationsverlust von 35% im ersten Transektquadrat aufgrund Getreiselstreifen
- im Mittel um 8% dichtere/vitalere Vegetation im weiteren Verlauf, einhergehend mit mäßiger Tonablagerung
- ➔ leichte Vegetationsverdichtung

#### Uferentwicklung

- 100-120cm Vegetationszuwachs am Ufer
- ➔ Uferzuwachs

#### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➔ keine Geländeänderungen

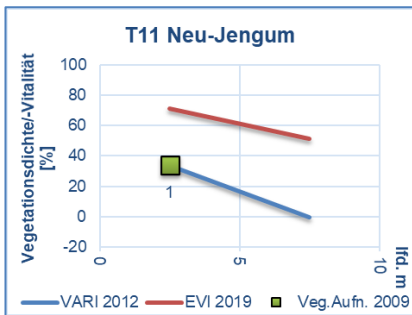
#### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
- ➔ Humusbildung
- Im mittleren Bereich Tieferverlagerung des Gr-Horizonts
- ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- vermutlich Entwicklung vom Watt zum Marschboden in Flussnähe
- Zunahme des Tongehalts und Abnahme des Schluffgehalts
- Verschiebung von schluffigem Lehm (Lu) zu lehmigem Ton (TI)
- ➔ mäßige Verschlickung

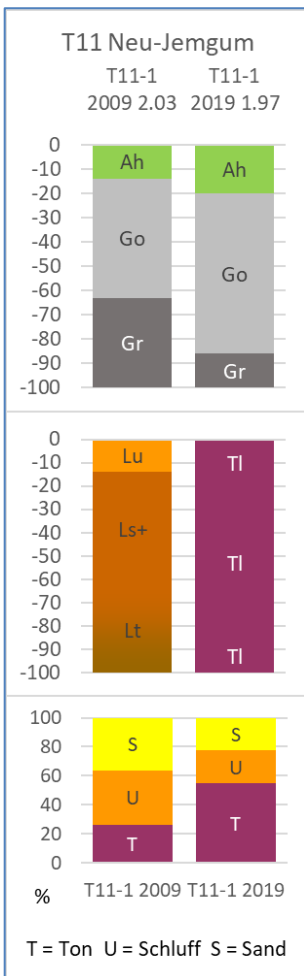


# Transekt 11 – Neu-Jemgum

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



## Bodenprofile 2009 und 2019



## Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- um 38-52% dichtere/vitalere Vegetation, einhergehend mit starker Tonablagerung  
 ➔ leichte Vegetationsverdichtung

### Uferentwicklung

- 110-120cm Vegetationszuwachs am Ufer  
 ➔ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

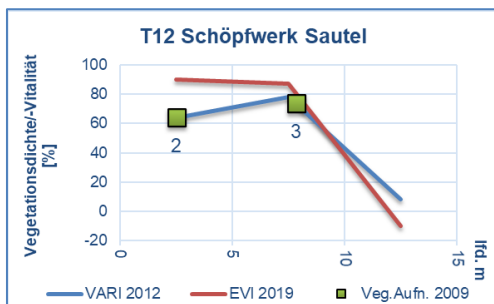
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich  
 ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts  
 ➔ Humusbildung
- Tieferverlagerung des Gr-Horizonts  
 ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem-schluffigem-tonigen Lehm (Ls, Lu, Lt) zu lehmigem Ton (Tl)  
 ➔ mäßige Verschlickung

# Transekt 12 – Schöpfwerk Sautel

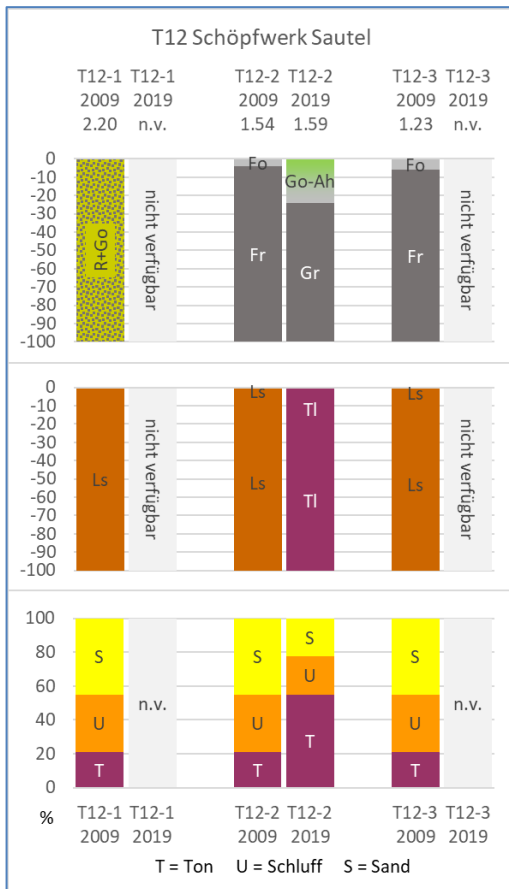
## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- um 9% bis 26% dichtere/vitalere Vegetation auf den ersten 10m, einhergehend mit starker Tonablagung  
 ➔ leichte Vegetationsverdichtung
- Bereich zw. T12-1 und T12-2 in 2009 umgepflügt

## Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 50-80cm Vegetationszuwachs am Ufer  
 ➔ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich oder nicht berechenbar  
 ➔ keine Geländeänderungen

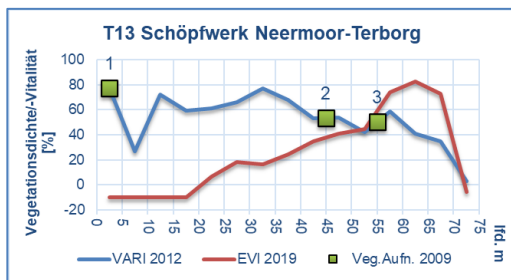
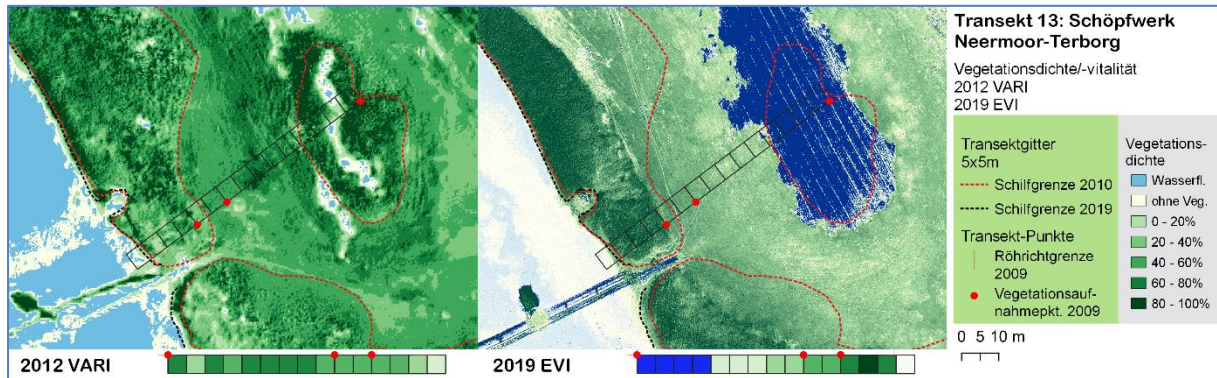
### Bodenentwicklung

- Entwicklung des Ah-Horizonts  
 ➔ Humusbildung
- Absenkung des Gr-Horizonts  
 ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden in Flussnähe
- Starke Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm (Ls) zu lehmigem Ton (TI)  
 ➔ Verschlickung

## Änderung der Bodenzusammensetzung

# Transekt 13 – Schöpfwerk Neermoor-Terborg

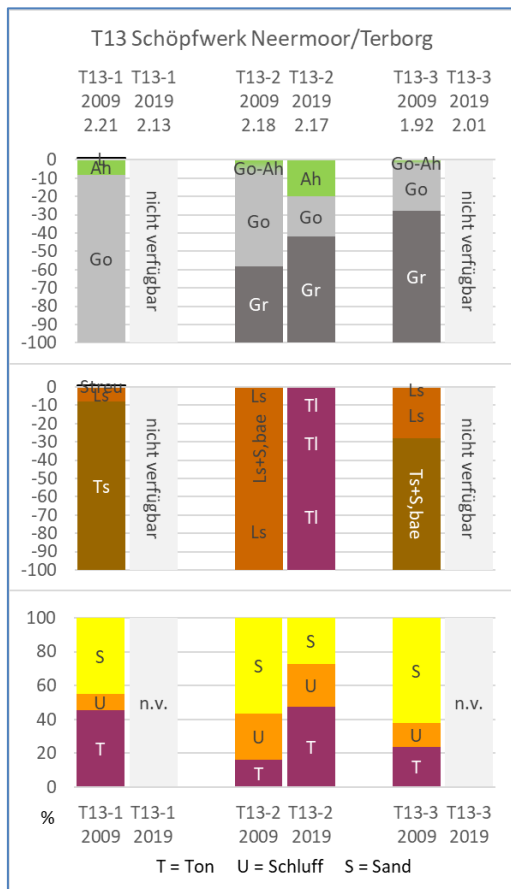
## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Mittel 51% (13-87%) Rückgang der Vegetation auf 50 Transekt-Metern (Rückstaubereich?)  
 ➔ Vegetationsausdünnung
- bis 42% Zunahme auf den 15m Uferstreifen, einhergehend mit starker Tonablagerung  
 ➔ Vegetationsverdichtung

## Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 60-100cm Vegetationszuwachs am Ufer  
 ➔ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich  
 ➔ keine Geländeänderungen
- Leichte Absenkung am Transektbeginn in blauer Senke

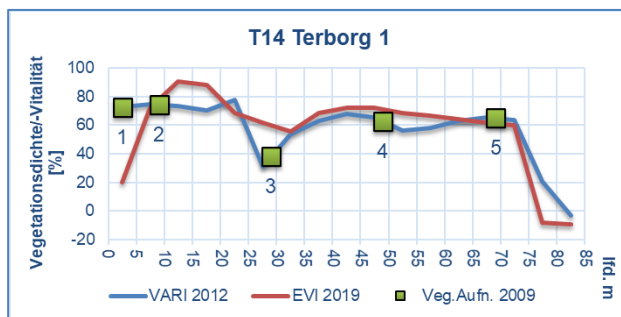
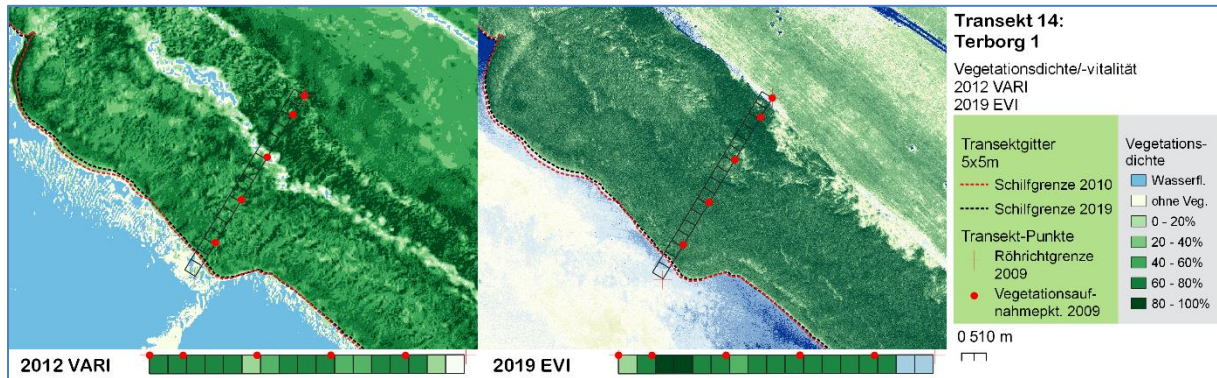
### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts  
 ➔ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts  
 ➔ Grundwasserspiegelanstieg
- starke Zunahme des Tongehalts  
 ➔ Verschiebung von sandigem Lehm (Ls) zu lehmigem Ton (TI)
- Verschlickung

## Änderung der Bodenzusammensetzung

# Transekt 14 – Terborg 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Mittel um 7%, stellenweise bis zu 30% dichtere/vitalere Vegetation, einhergehend mit starker Schluffablagerung  
➡ Vegetationsverdichtung
- Rückgang im ersten Transektquadrat aufgrund von Nutzung (Mahd)

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 40-100cm Vegetationsverlust am Ufer  
➡ Ufererosion

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich  
➡ keine Geländeänderungen

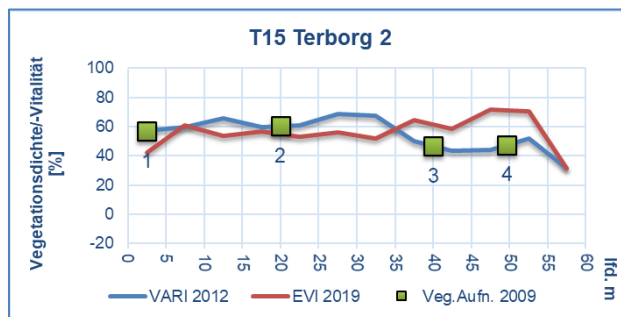
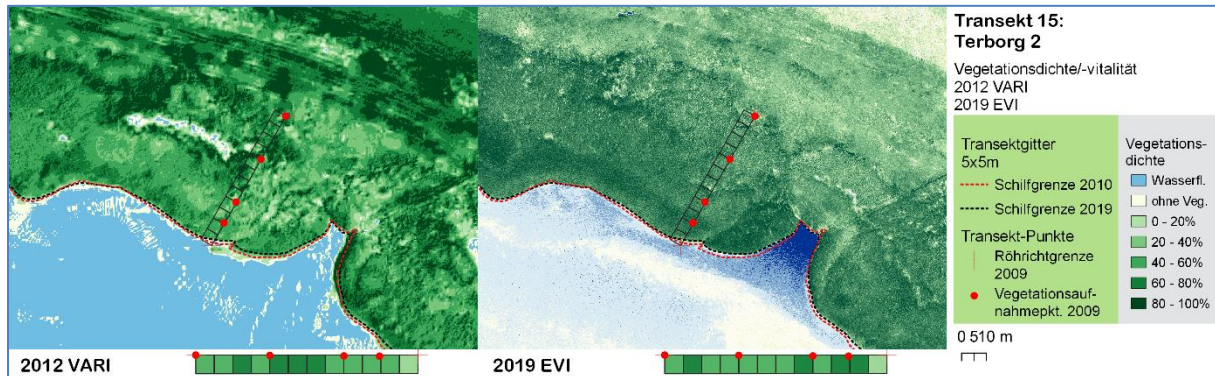
### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts  
➡ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts  
➡ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden in Flussnähe
- starke Zunahme des Ton- und Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem und schluffigem Lehm (Ls, Lu) und Ton (Ts) zu stark schluffigem Ton (Tu3) oder schluffigem Sand im Bereich mit vormaligen Sandbändern  
➡ Verschlickung

### Änderung der Bodenzusammensetzung

## Transekt 15 – Terborg 2

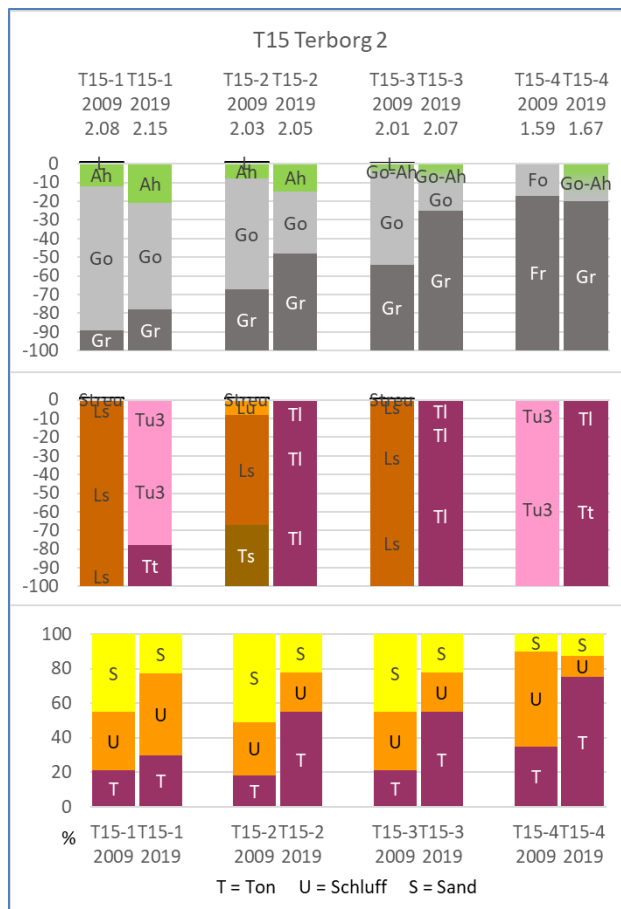
### Vegetationsprofile 2012 und 2019



**Vegetationsentwicklung**

- im Bereich von 0-35m im Mittel 9% (+1.3 bis -16%) weniger dichtere/vitalere Vegetation
- rund 19% (14-27%) dichtere/vitalere Vegetation in der flussseitigen Transekthälfte
- ➔ Vegetationsdichte/-vitalität folgt dem Ton+Schluff-Gehalt

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

**Uferentwicklung**

- 60-150cm Vegetationsverlust am Ufer
- ➔ Ufererosion

**Geländeentwicklung**

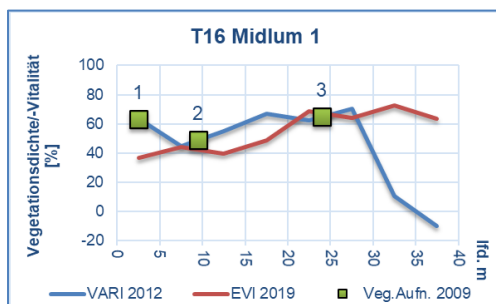
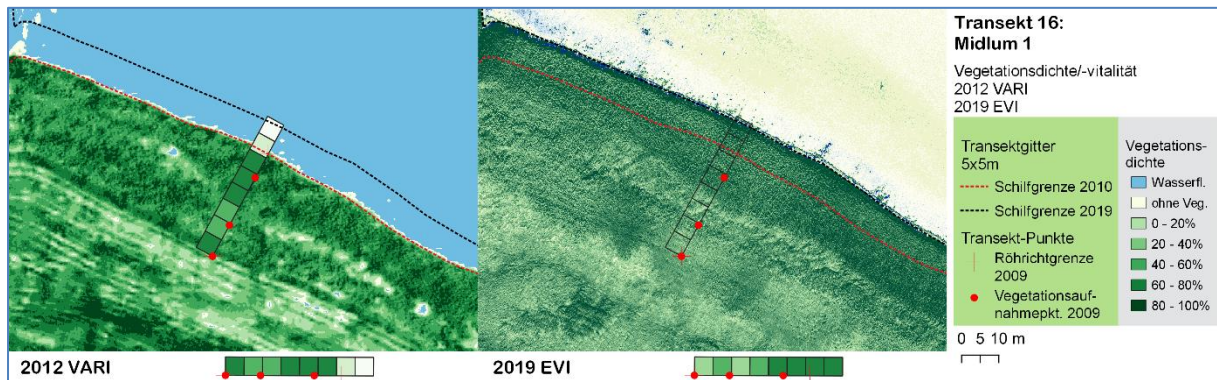
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➔ keine Geländeänderungen

**Bodenentwicklung**

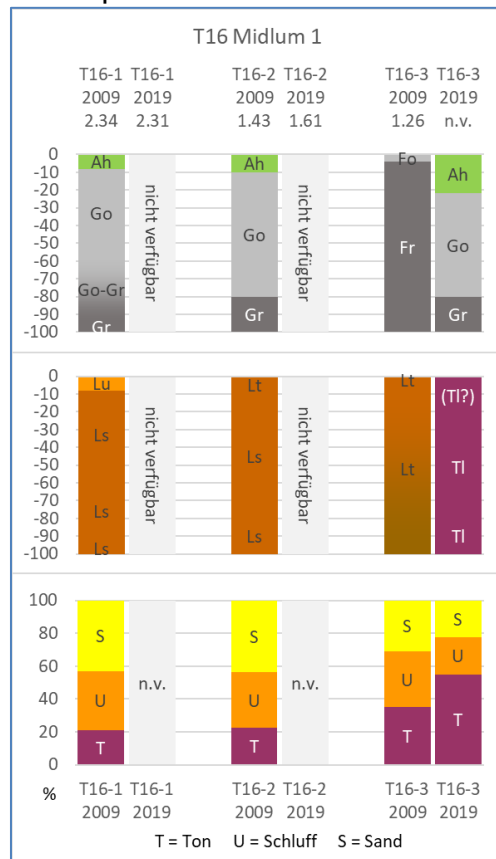
- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
- ➔ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts
- ➔ Grundwasserspiegelerhöhung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden in Flussnähe
- Starke Zunahme des Ton- bzw. Ton-Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem und mittel schluffigem Ton (TI, Tu3), n Ufernähe von schluffigem Ton (Tu3) zu Reinton (Tt)
- ➔ Verschlickung

# Transekt 16 – Midlum 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 0-30m im Mittel 10% weniger dichtere/ vitalere Vegetation
- starke Vegetationsverdichtung (68%) am Flussufer (Bodenzuwachs)
  - ➔ Vegetationsverdichtung auf Uferzuwachs

### Uferentwicklung

- ~800cm Vegetationszuwachs am Ufer
  - ➔ starker Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

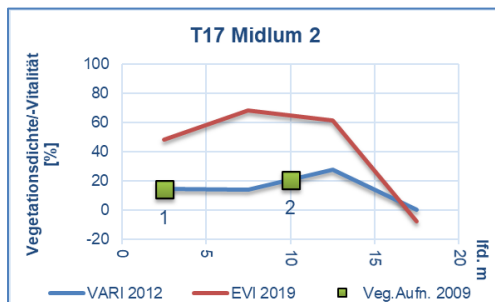
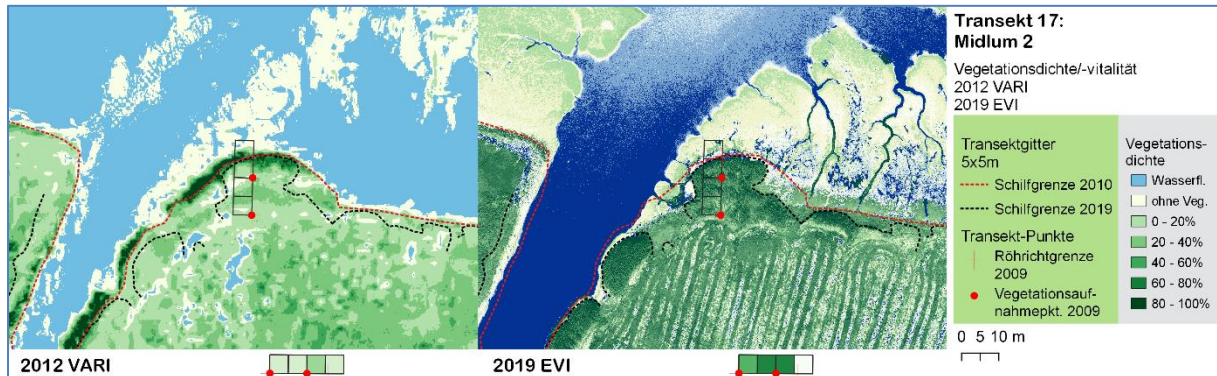
- Geländeerhöhung im mittleren Bereich
  - ➔ sonst keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

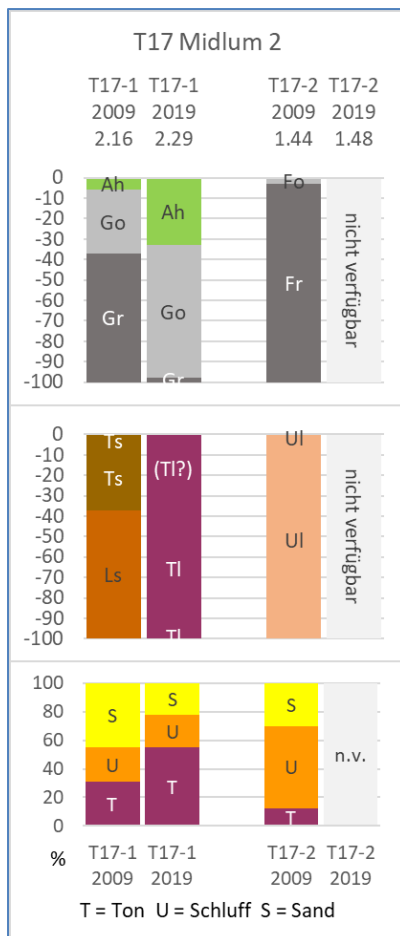
- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ Grundwasserspiegelerhöhung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden in Flussnähe
- Starke Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm (Ls) zu lehmigem Ton (Tl) in Ufernähe
  - ➔ Verschlickung

## Transekt 17 – Midlum 2

### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

#### Vegetationsentwicklung

- im Mittel 40% (34 bis 54%) dichtere/ vitalere Vegetation  
 ➔ Vegetationsdichte/-vitalität folgt dem Ton+Schluff-Gehalt

#### Uferentwicklung

- 0-80cm Vegetationsverlust am Ufer  
 ➔ Ufererosion

#### Geländeentwicklung

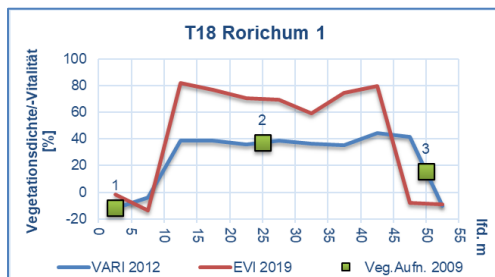
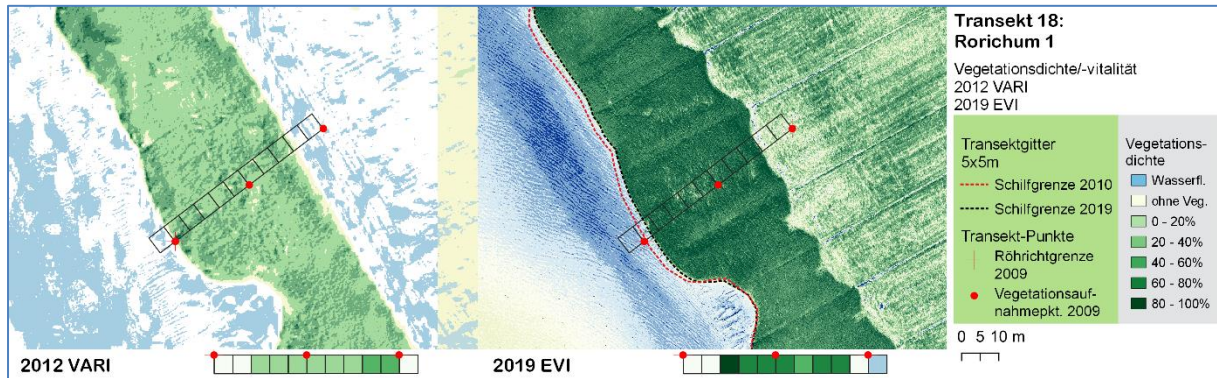
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich  
 ➔ keine Geländeänderungen

#### Bodenentwicklung

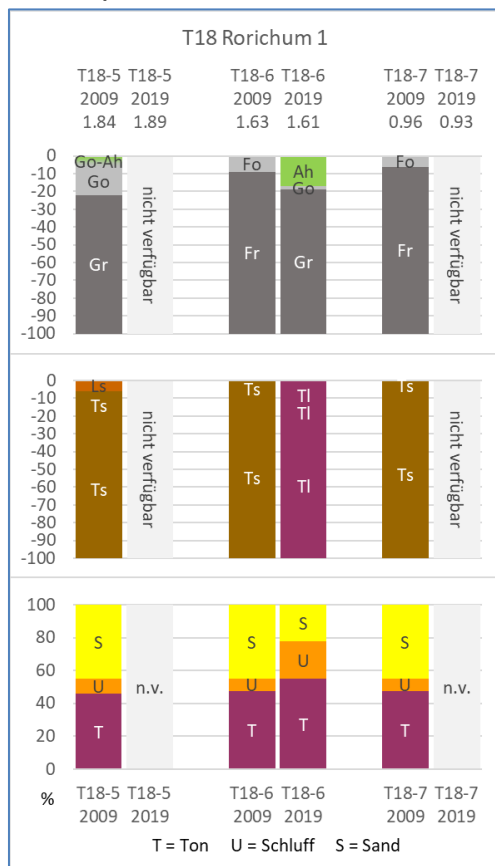
- Zunahme des Ah-Horizonts  
 ➔ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts  
 ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Starke Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)  
 ➔ Verschlickung

# Transekt 18 – Rohrichum 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 10-45m im Mittel um 35% (23 bis 43%) dichtere/ vitalere Vegetation
- Verlust am Ufer
  - ➔ Vegetationsdichte/-vitalität folgt dem Ton+Schluff-Gehalt

### Uferentwicklung

- ~200cm Vegetationsverlust am Ufer
- ➔ starke Ufererosion

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➔ keine Geländeänderungen

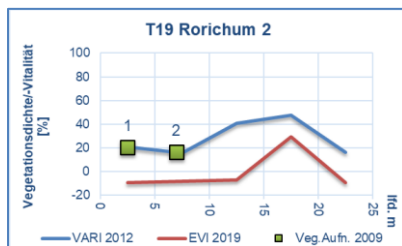
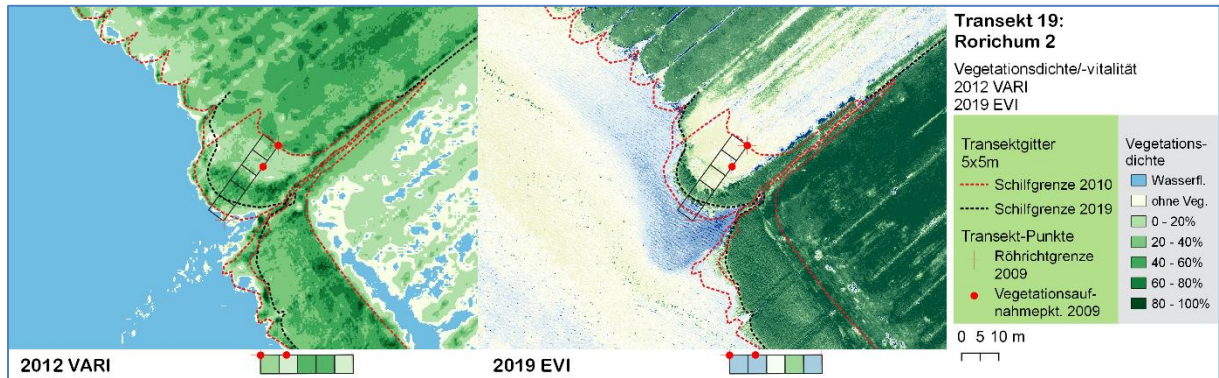
### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- Leichte Tieferverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden in Flussnähe
- Starke Zunahme des Ton+Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Ton (Ts) zu lehmigem Ton (Tl)
  - ➔ Verschlickung



## Transekt 19 – Rohrichum 2

### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Mittel 30% (18 bis 48%) weniger dichtere/ vitalere Vegetation im gesamten Transekt
- ➔ Vegetationsdichte/-vitalität folgt dem Ton+Schluff-Gehalt

### Uferentwicklung

- 340-400cm Vegetationsverlust am Ufer
- ➔ starke Ufererosion

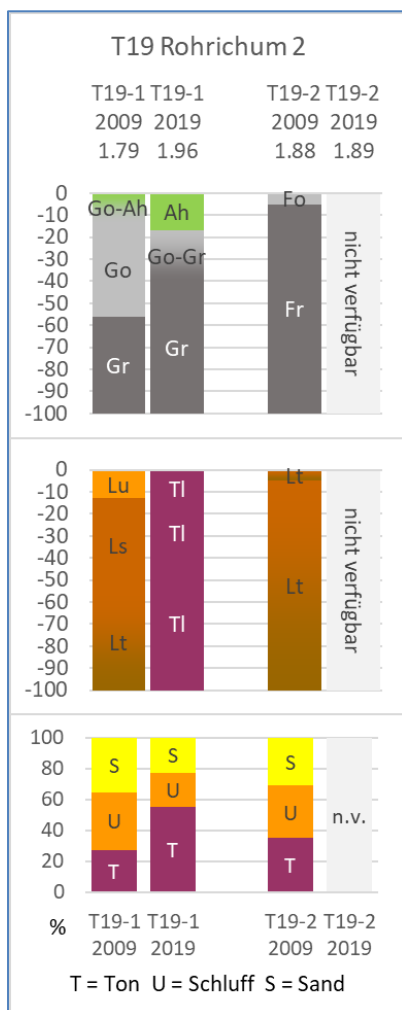
### Geländeentwicklung

- Geländeerhöhung im 1. Transektquadrat, am Ufer keine
- ➔ Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

- leichte Zunahme des Ah-Horizonts
- ➔ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts
- ➔ Grundwasserspiegelerhöhung
- Starke Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von schluffigem und sandigem Lehm (Lu, Ls) zu lehmigem Ton (TI)
- ➔ Verschlickung

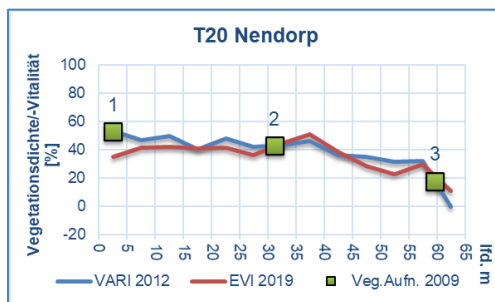
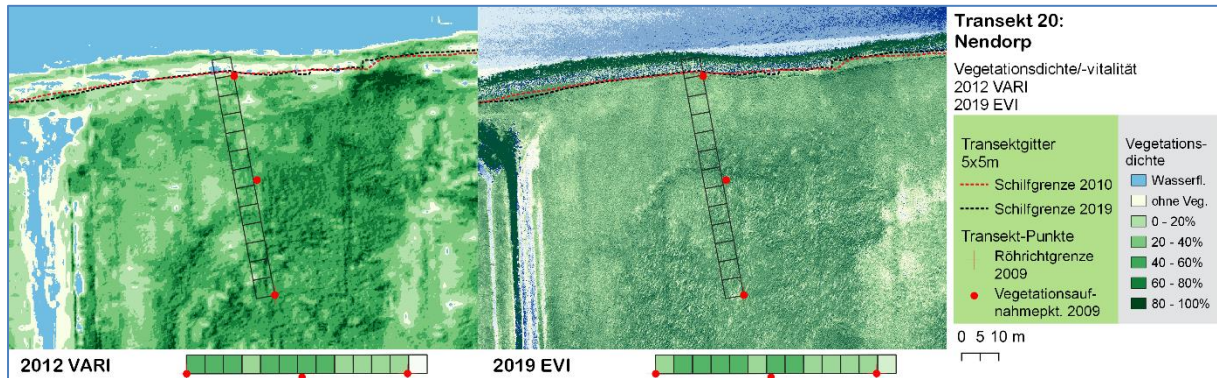
### Bodenprofile 2009 und 2019



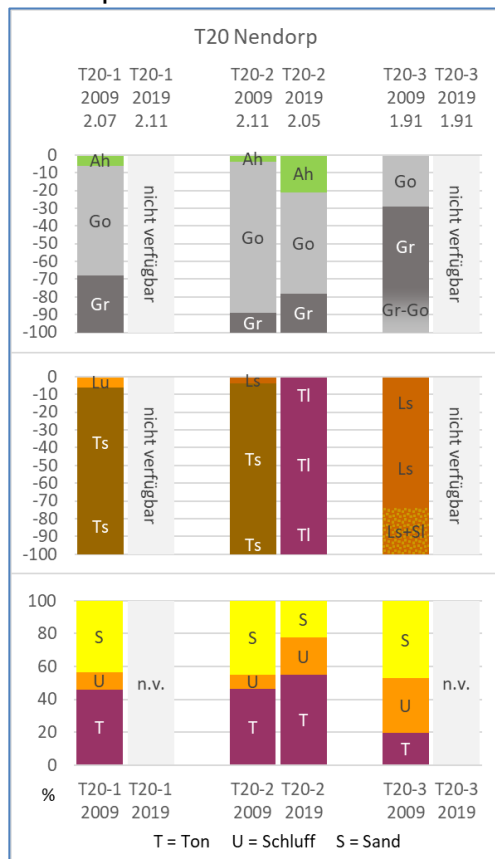
### Änderung der Bodenzusammensetzung

# Transekt 20 – Nendorp

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

#### Vegetationsentwicklung

- im Mittel geringer Verlust von 4% der Vegetationsdichte/-vitalität
- leichte Verdichtung am Ufer  
 ➡ ±gleichbleibende Vegetationsdichte/-vitalität

#### Uferentwicklung

- 10-40cm Vegetationsverlust am Ufer  
 ➡ Ufererosion

#### Geländeentwicklung

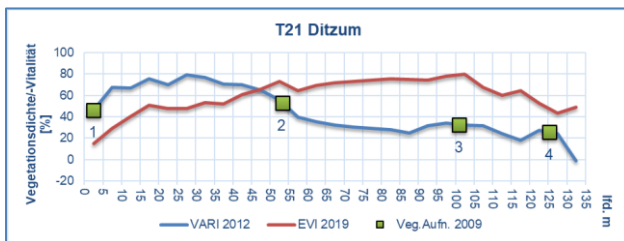
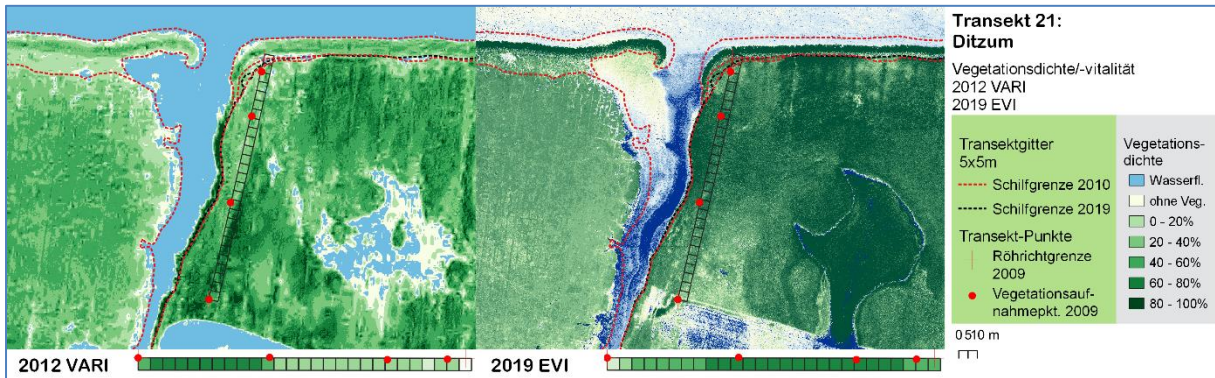
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich  
 ➡ keine Geländeänderungen

#### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts  
 ➡ Humusbildung
- leichte Höherverlagerung des Gr-Horizonts  
 ➡ Grundwasserspiegelerhöhung
- Zunahme des Ton- und Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)  
 ➡ Verschlickung

# Transekt 21 – Ditzum

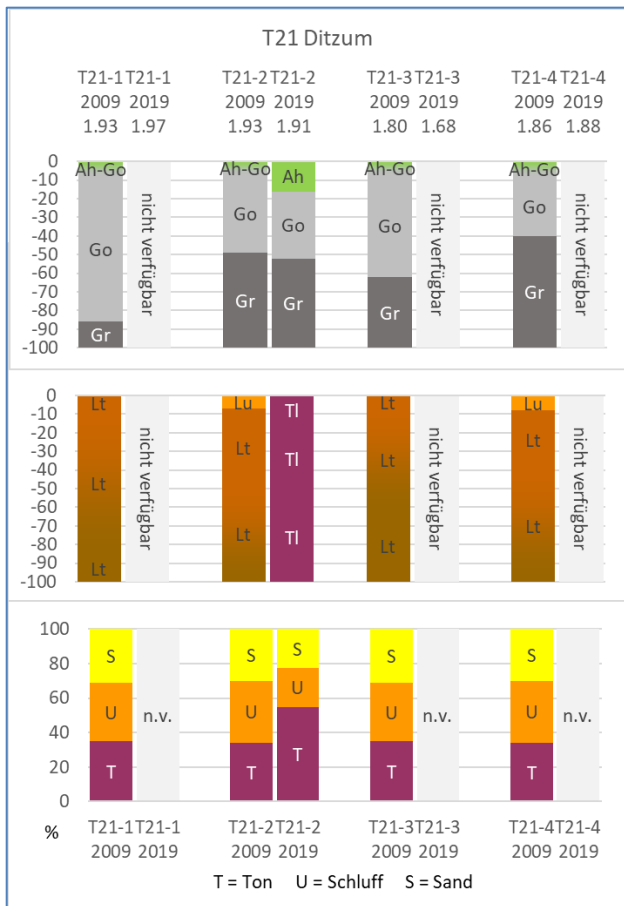
## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im südlichen Bereich von 0-50m im Mittel 25% (9 bis 38%) Vegetationsverluste
- im weiteren Verlauf im Mittel 38% Zuwachs (17-50%)
  - ➡ Vegetationsdichte/-vitalität folgt dem Ton+Schluff-Gehalt

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 60-280cm Vegetationsverlust am Ufer
- ➡ Ufererosion

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➡ keine Geländeänderungen

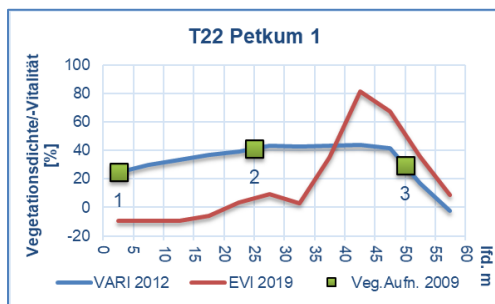
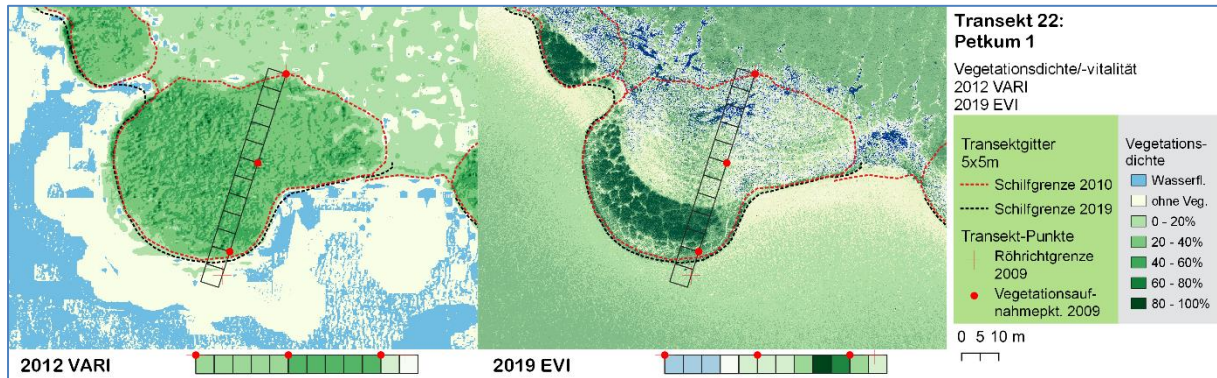
### Bodenentwicklung

- Leichte Zunahme des Ah-Horizonts
  - ➡ Humusbildung
- keine Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➡ keine Grundwasserspiegeländerung
- Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von schluffigem und tonigem Lehm (Lu, Ls) zu lehmigem Ton (TI)
  - ➡ Verschlickung

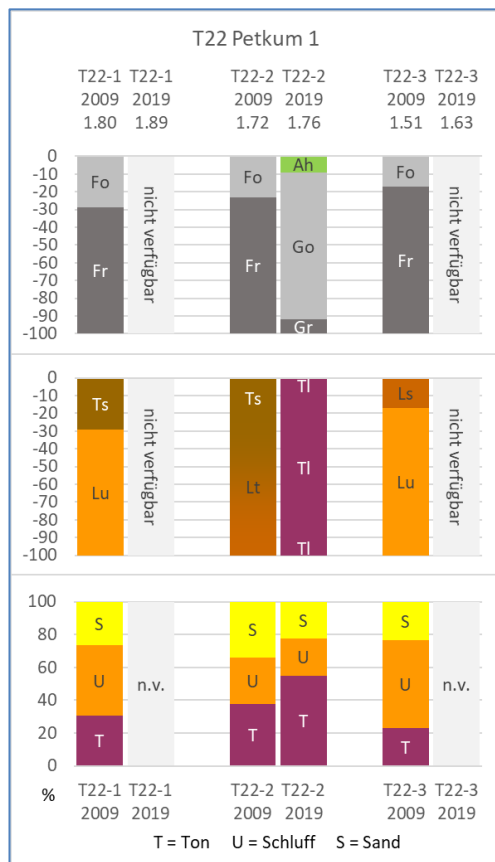
### Änderung der Bodenzusammensetzung

# Transekt 22 – Petkum 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 0-35m im Mittel 9% (+1.3 bis -16%) weniger dichtere/vitalere Vegetation
- rund 19% (14-27%) dichtere/vitalere Vegetation in der flussseitigen Transekthälfte
  - ➔ starke Verkleinerung der Röhrichte auf Bestände in Ufernähe

### Uferentwicklung

- 90-120cm Vegetationszuwachs am Ufer
  - ➔ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

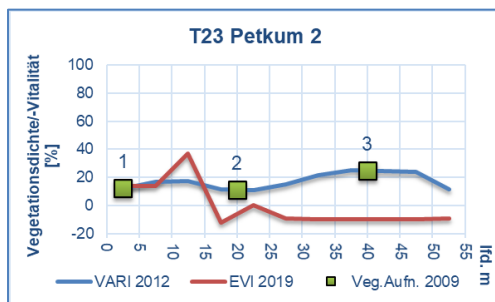
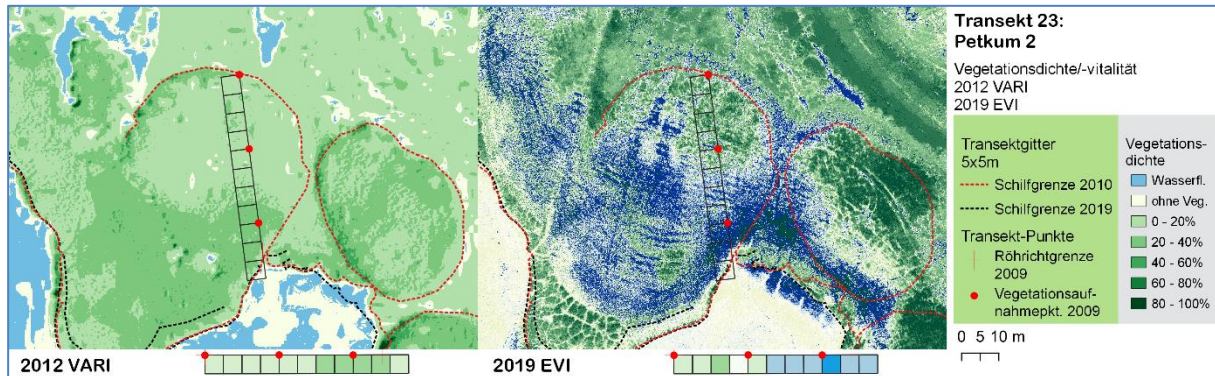
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

- Bildung eines Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden
- Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)
  - ➔ Verschlickung

## Transekt 23 – Petkum 2

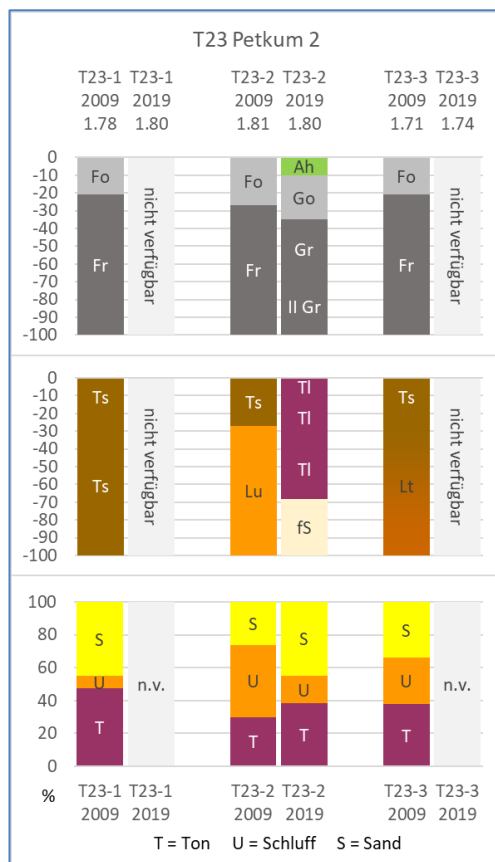
### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 0-15m 2-19% Zunahme
- im weiteren Transektverlauf im Mittel 24% Verlust (3-35%)
  - ➡ starke Verkleinerung der Röhrichte (Sturmflutauswirkungen?)

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Uferentwicklung

- 20-40cm Vegetationsverlust am Ufer
- ➡ Ufererosion

### Geländeentwicklung

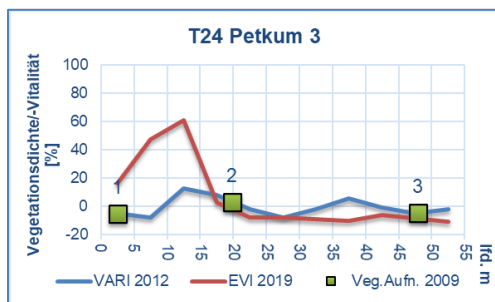
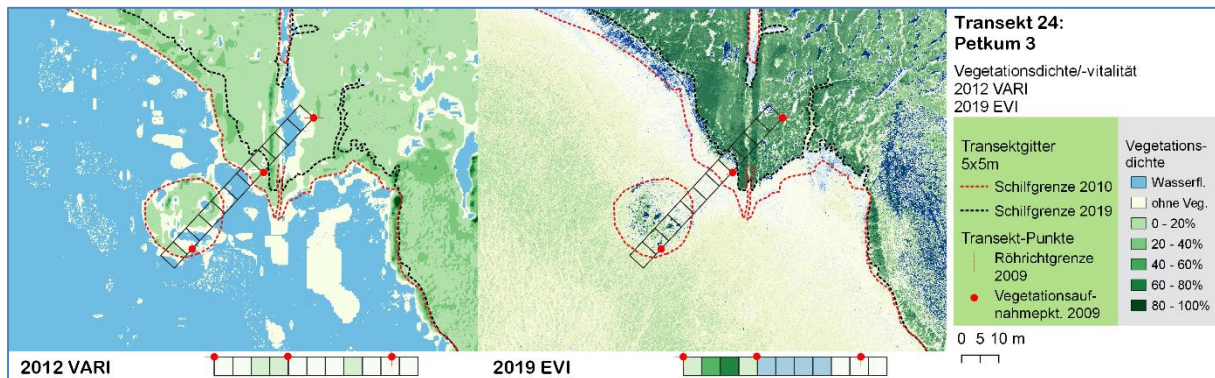
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➡ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

- Bildung eines Ah-Horizonts
  - ➡ Humusbildung
- leichte Tiefverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➡ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden
- Zunahme des Schluff- und Tongehalts
- Verschiebung von schluffigem Lehm und sandigem Ton (Lu, Ts) zu lehmigem Ton (Tl) mit Feinsandschicht (woher?) ab 70cm Tiefe
  - ➡ Verschlickung

## Transekt 24 – Petkum 3

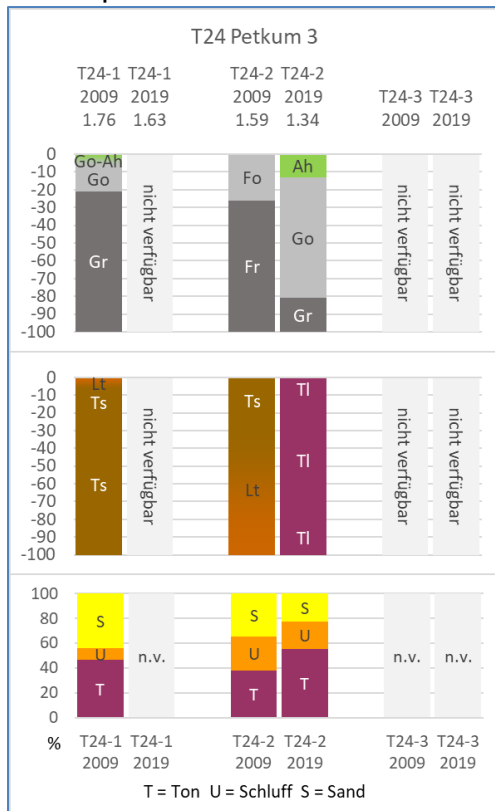
### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 20-55m im Mittel 6.4% (0 bis 15%) Vegetationsverlust, d.h. Verschwinden
- im Bereich von 0-20m 22% (21-55%) dichtere/vitalere Vegetation  
➔ starker Vegetationsrückgang durch Erosion

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 600-650cm Vegetationsverlust am Ufer, Verlust der Insel  
➔ Ufererosion

### Geländeentwicklung

- ca. 30cm Geländeabsenkung direkt am Ufer (Pkt. 2)  
➔ starke Geländeänderungen

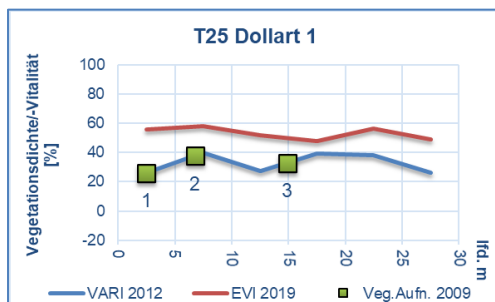
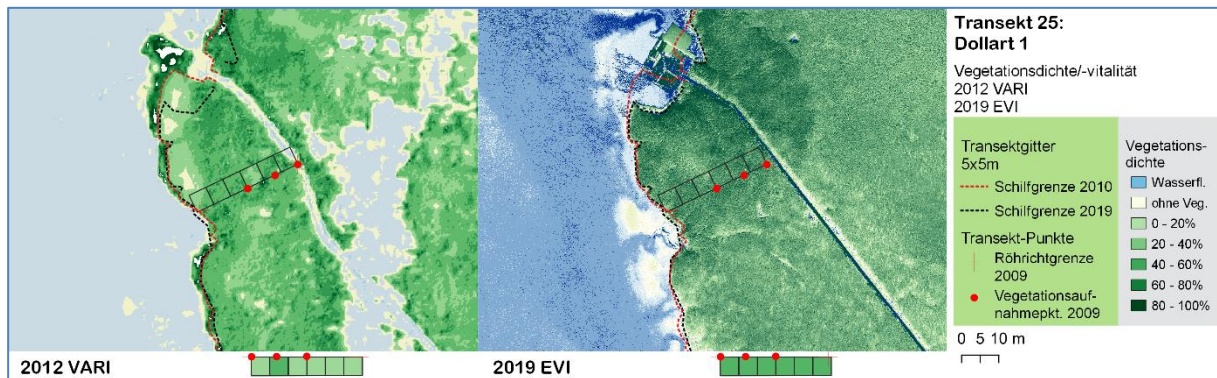
### Bodenentwicklung

- Bildung eines Ah-Horizonts  
➔ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts  
➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden
- Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von tonigem Lehm und sandigem Ton (Lt, Ts) zu lehmigem Ton (Tl)  
➔ Verschlickung

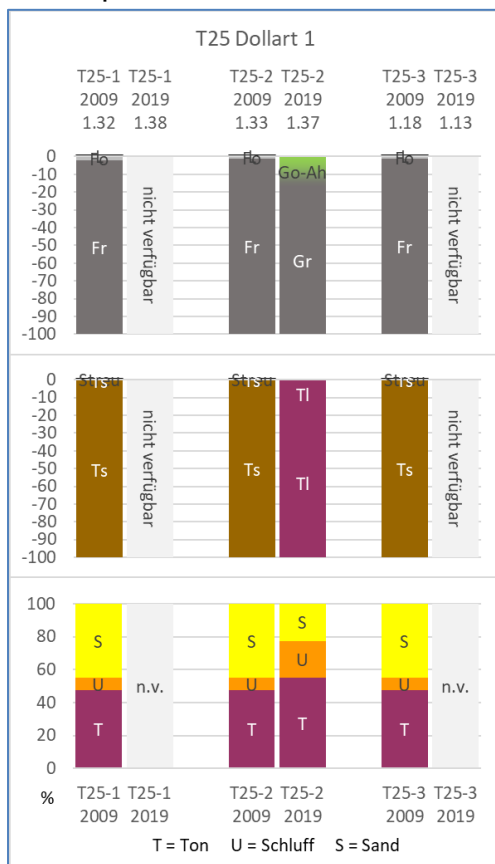
### Änderung der Bodenzusammensetzung

# Transekt 25 – Dollart 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

#### Vegetationsentwicklung

- Vegetationszunahme im Mittel um 20% (9 bis 29%) im gesamten Transekt
- ➔ Vegetationsverdichtung

#### Uferentwicklung

- Bis 160cm Uferverluste auf der Südhälfte des Transekt, 60cm Zuwachs auf der Nordhälfte
- ➔ Uferzuwachs und -verlust

#### Geländeentwicklung

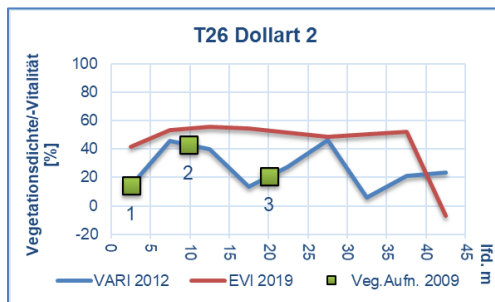
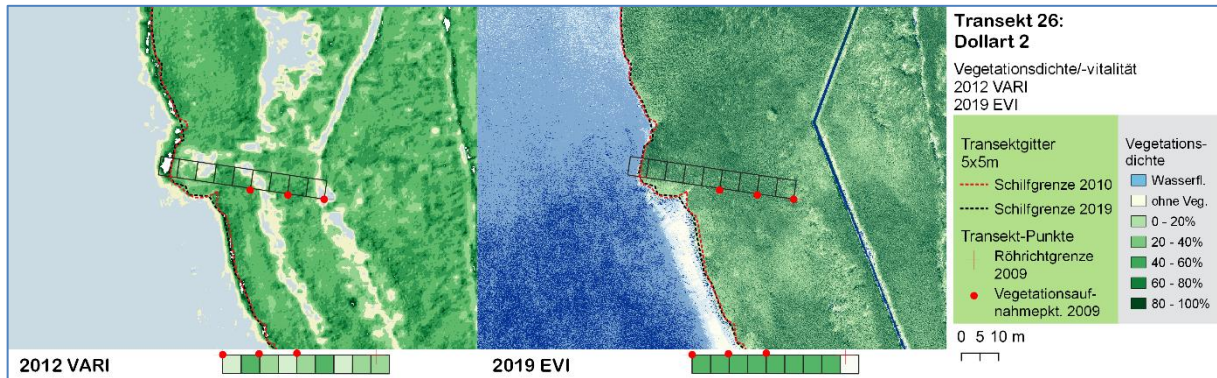
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➔ keine Geländeänderungen

#### Bodenentwicklung

- Bildung eines Ah-Horizonts
- ➔ Humusbildung
- leichte Tieferverlagerung des Gr-Horizonts
- ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Entwicklung vom Watt- zum Marschboden
- Zunahme des Ton- und Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Ton (Ts) zu lehmigem Ton (TI)
- ➔ Verschlickung

## Transekt 26 – Dollart 2

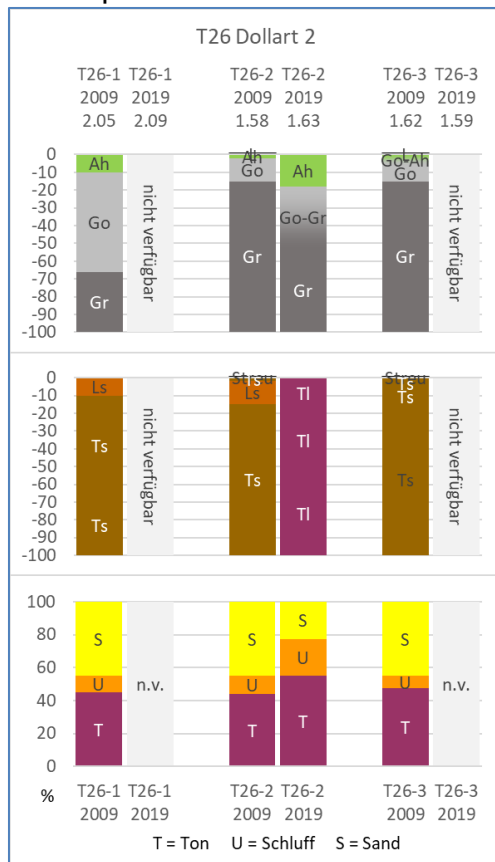
### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Mittel 24% (8 bis 45%) dichtere/vitalere Vegetation im gesamten Transekt
- Verlust der Vegetation im letzten Quadrat (2019 im Wasser)
  - ➡ Vegetationsverdichtung

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 15-35cm Vegetationszuwachs am Ufer
  - ➡ Uferzuwachs

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➡ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

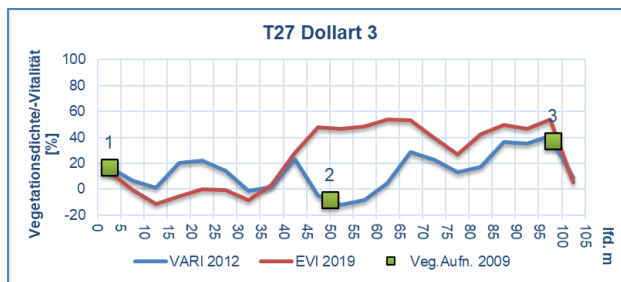
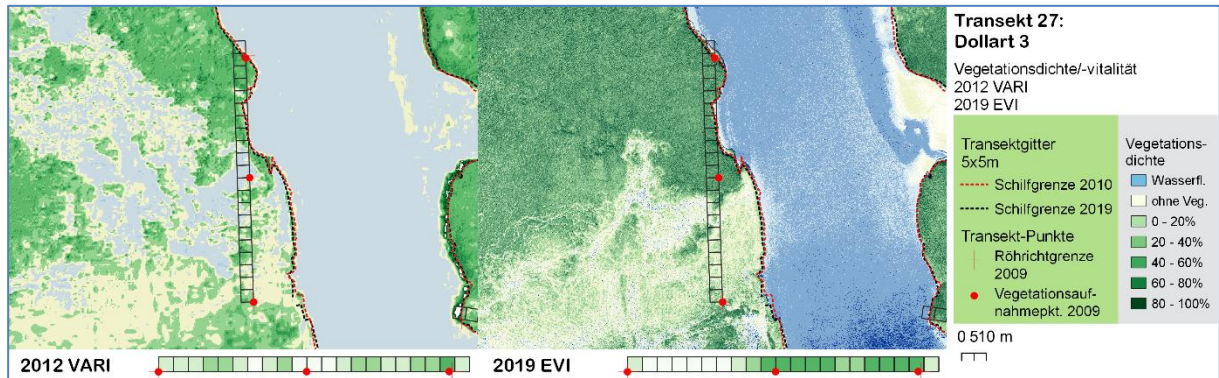
- Bildung eines Ah-Horizonts
  - ➡ Humusbildung
- Tieferverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➡ Grundwasserspiegelabsenkung
- Zunahme des Ton- und Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)
  - ➡ Verschlickung

### Änderung der Bodenzusammensetzung



## Transekt 27 – Dollart 3

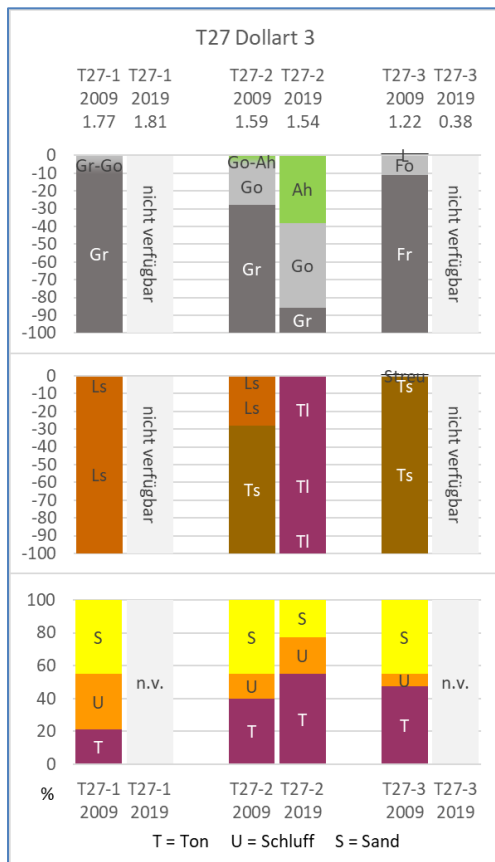
### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 0-40m im Mittel 13% (4 bis 24%) Rückgang der Vegetationsdichte/-vitalität
- rund 26% (12-29%) dichtere/vitalere Vegetation in der nördlichen flussseitigen Transekthälfte
  - ➔ Verdichtung der Röhrichte in Ufernähe

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Uferentwicklung

- bis 130cm Vegetationserosion am Ufer, stellenweise bis 60cm Zuwachs
  - ➔ überwiegend Ufererosion

### Geländeentwicklung

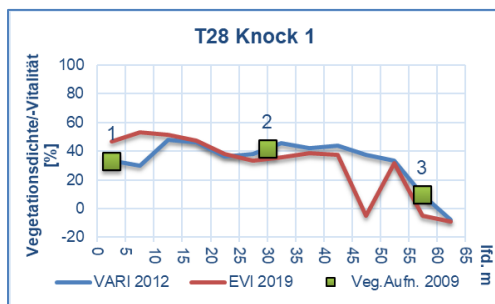
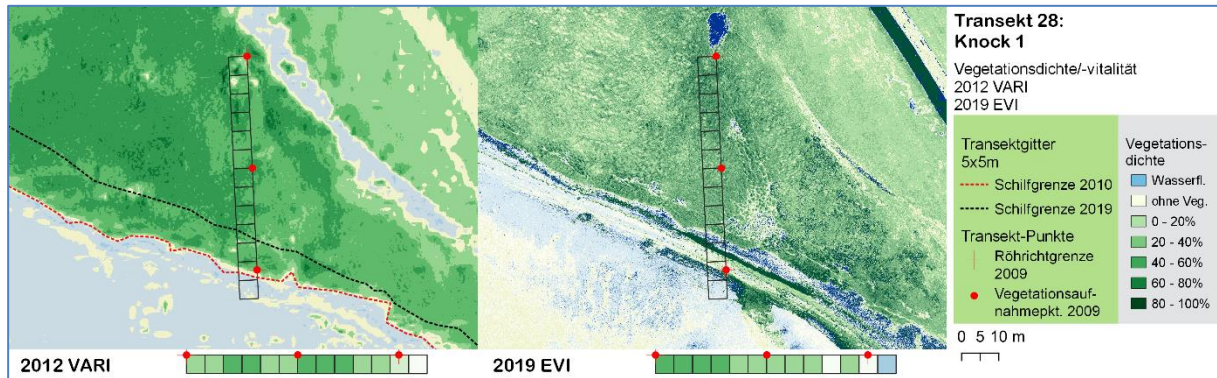
- 80cm Höhenverlust direkt am Ufer
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

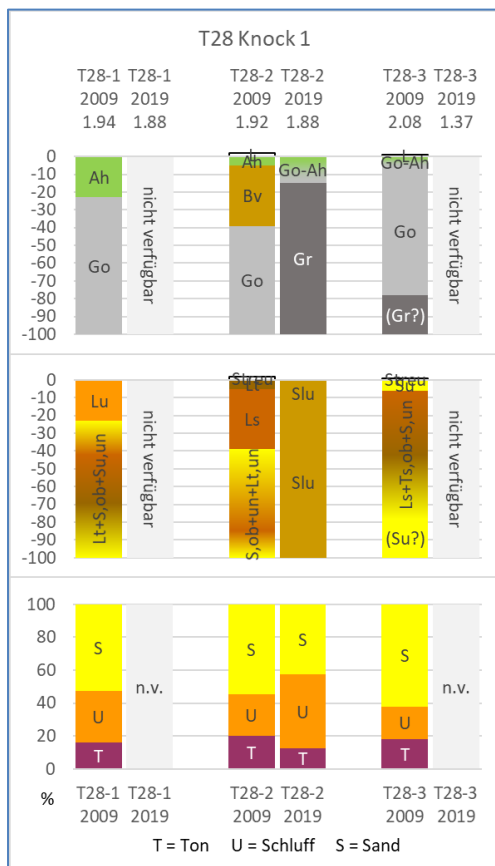
- Bildung eines Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- Tiefverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ Grundwasserspiegelabsenkung
- Zunahme des Ton- und Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu lehmigem Ton (TI)
  - ➔ Verschlickung

# Transekt 28 – Knock 1

## Vegetationsprofile 2012 und 2019



## Bodenprofile 2009 und 2019



## Änderung der Bodenzusammensetzung

### Vegetationsentwicklung

- im Bereich von 0-25m im Mittel 9% (1 bis 24%) dichtere/vitalere Vegetation
- rund 11% (1-43%) Verlust an Vegetationsdichte/-vitalität in der flussseitigen Transekthälfte
  - ➔ starke Verkleinerung der Röhrichte auf Bestände in Ufernähe

### Uferentwicklung

- 10-11.5m Vegetationsverlust am Ufer
  - ➔ starke Ufererosion

### Geländeentwicklung

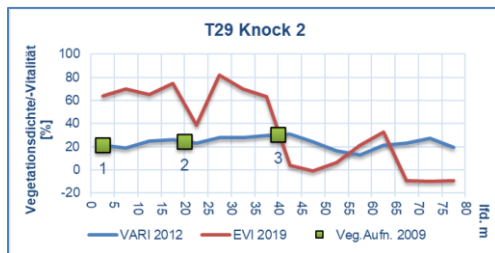
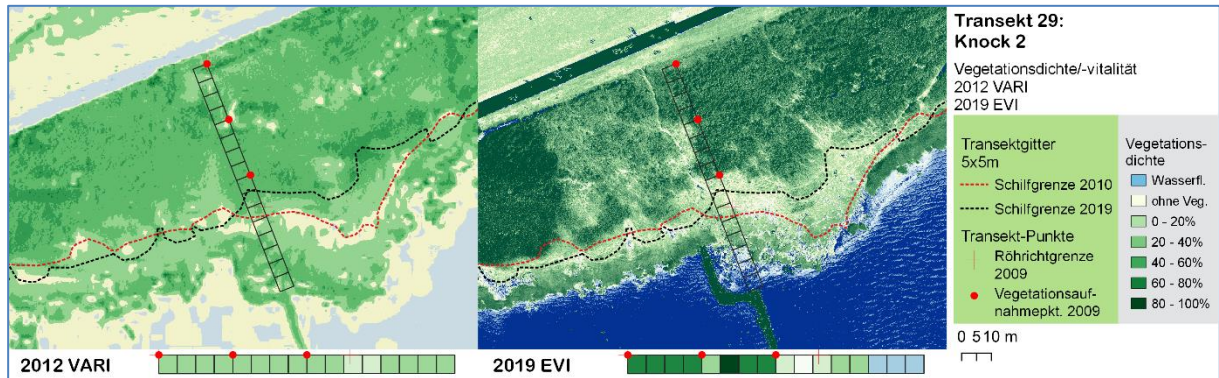
- rund 70cm Höhenverlust am Ufer
- im weiteren Transektverlauf Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

- Bildung eines Ah-Horizonts
  - ➔ Humusbildung
- starke Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➔ Grundwasserspiegelanstieg
- Zunahme des Schluffgehalts
- Verschiebung von sandigem und tonigem Lehm und Sand (Ls, Lt; S+Lt) zu lehmig-schluffigem Sand (Slu)
  - ➔ geringe Verschlickung

## Transekt 29 – Knock 2

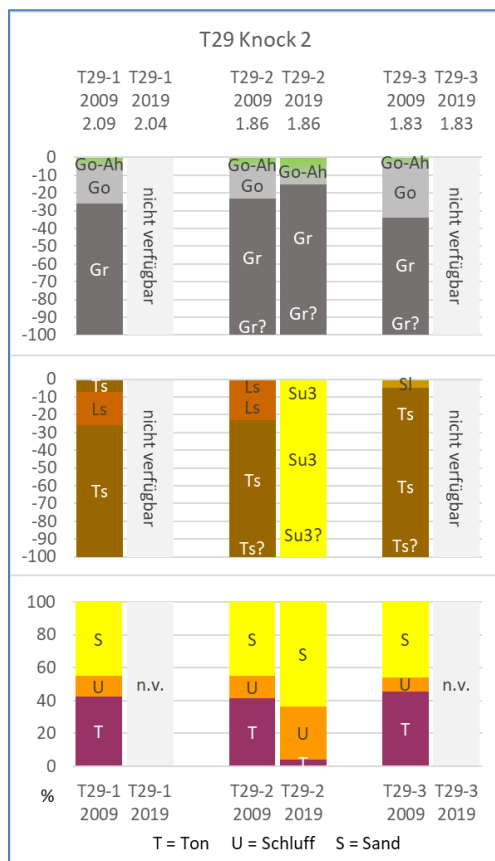
### Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- in der deichseitigen Transekthälfte im Mittel 41% (15 bis 54%) Zunahme der Vegetationsdichte/-vitalität
- in der flusseitigen Transekthälfte rund 27% (10 bis 37%) Abnahme und 10% (9 bis 11%) Zunahme der Vegetationsdichte/-vitalität
- ➔ Verdichtung und Verlichtung der Röhrichte

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Änderung der Bodenzusammensetzung

### Uferentwicklung

- 6-9 m Vegetationsverlust am Ufer
- ➔ starke Ufererosion

### Geländeentwicklung

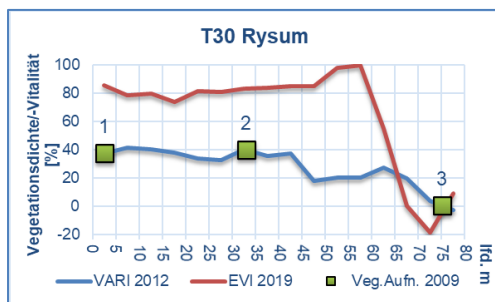
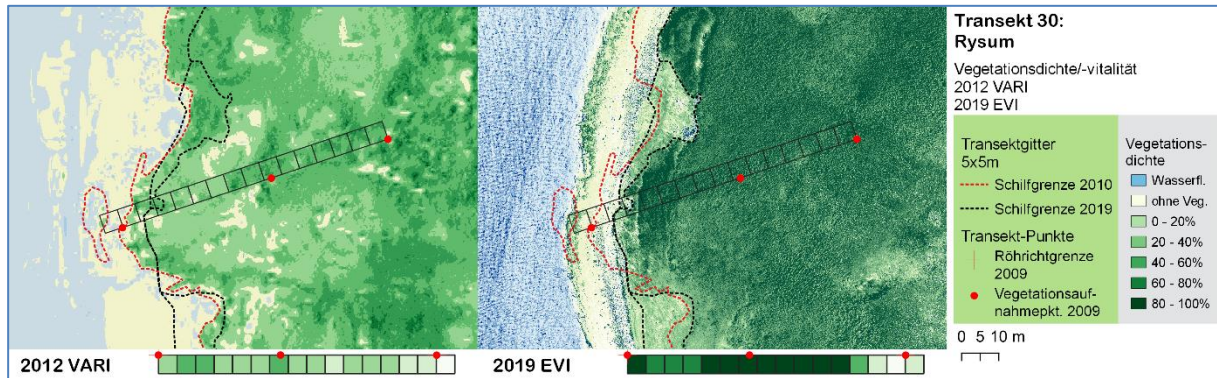
- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
- ➔ keine Geländeänderungen

### Bodenentwicklung

- Vergrößerung des Ah-Horizonts
- ➔ Humusbildung
- Geringe Höherverlagerung des Gr-Horizonts
- ➔ Grundwasserspiegelanstieg
- Zunahme des Schluff- und Sandgehalts, starke Abnahme des Tongehalts
- Verschiebung von sandigem Lehm und Ton (Ls, Ts) zu schluffigem Sand (Su)
- ➔ Verschlickung und Sandumlagerungen

# Transekt 30 – Rysum

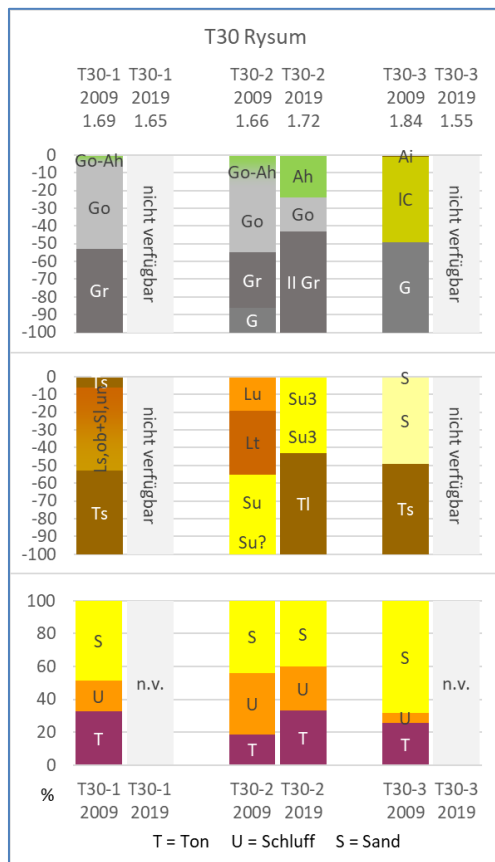
## Vegetationsprofile 2012 und 2019



### Vegetationsentwicklung

- Starke Verdichtung der Vegetation im Mittel um 50% (27 bis 79%) im größten Teil des Transekts
- Rund 20% Vegetationsverlust am Ufer
  - ➡ starke Zunahme der Vegetationsdichte/-vitalität

### Bodenprofile 2009 und 2019



### Uferentwicklung

- 4.5-5.5 m Vegetationsverlust am Ufer
  - ➡ starke Ufererosion

### Geländeentwicklung

- Geländehöhenveränderung innerhalb Fehlerbereich
  - ➡ keine Geländeänderungen
- Auf Ufer Höhenverlust (Erosion)

### Bodenentwicklung

- Bildung eines Ah-Horizonts
  - ➡ Humusbildung
- Höherverlagerung des Gr-Horizonts
  - ➡ Grundwasserspiegelanstieg
- Zunahme des Tongehalts
- Verschiebung von schluffigem und tonigen Lehm und Sand (Ls, Lt, Su) zu schluffigem Sand (Su3) und lehmigem Ton (TI)
  - ➡ Verschlickung und Sandumlagerung

### Änderung der Bodenzusammensetzung