



STENCIL

Strategies and Tools for Environment-Friendly
Shore Nourishments as Climate Change Impact
Low-Regret Measures

Werkzeuge und Methoden für nachhaltige Sandaufspülungen

Stefan Schimmels (Forschungszentrum Küste)
und die STENCIL-Projektpartner

24. KFKI Seminar 2019, Hamburg, 21.11.2019





Motivation

- Küstenmanagement fordert nachhaltige, umweltfreundliche Entwicklung der Küstenregionen
- Sandaufspülung gilt als naturnahe, anpassungsfähige („weiche“) Küstenschutzmaßnahme
- Unterschiede in der Verantwortung, Motivation, Vorgehensweise, Umweltüberwachung, ...
- Dauerhaftigkeit und genaue Wirkungsweise von Sandaufspülungen sind noch nicht umfassend verstanden und erfordern bessere der Analyse- und Simulationsmethoden
- Bislang wenig Forschung zu langfristigen ökologischen Auswirkungen und der biologischen Relevanz verschiedener Prozesse von Sandentnahme und Sandaufspülung



Buhnen u. Deckwerke auf Norderney (Stadthagen)



(Dredging International)



Projektziele



Ludwig-Franzius-Institut
für Wasserbau, Ästuar- und
Küsteningenieurwesen



FZK
Forschungszentrum Küste



Leichtweiß-Institut



Lehrstuhl und
Institut für
Wasserbau und
Wasserwirtschaft

Institut für Umweltforschung



Leibniz
Universität
Hannover

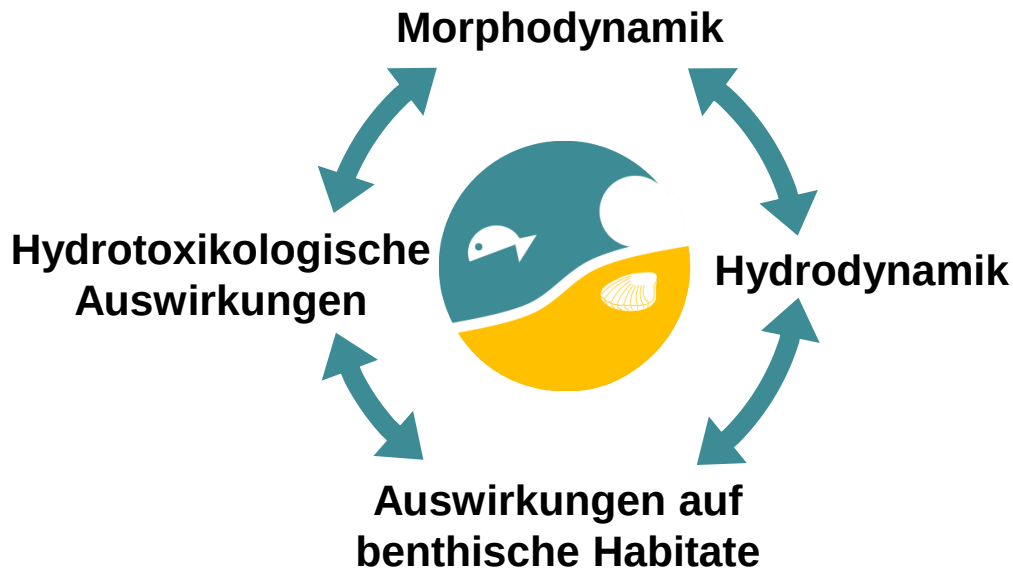


Technische
Universität
Braunschweig



TP 2 – TP 6

Werkzeuge (Modelle und Methoden) für
Planung, Begleitung/Überwachung
nachhaltiger Sandaufspülungen



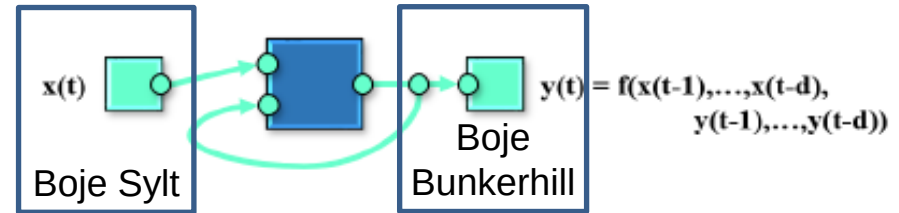
TP 1

Strategien (Entscheidungshilfen)
für nachhaltiges Management von
Sandaufspülungen



■ Prozessbasierte Modellierung:

Modellvergleich Delft3D und XBeach X

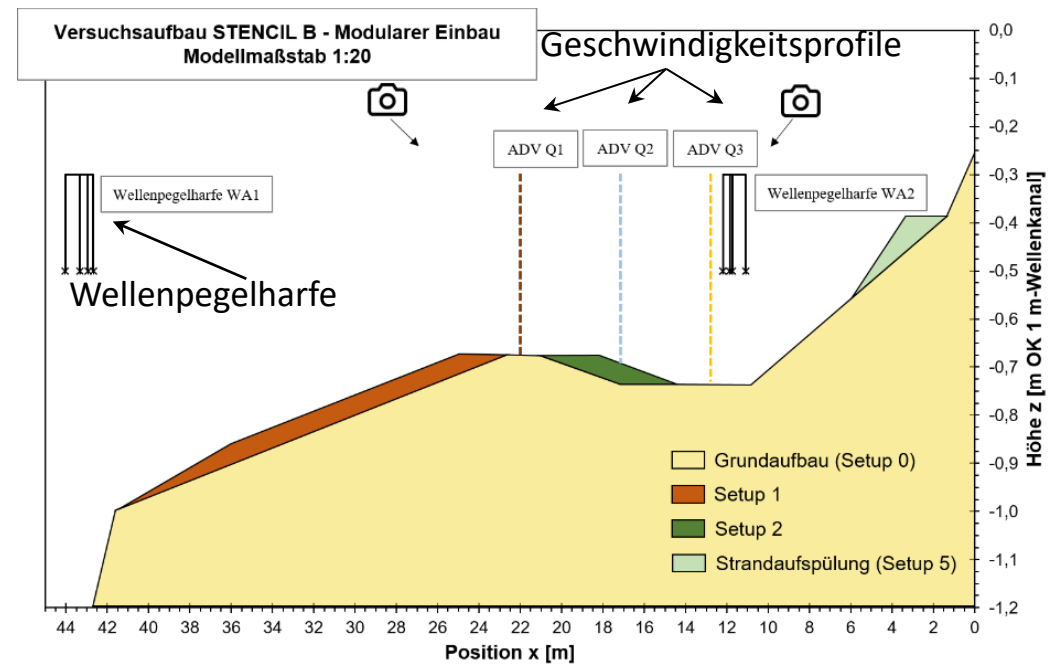


■ Datenbasierte Modellierung:

Aufbau eines künstlichen neuronalen Netzwerks (KNN) im Küstennahbereich

■ Physikalische Modellversuche:

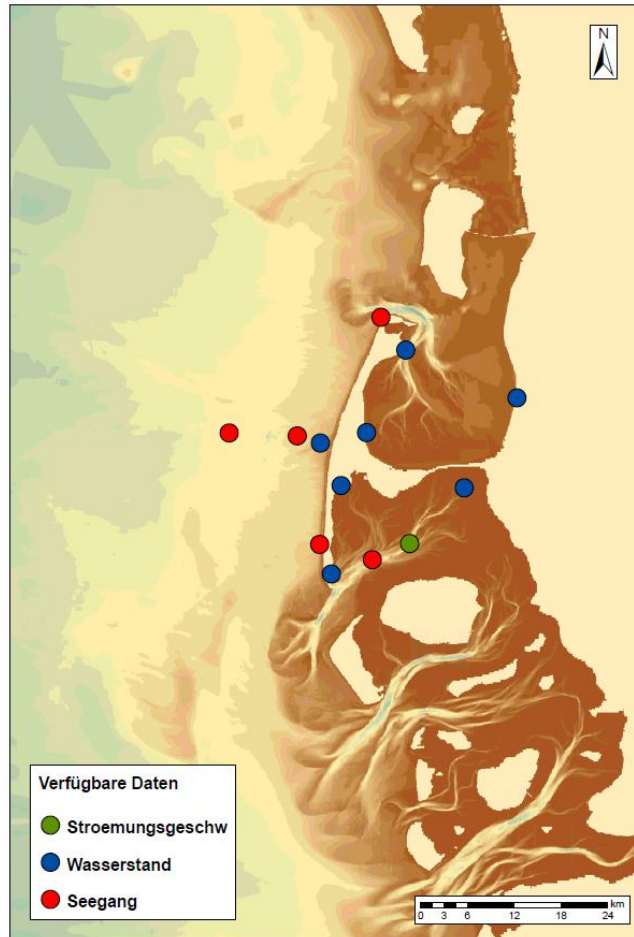
Hydrodynamische Untersuchung unterschiedlicher Sandaufspülungsstrategien



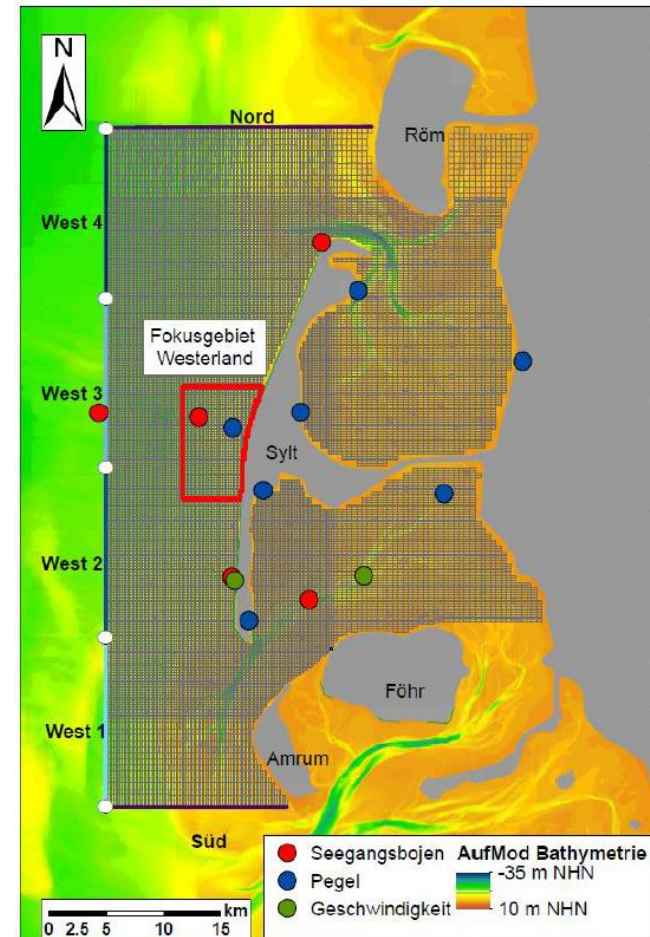


Datenbasierte Modellierung mit Künstlichen Neuronalen Netzwerken (KNN)

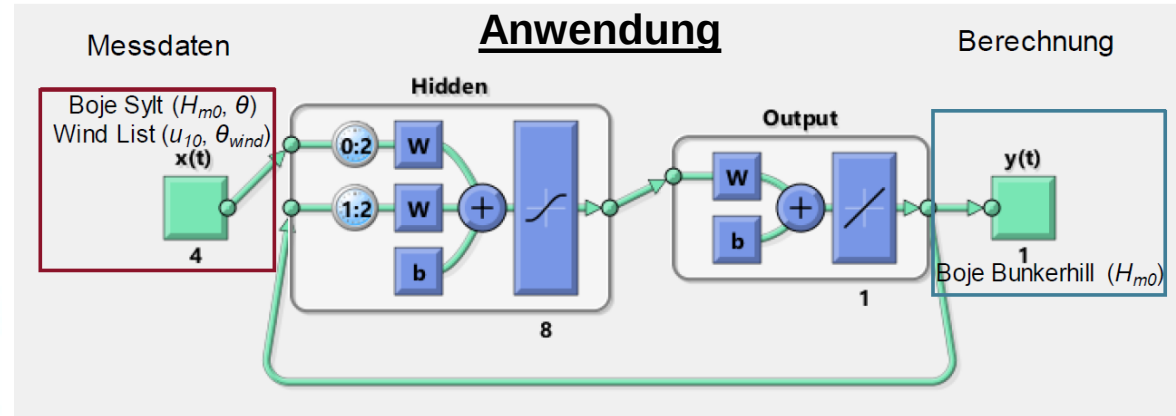
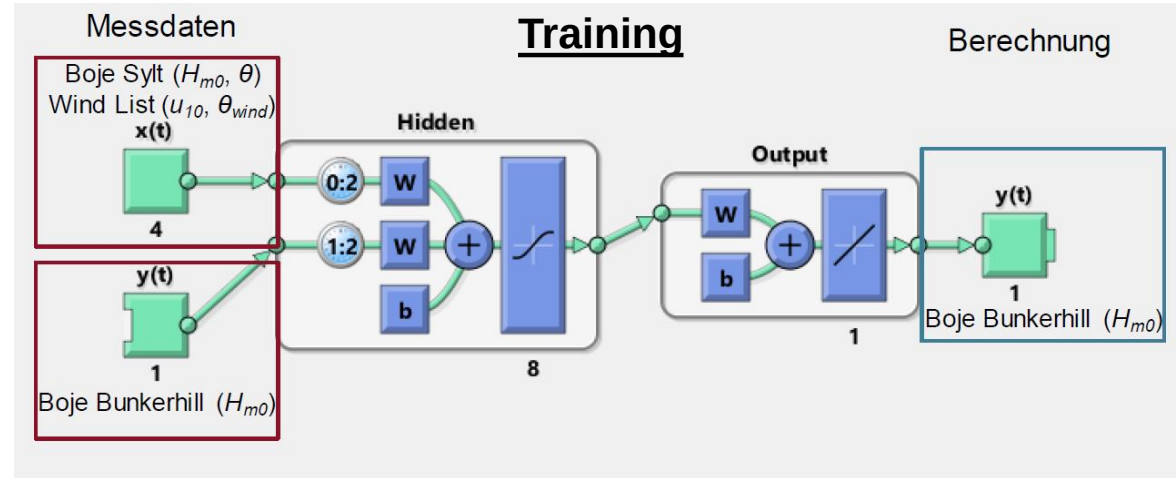
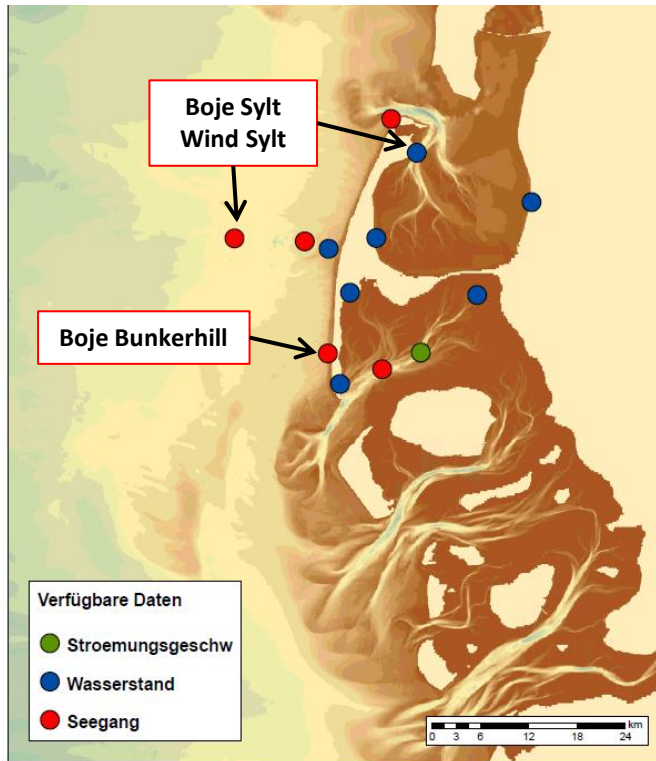
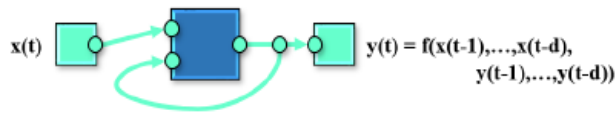
Naturmessungen



Numerische Simulation

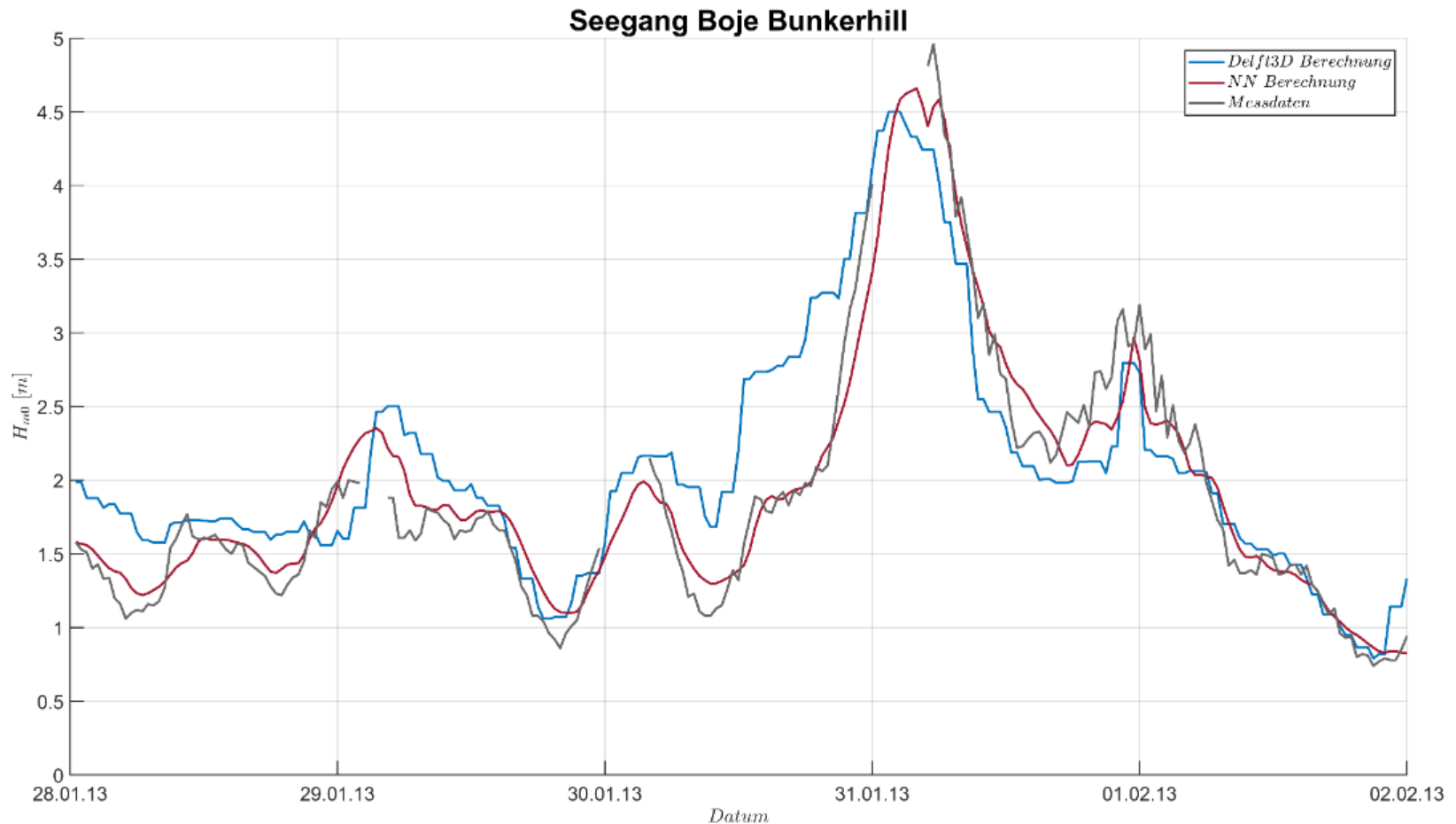


Datenbasierte Modellierung mit Künstlichen Neuronen Netzwerken (KNN)



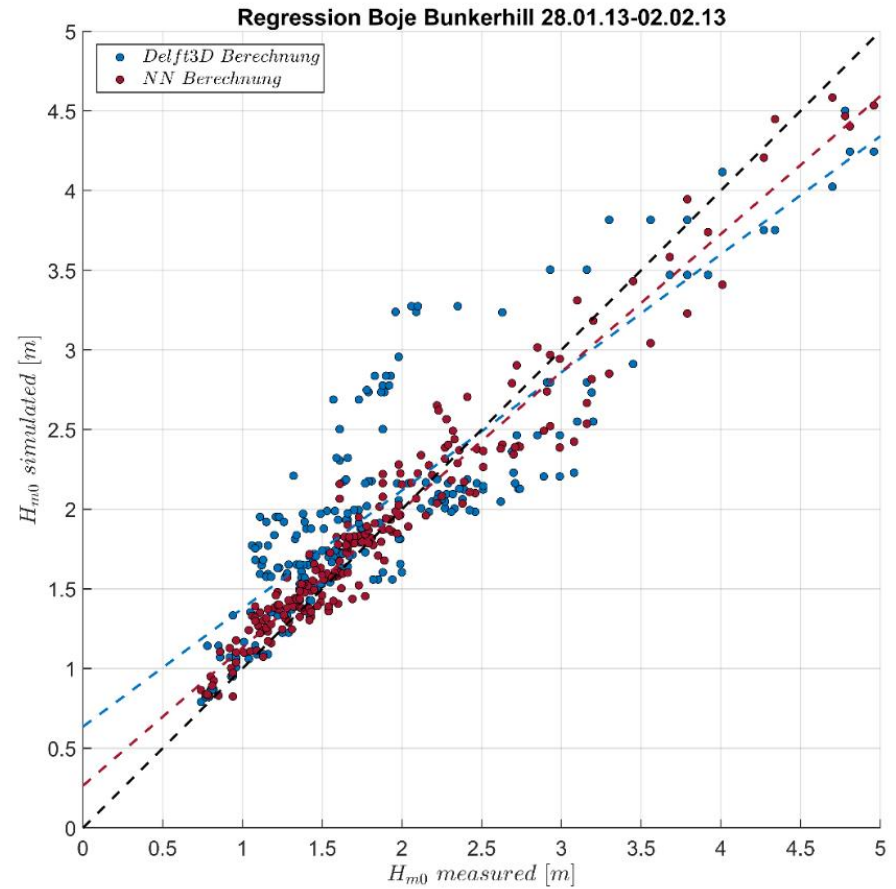
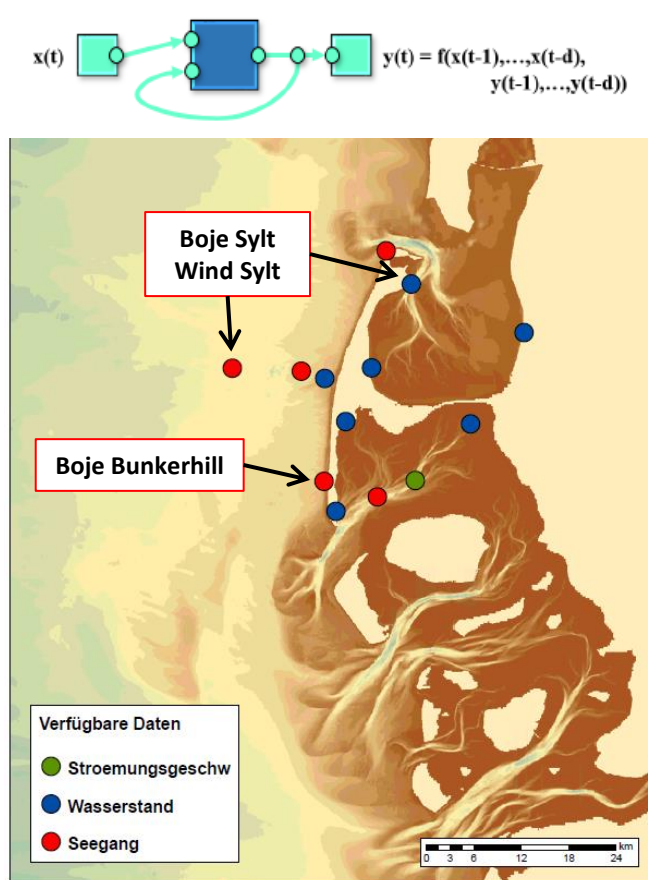


Vergleich von KNN und numerischer Modellierung



Schürenkamp et al. (2020)

Vergleich von KNN und numerischer Modellierung



Schürenkamp et al. (2020)

Einfluss unterschiedlicher Aufspülstrategien auf küstennahe Hydrodynamik

- Laborversuche im LWI-Wellenkanal (1,00 m breit, 1,25 m tief, 90 m lang)
- Insgesamt 90 Versuche mit JONSWAP Spektren (Kombination von 6 verschiedenen Sturmflutszenarien und 4 unterschiedlichen Küstenprofilen)

Messung von:

- Strömungsprofile
- Sohlnahe Rückströmung (undertow)
- Wellentransmission, Wellendämpfung

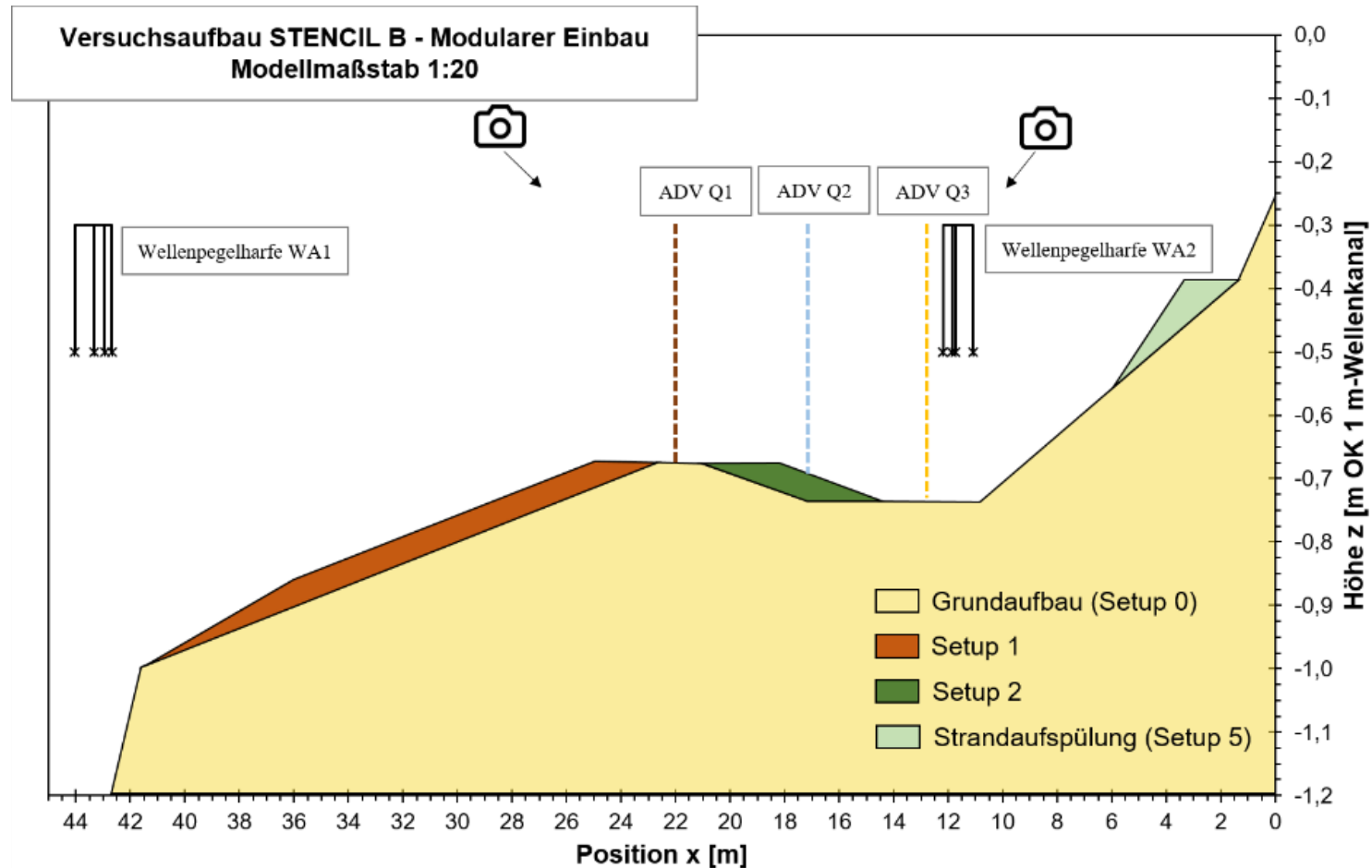
Messtechnik:

- Wellenpegel (Reflexionsanalyse)
- 3D und 1D ADV-Sensoren
- Videoaufzeichnung



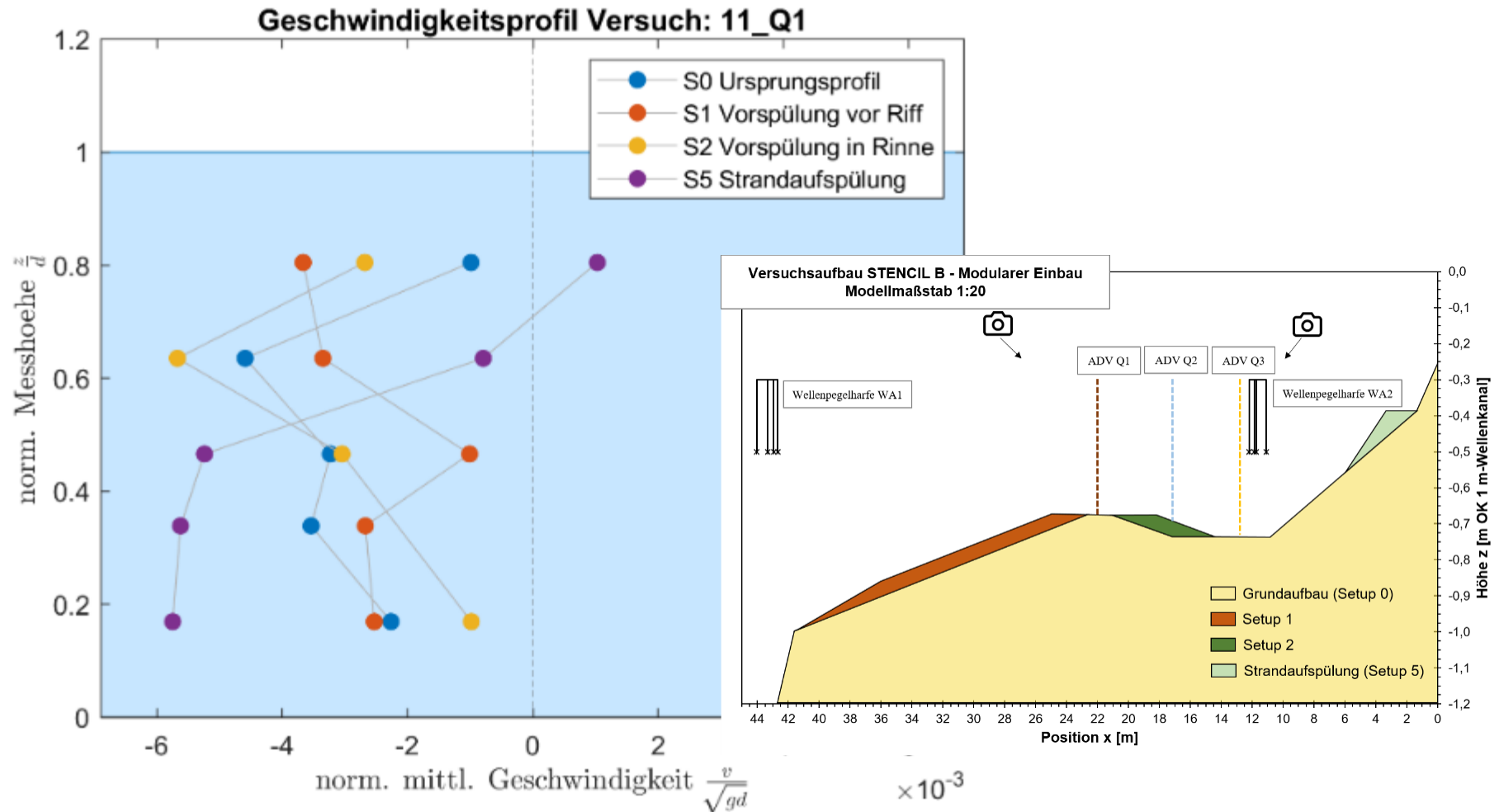


Einfluss unterschiedlicher Aufspülstrategien auf küstennahe Hydrodynamik



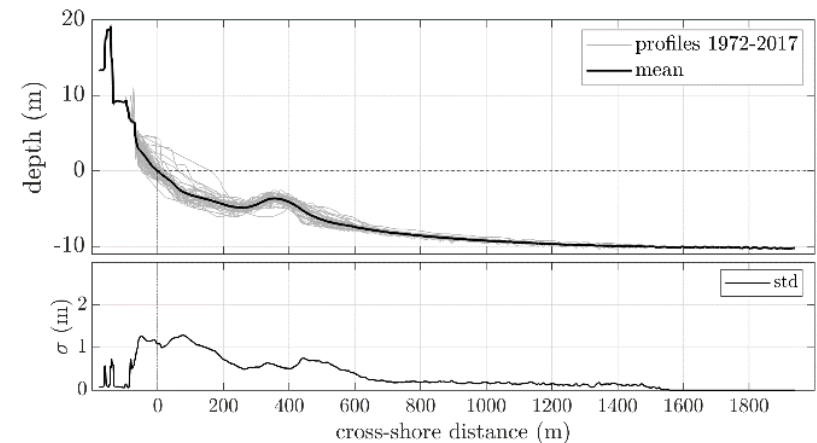
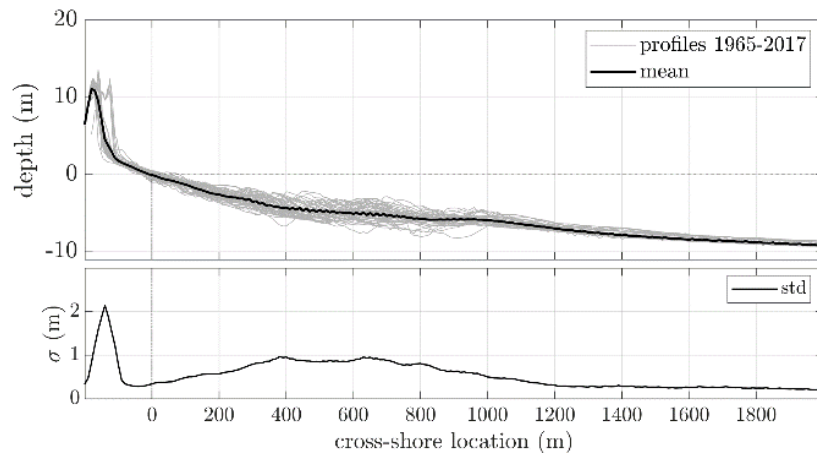
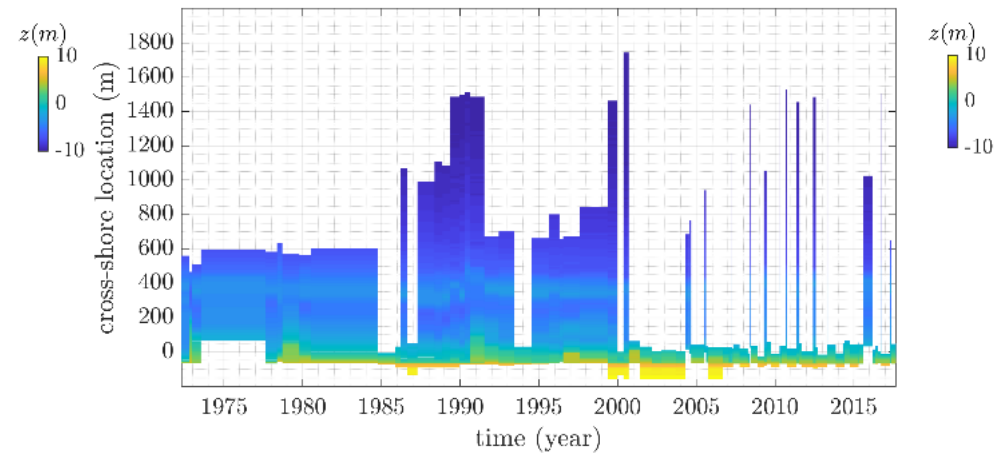
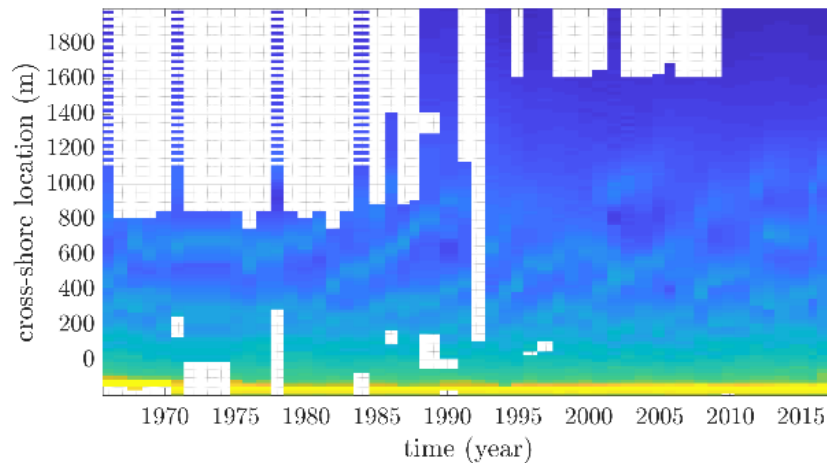


Einfluss unterschiedlicher Aufspülstrategien auf küstennahe Hydrodynamik





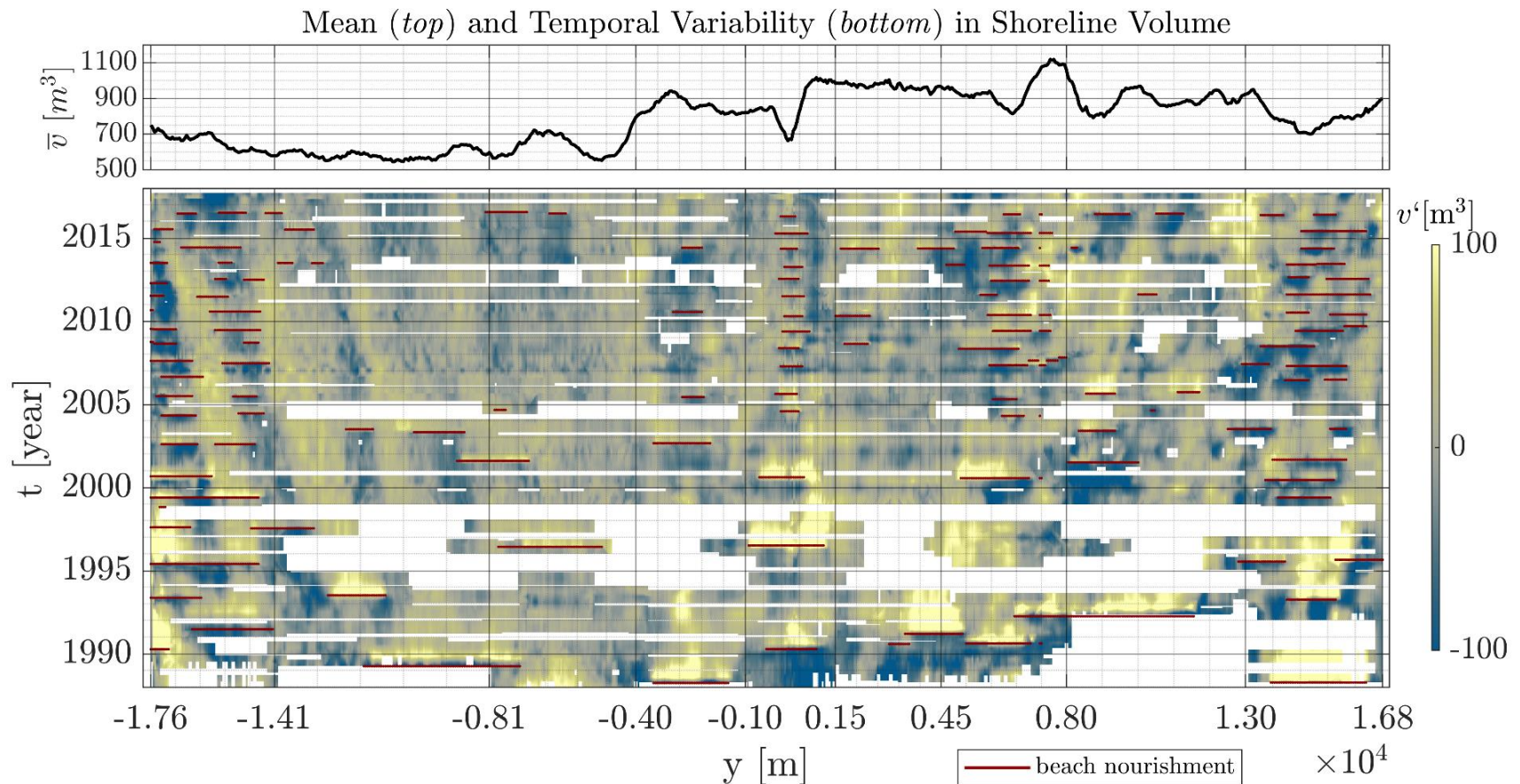
Umfangreiche Datenbank mit Messungen vor Ameland (NL) und Sylt



Gijsman et al. (2019a)



Entwicklung des Strandvolumens auf Sylt

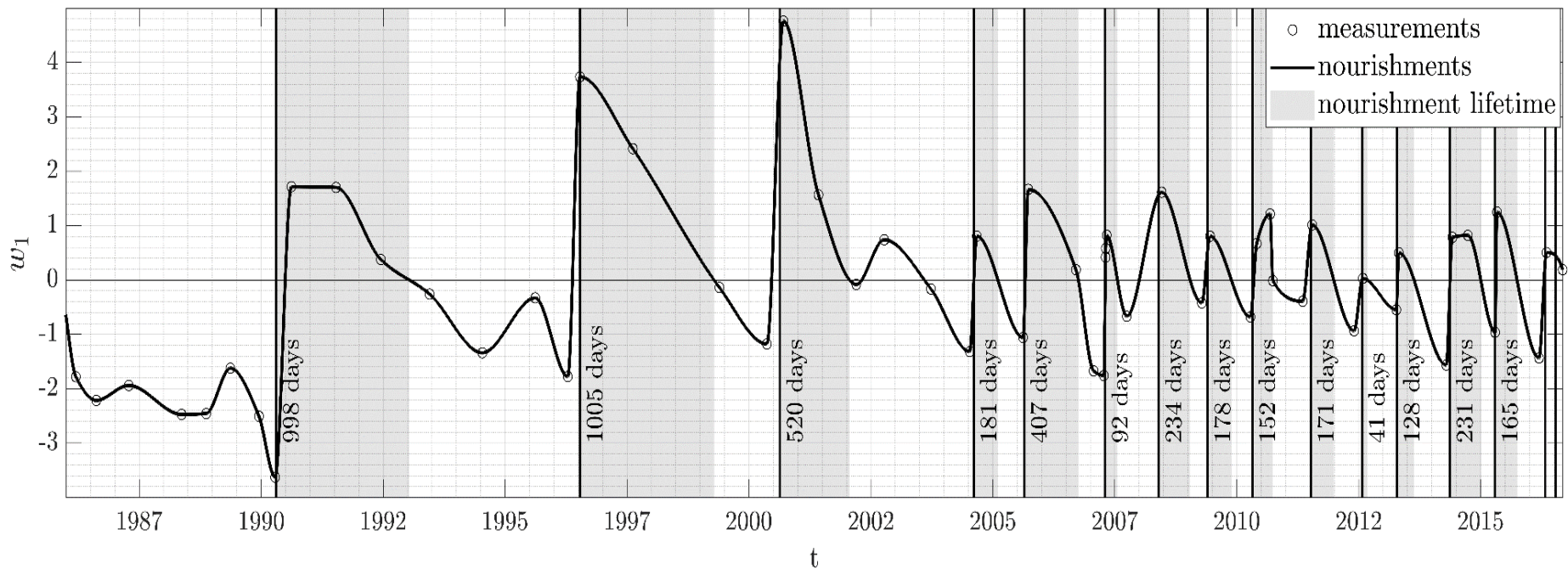


Gijsman et al. (2020)



Bestimmung der Lebensdauern von Sandaufspülungen auf Sylt

- Principal Component Analysis (PCA) / Empirical Orthogonal Function (EOF) method
- Profilbasierter Ansatz (Beispiel vor Westerland)



Gijsman et al. (2019b)

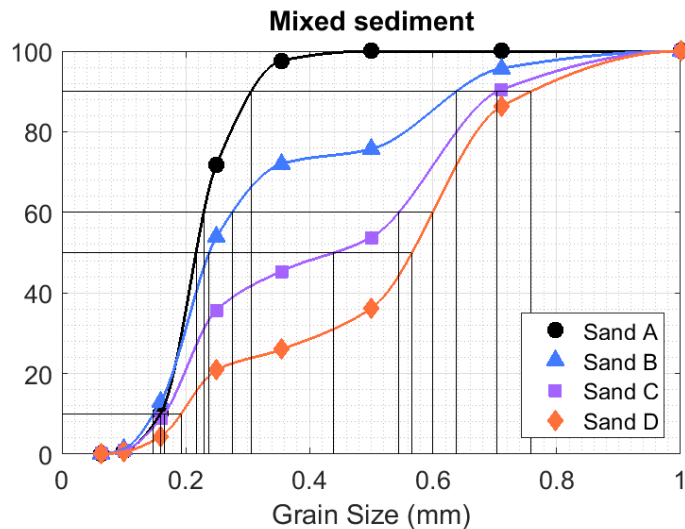


Weltweit einzigartige Versuche im Großen Wellenkanal (GWK)

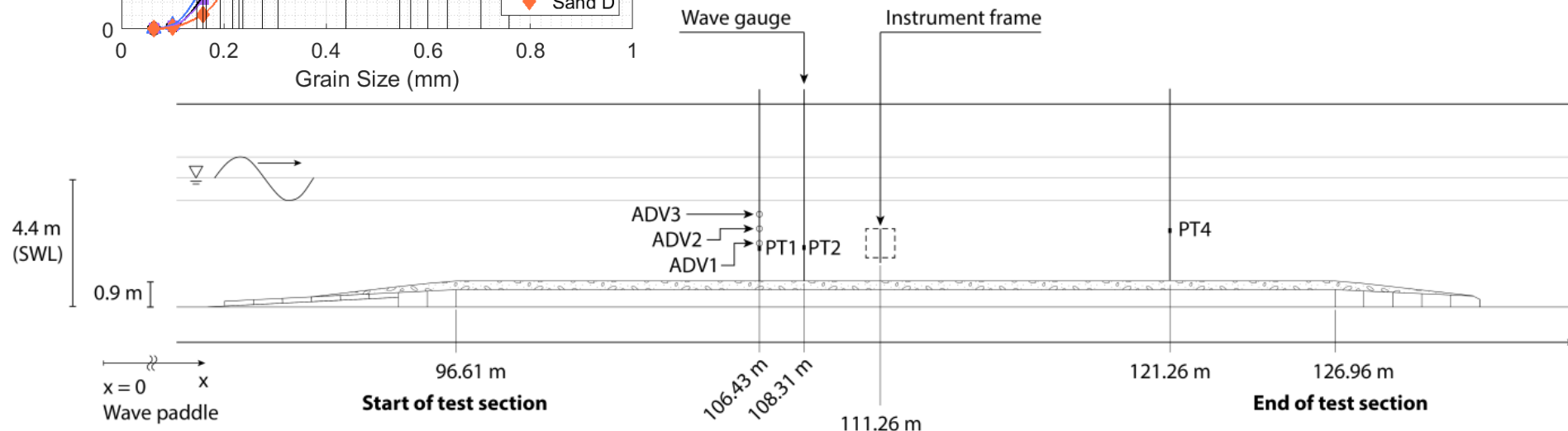




Transportverhalten gemischter Sande

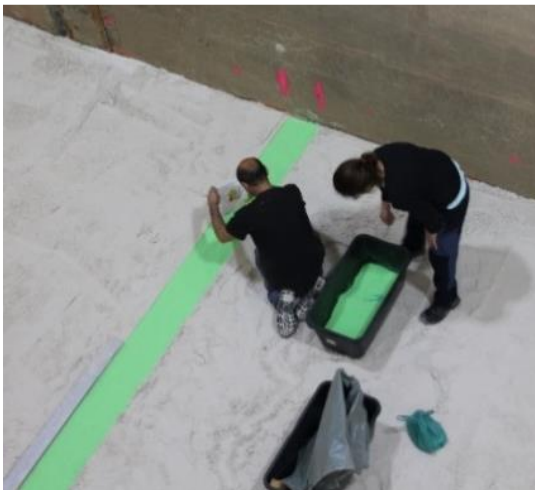
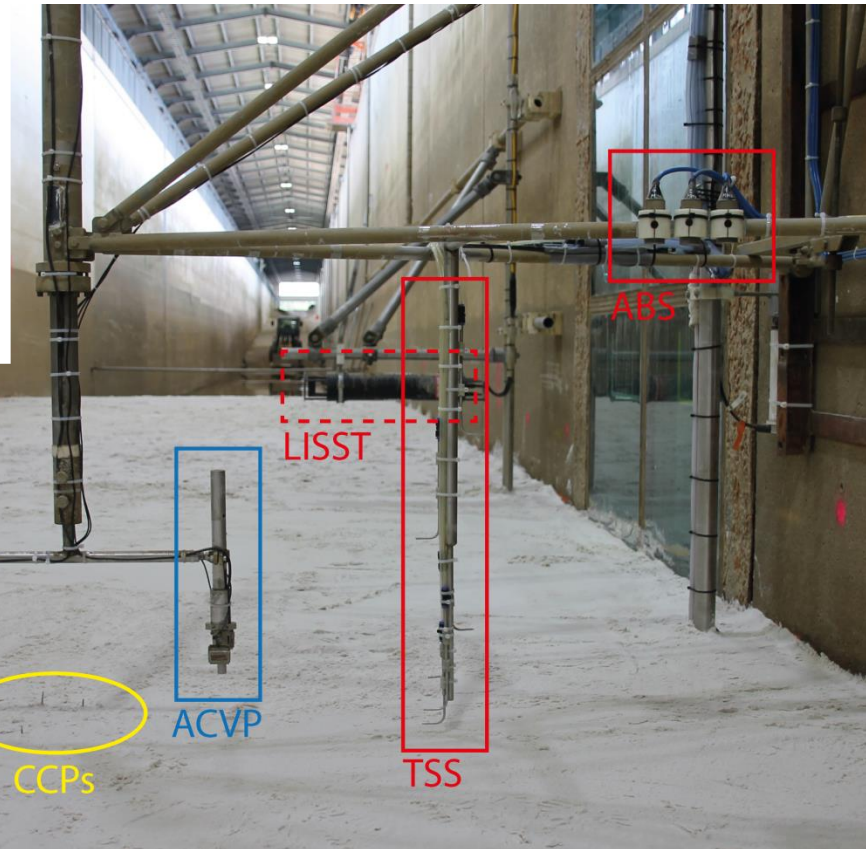


- 30 m langes Sandbett
- 4 verschiedene (bimodale) Sandmischungen
- 2 (regelmäßige) Wellenbedingungen
- 42 Versuchstage
- Umfangreiche Messungen (>400 GB Daten)



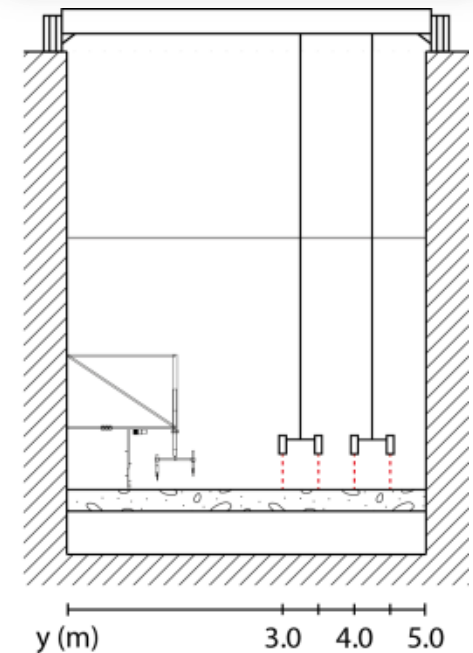
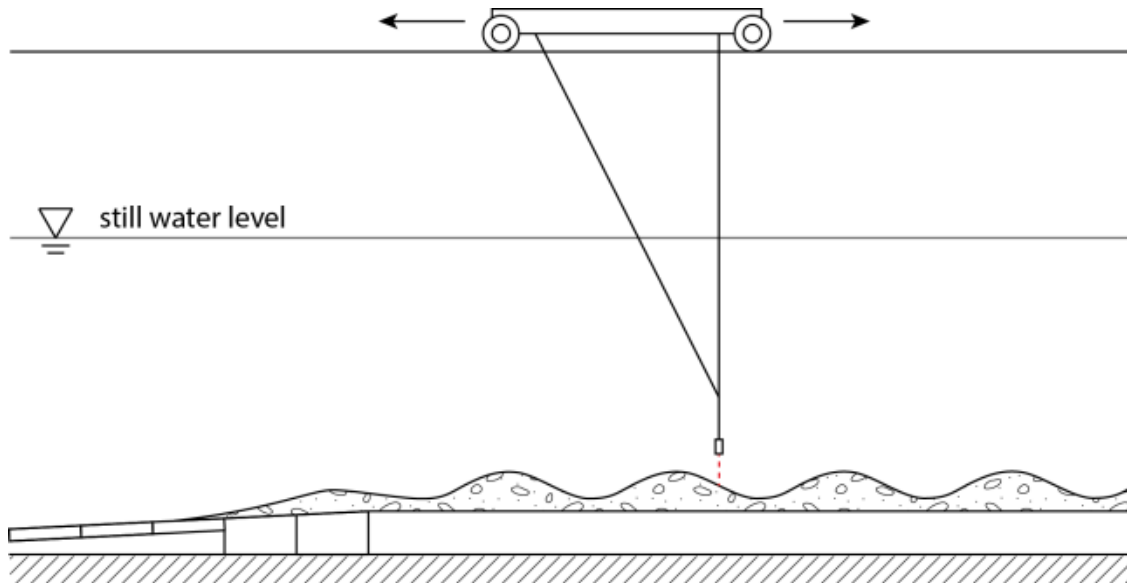
Umfangreiche Messtechnik / Involvierung internationaler Partner

- Strömungsgeschwindigkeiten/Sedimentflüsse
- Sedimenttransport in Suspension
- Sedimenttransport an der Sohle (*sheet flow*)
- Sedimentproben & Tracer Experiment (Sortierung, Entmischung der Fraktionen?)
- Sohlprofile



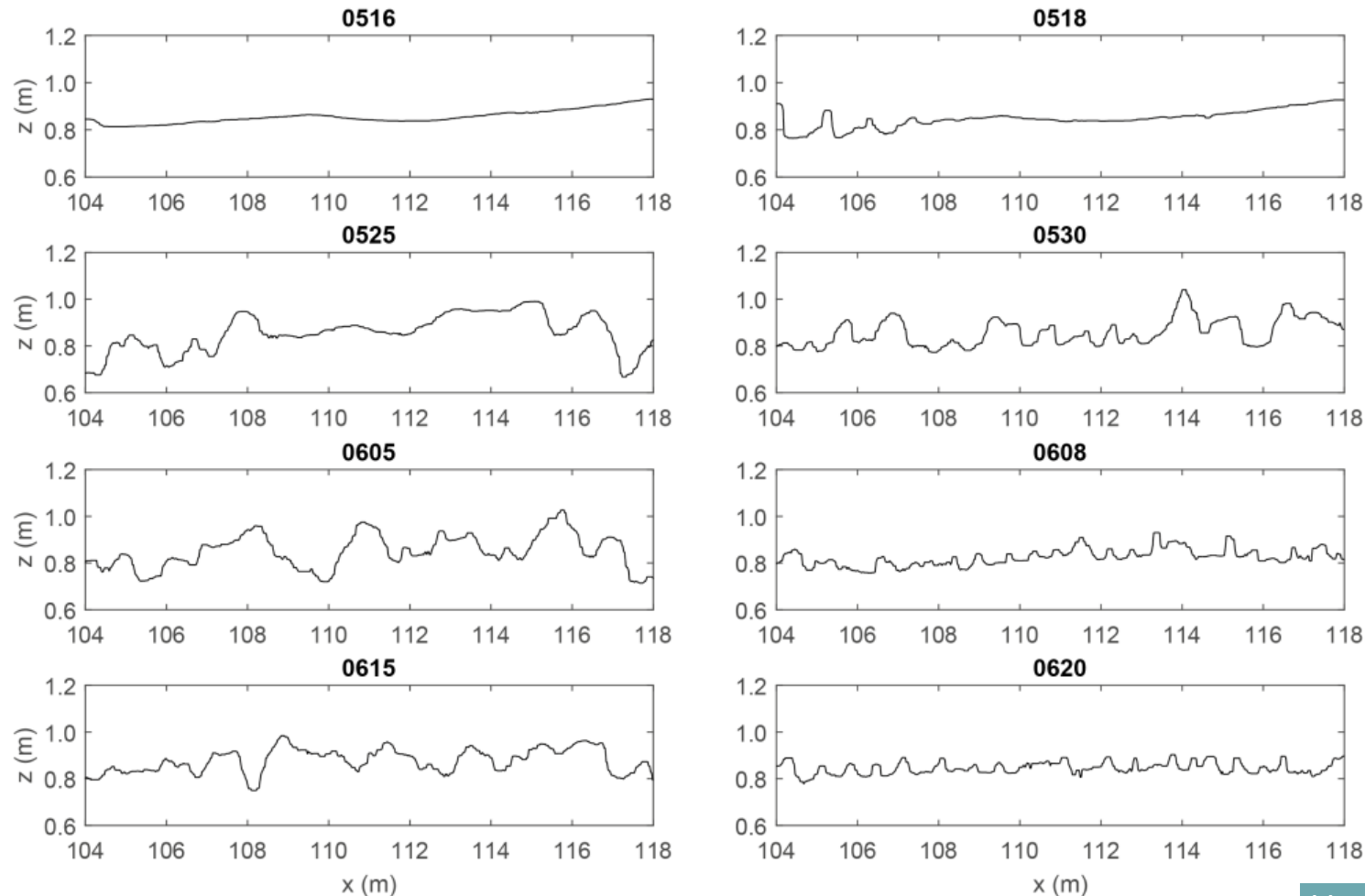


Sohlprofile / Ermittlung von Transportraten





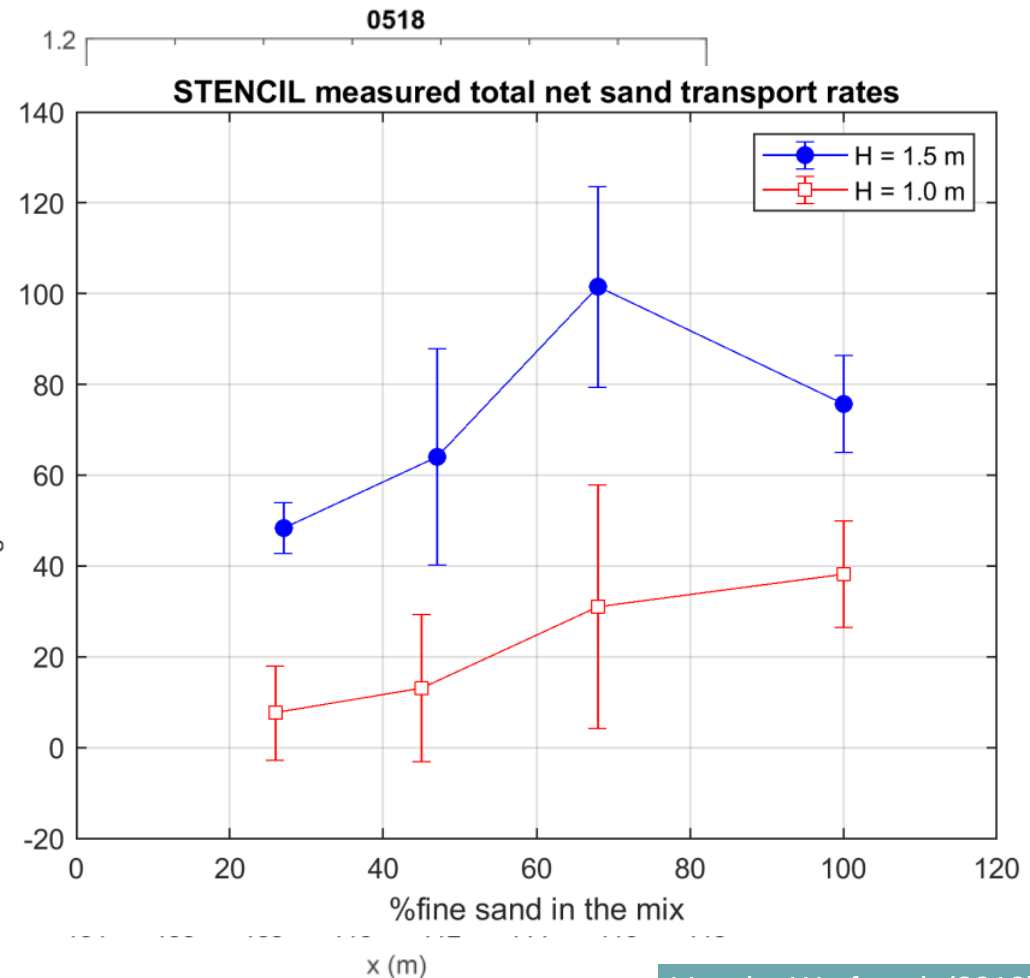
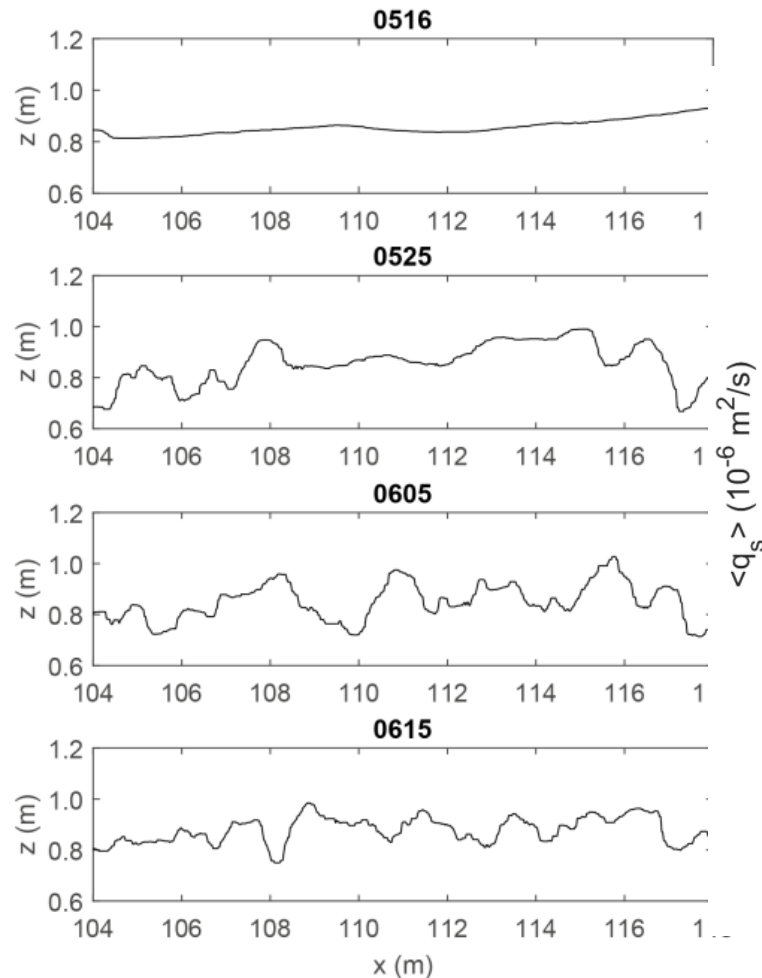
Sohlprofile / Ermittlung von Transportraten



Van der Werf et al. (2019)



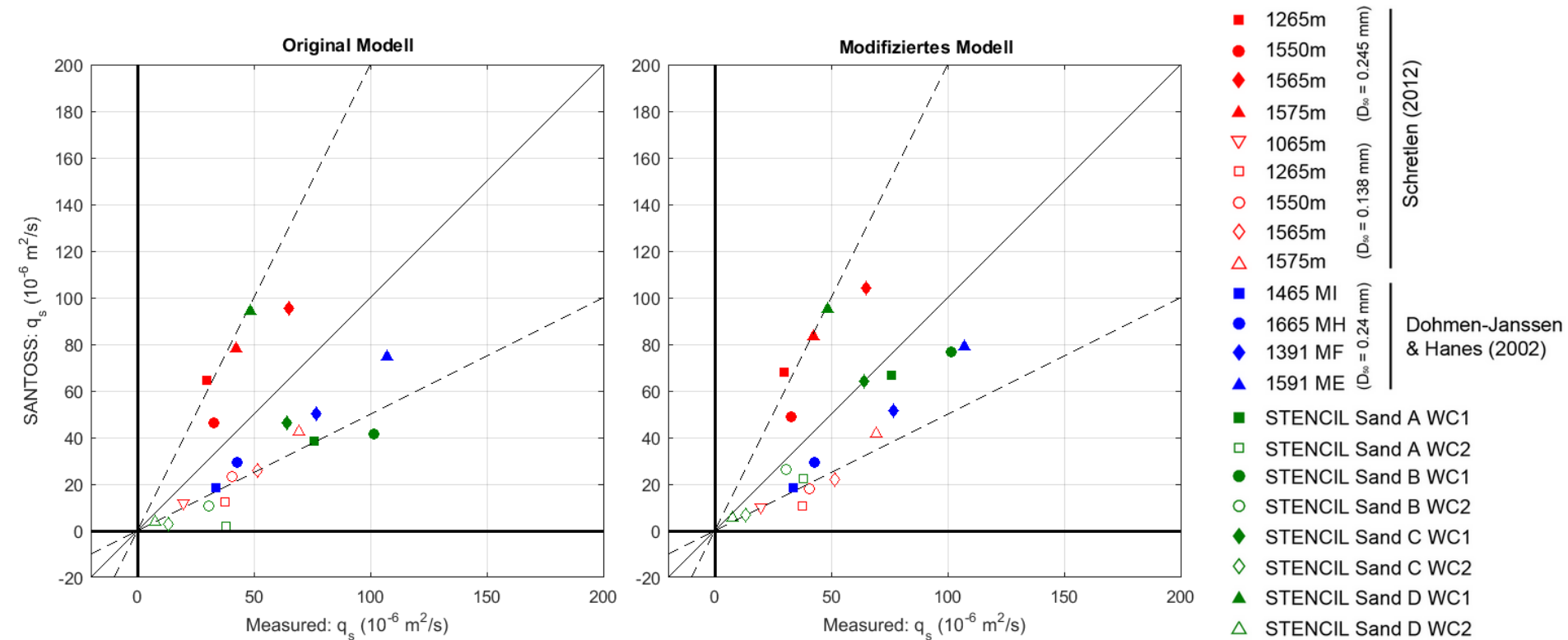
Sohlprofile / Ermittlung von Transportraten



Van der Werf et al. (2019)

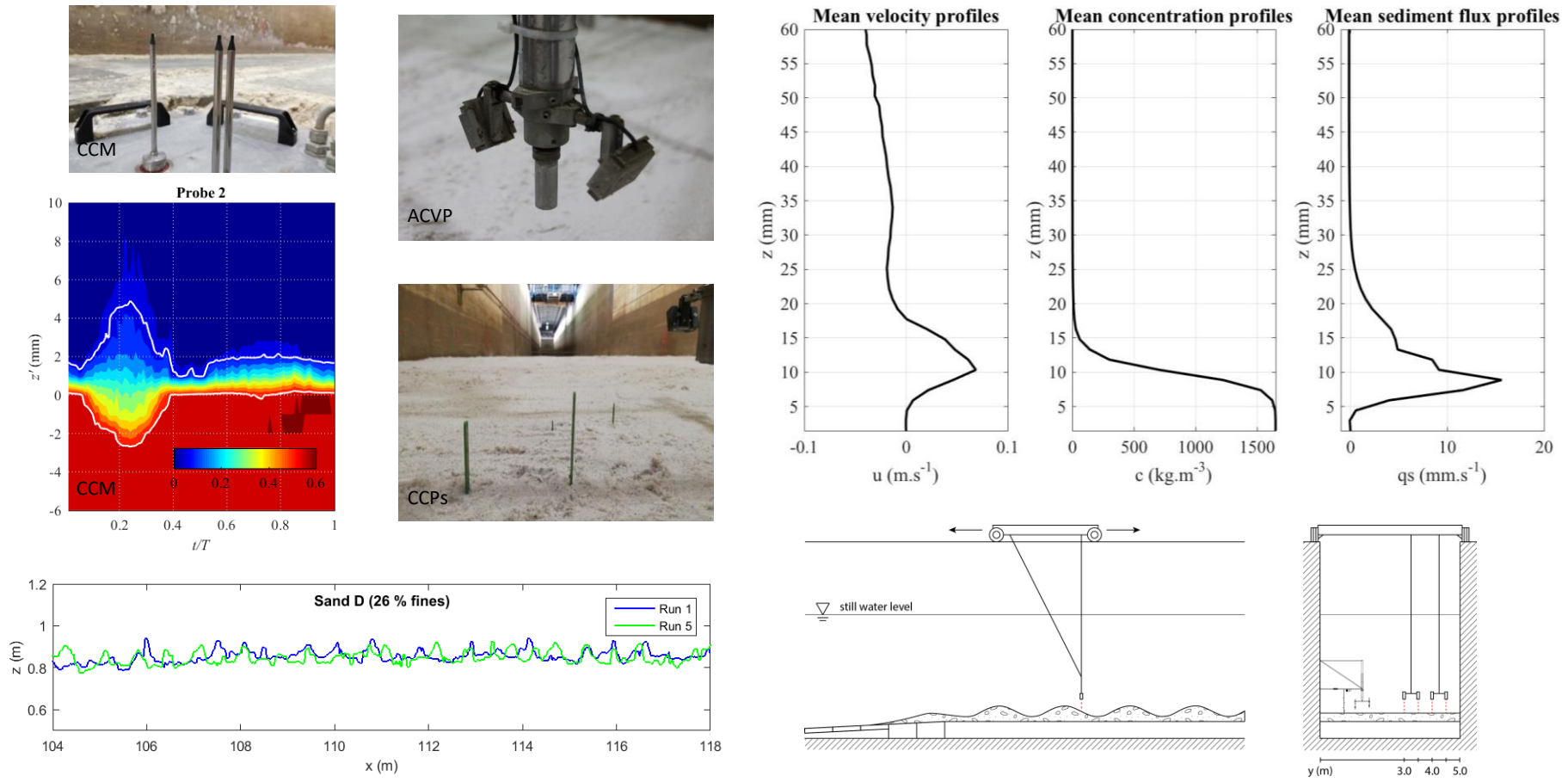


Verbesserung der SANTOSS Formel





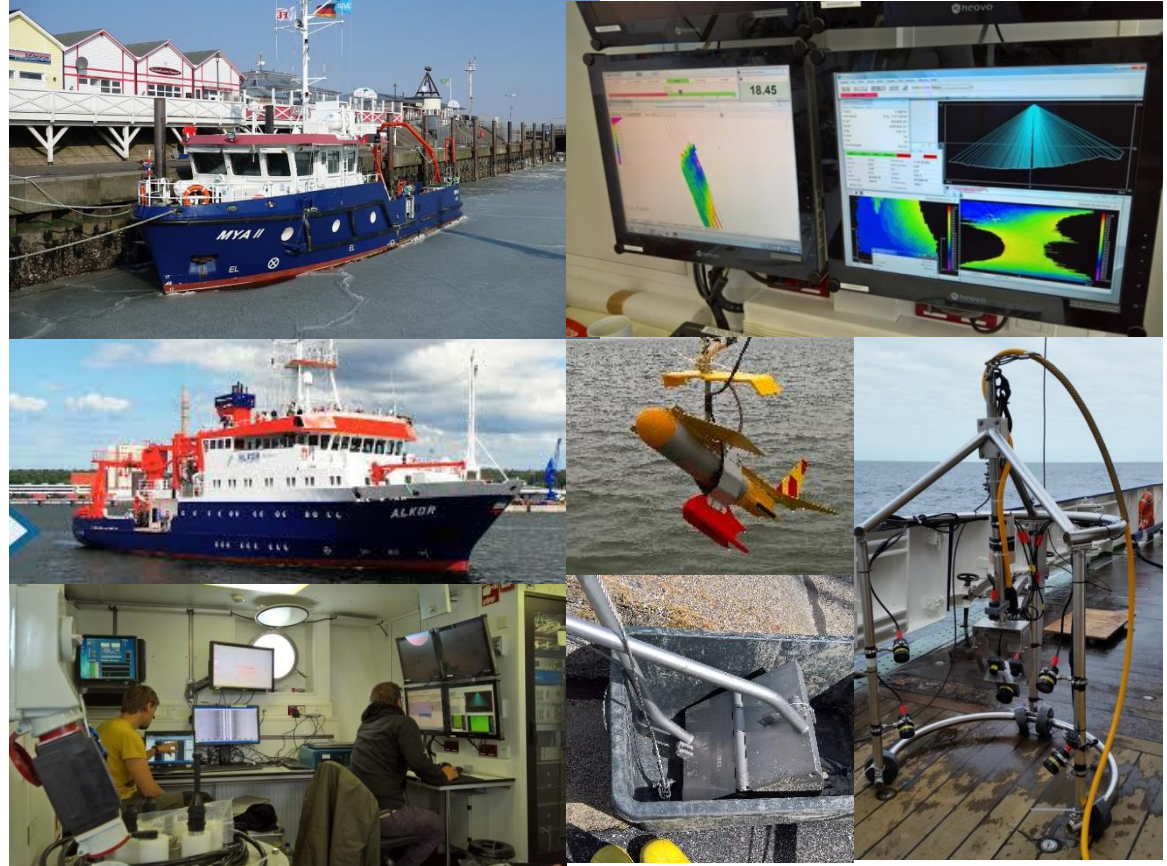
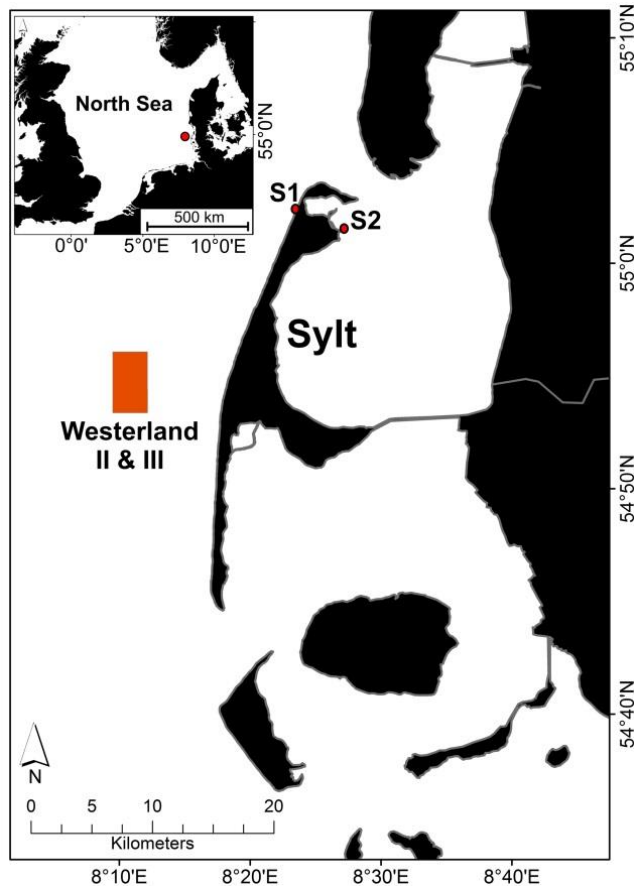
Fortsetzung der Datenanalyse über Projektlaufzeit hinaus



Schimmels et al. (2020)



6 Messfahrten (4 x Mya II; 1 x FS Alkor; 1 x FS Heincke) Westerland II & III



6 Messfahrten (4 x Mya II; 1 x FS Alkor; 1 x FS Heincke) Westerland II & III

- Fächerecholotauswertung (Gebietsgröße ca. 15 km²)
- Zusätzlich: Sidescan Sonar, Bodenproben, Unterwasserkamera

Sep 2016

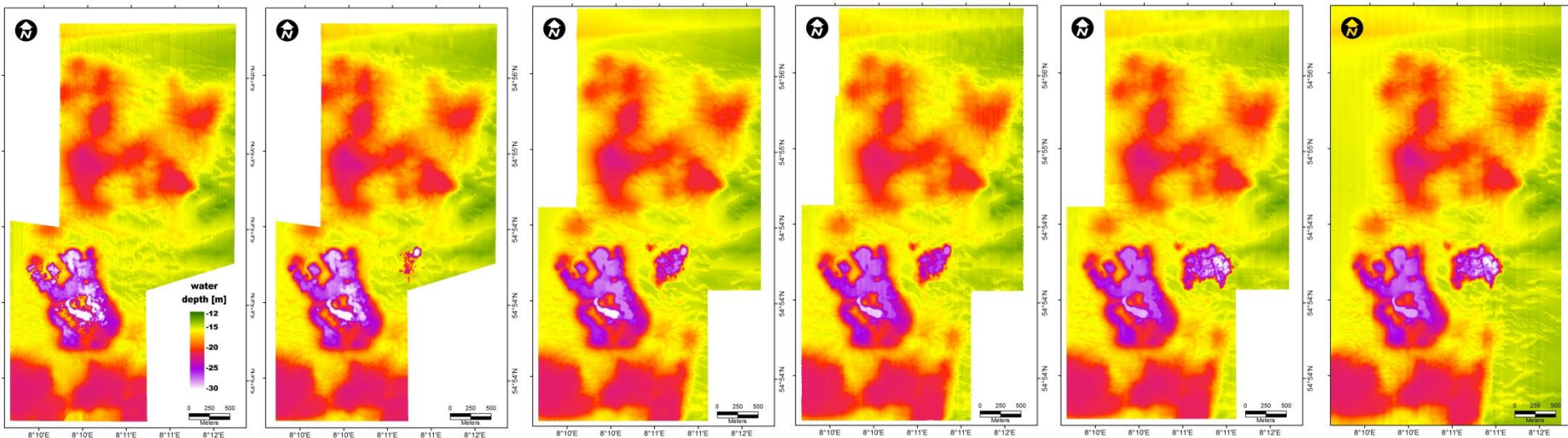
Apr 2017

Dez 2017

Mär 2018

Nov 2018

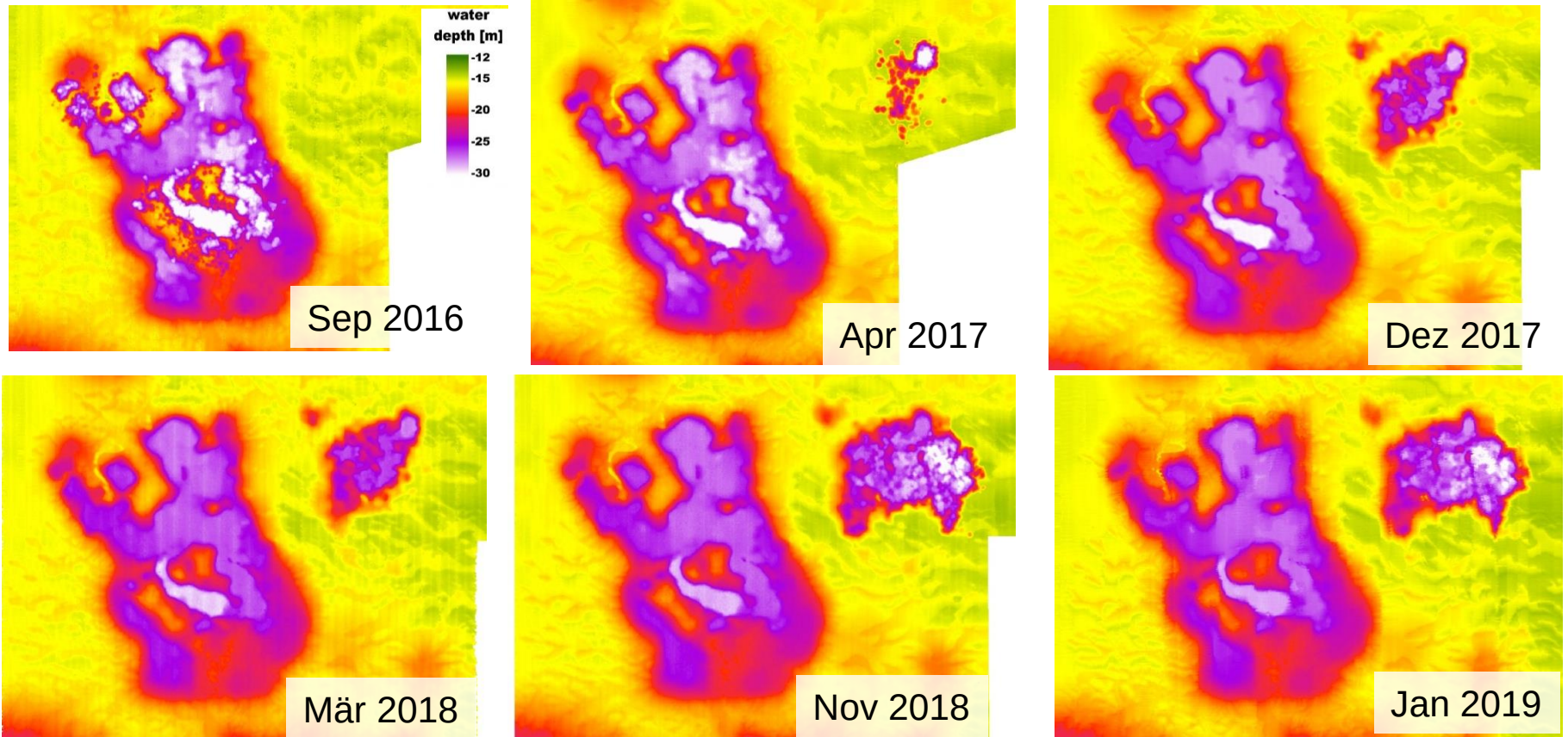
Jan 2019



Ergänzt nach Mielck et al. (2018)



Morphologische Entwicklung in Entnahmetrichtern



Ergänzt nach Mielck et al. (2018)

Benthische Habitate in Entnahmetrichtern

Sidescan Mosaik Januar 2019



Dunkel = hohe Rückstreuung
Hell = geringe Rückstreuung

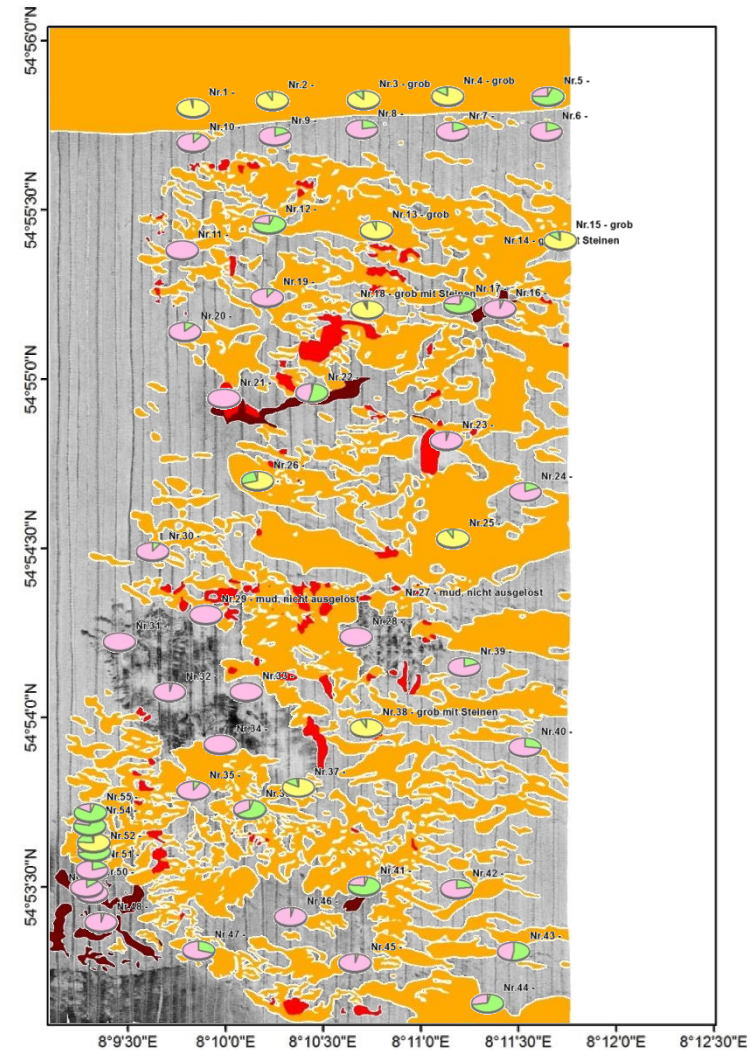
- In den Trichtern lagert sich Feinmaterial (Feinsand/ Schluff) ab
- Hier keine Steine (mehr?) vorhanden

Habitate

- Steine
- Schlack
- Grobsand

Korngrößenverteilung

- % COARSE SAND:
- % MEDIUM SAND:
- % FINE SAND:



Miel et al. (in prep): Persistent effects of marine sand extraction on habitats and associated benthic communities in the SE-North Sea



Zusammensetzung makrozoobenthischer Spezies

Site class	all	0	1	2
No of stations	53	25	20	8
Total individuals	518	423	79	16
Mean abundance per core	9.8	16.9	4.0	2.0
	28.6	42.5	16.4	15.7
Total species	35	26	19	9
Mean species number per core	2.7	3.5	2.3	1.1
Pisone remota	152	5.84	0.30	0
Aonides paucibranchiata	138	5.36	0.20	0
Polygordius appendiculatus	60	2.28	0.15	0
Goniadella bobrezkii	25	0.76	0.25	0.12
Magelona johnstoni	25	0.92	0.05	0.12
Nephtys cirrosa	23	0.40	0.65	0
Notomastus latericeus	13	0	0.35	0.75
Kurtiella bidentata	12	0.04	0.55	0
Ophiura ophiura	10	0.04	0.45	0
Scoloplos armiger	7	0.08	0.25	0
Oligochaeta	7	0.04	0.25	0.12
Spiophanes bombyx	6	0.16	0.10	0
Capitella minima	5	0.12	0.05	0.12
Fabulina fabula	4	0.08	0.10	0
Urothoe poseidonis	4	0.16	0	0
Eteone longa	3	0.08	0.05	0
Mytilus edulis	3	0	0	0.37

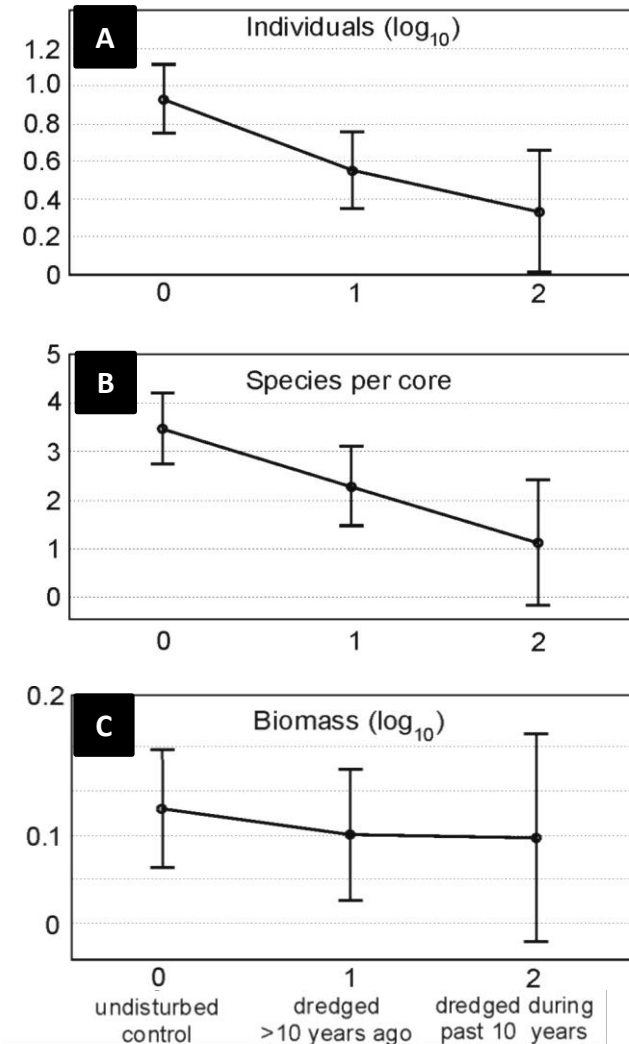
Site class	all	0	1	2
No of stations	53	25	20	8
Total individuals	518	423	79	16
Mean abundance per core	9.8	16.9	4.0	2.0
	28.6	42.5	16.4	15.7
Total species	35	26	19	9
Mean species number per core	2.7	3.5	2.3	1.1
Malacoceros fuliginosus	2	0.08	0	0
Spio filicornis	2	0.08	0	0
Nemertea	2	0.08	0	0
Eumida juv	1	0	0	0.12
Ophelia limacina	1	0	0.05	0
Scolecopsis bonnierii	1	0	0.05	0
Ensis leei	1	0.04	0	0
Macomangulus tenuis	1	0	0.05	0
Spisula elliptica	1	0.04	0	0
Spisula subtruncata	1	0.04	0	0
Tellimya ferruginosa	1	0.04	0	0
Crassidorsophium crassicornis	1	0	0.05	0
Diastylis bradyi	1	0.04	0	0
Monopseudocuma gilsoni	1	0.04	0	0
Nototropis falcatus	1	0.04	0	0
Anthozoa	1	0	0	0.12
Asterias rubens	1	0	0	0.12

0 = keine Baggeraktivitäten 1 = Sandentnahme mindestens 10 Jahre her 2 = Sandentnahme fand in den letzten 10 Jahren statt



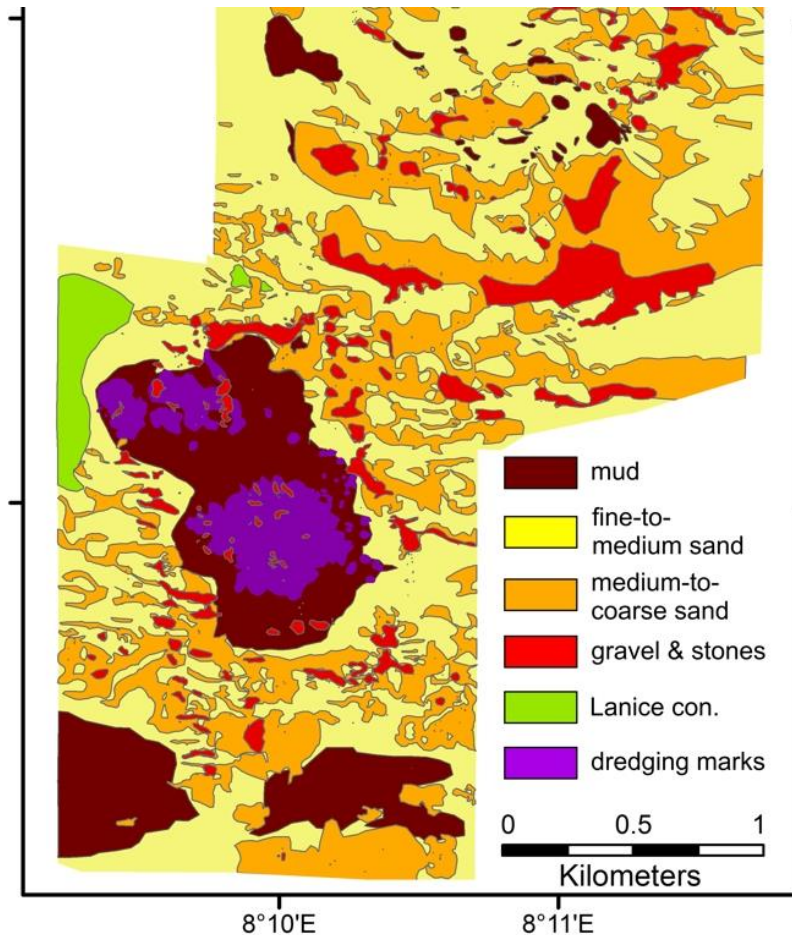
Effekte auf Makrozoobenthos

- Sandentnahme reduziert die Artenvielfalt und Speziesdichte (A, B)
- 10 Jahre sind nicht genug für eine Erholung (A, B)
- Mittlere Biomasse nimmt ebenfalls ab in frischen Baggerlöchern (C)
- Zusammensetzung der Arten ändert sich stark nach der Sandentnahme im Schlick
- Nur Polychaet *Notomastus latericeus* profitiert in den ersten 10 Jahren
- 3 Arten (Muschel *Kurtiella bidentata*, Schlangensterne, Polychaet *Lagis koreni*) profitieren nach mehr als 10 Jahren



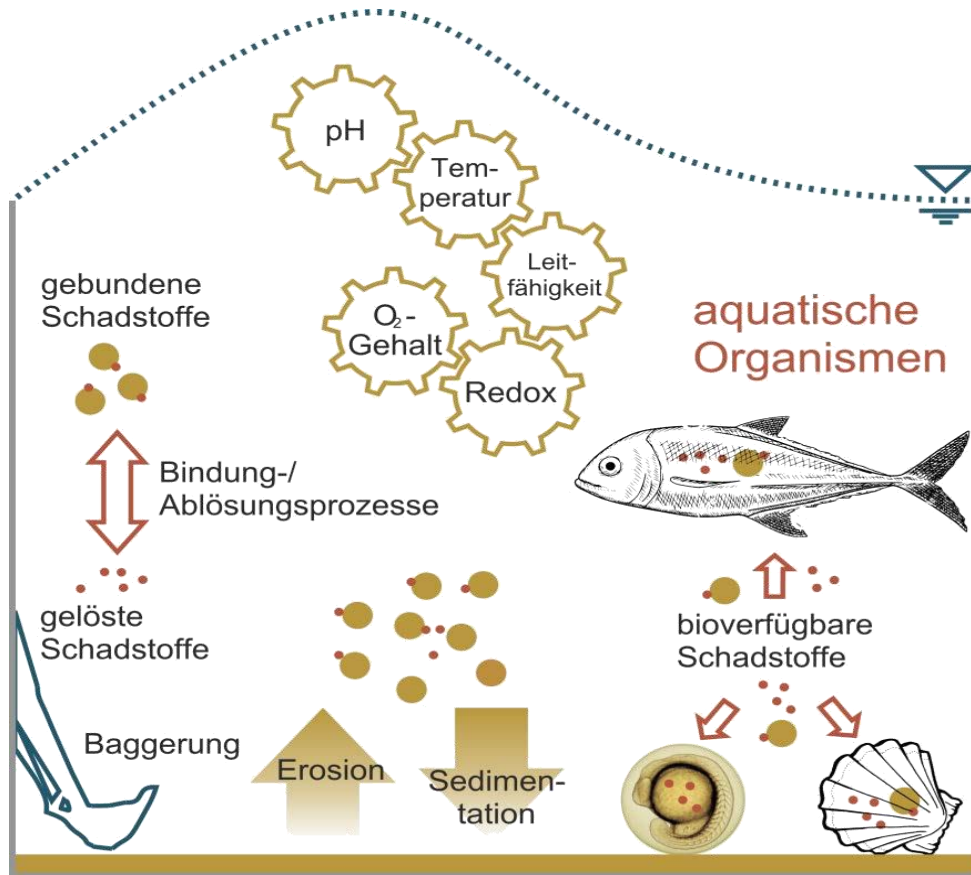
Mielck et al. (in prep): Persistent effects of marine sand extraction on habitats and associated benthic communities in the SE-North Sea

Habitatentwicklung in Entnahmetrichtern

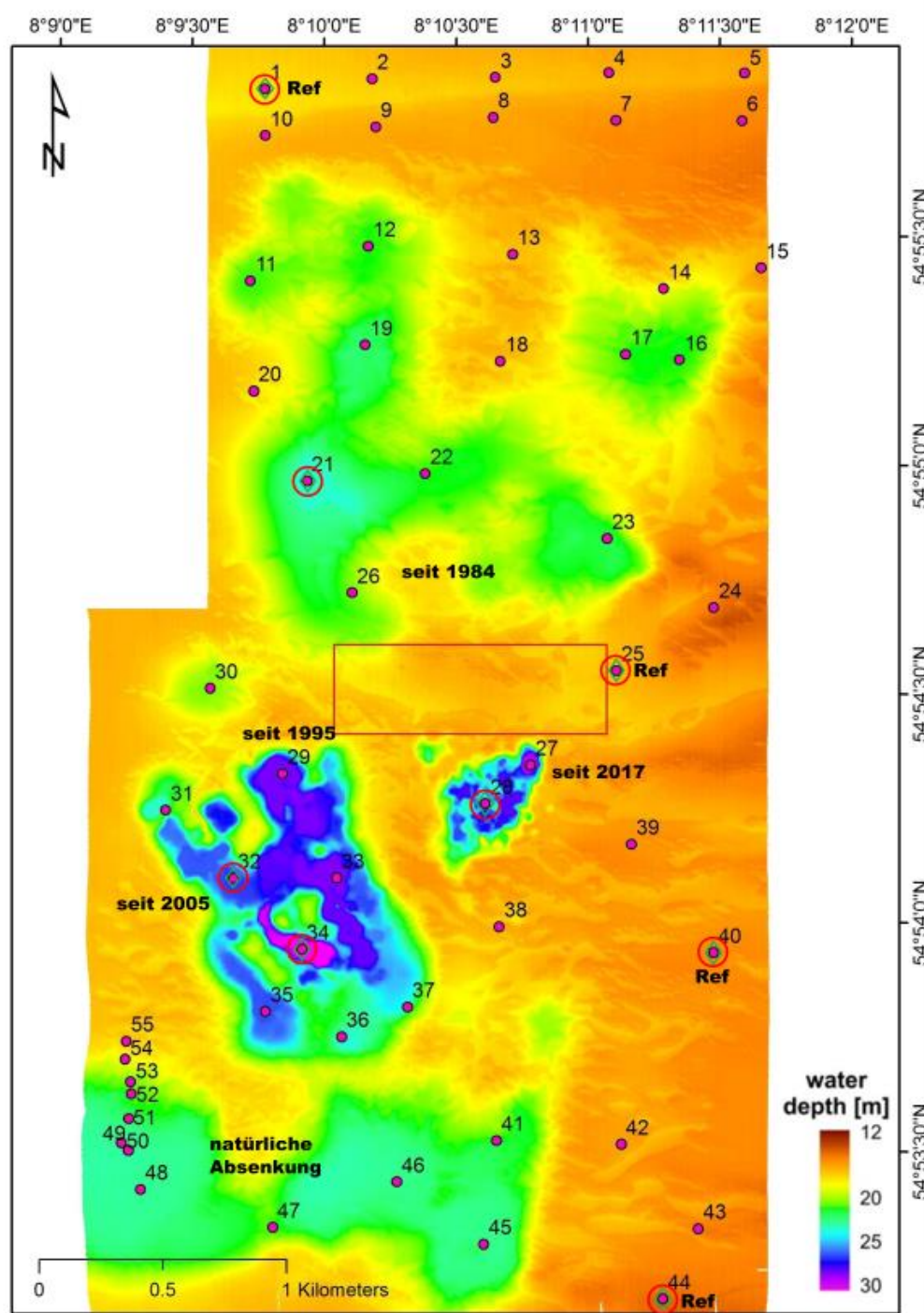


- In den Trichtern lagert sich Feinmaterial (Feinsand/Schluff) ab
- Kurzfristige Auffüllung durch Hangrutschungen, danach nur noch sehr langsam
- Nach 35 Jahren noch deutlich erkennbare Spuren am Meeresgrund vorhanden
- Artenvielfalt (Makrozoobenthos) nach mehr als 10 Jahren noch dezimiert
- Ansiedlung neuer (Schlick bevorzugender) Arten

Allgemeines



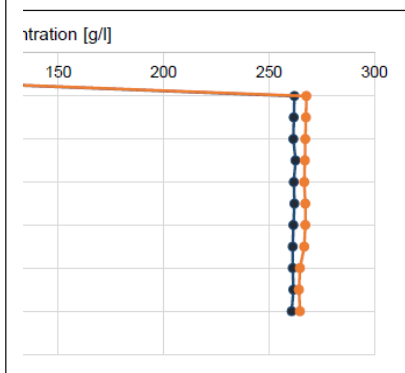
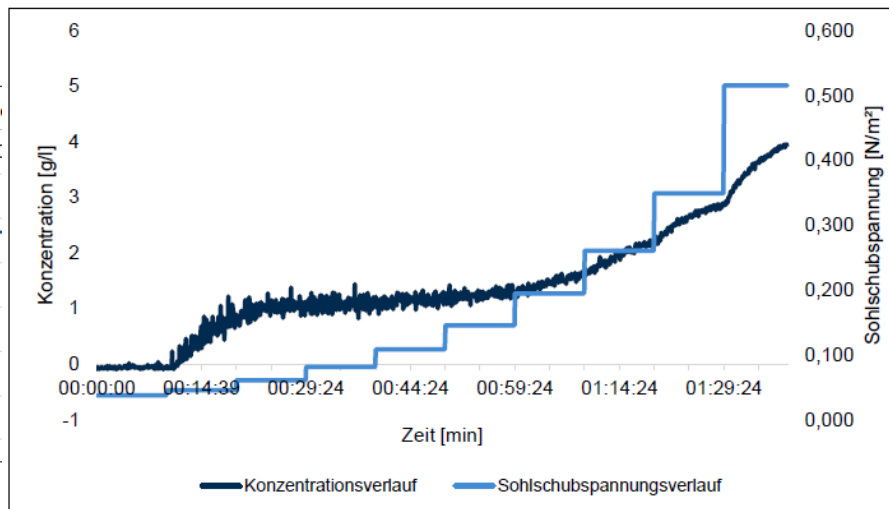
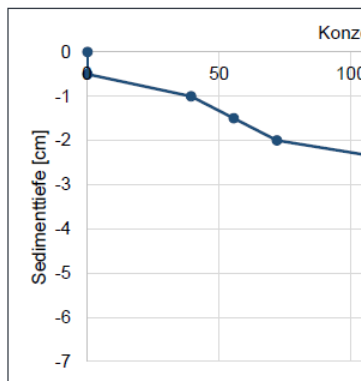
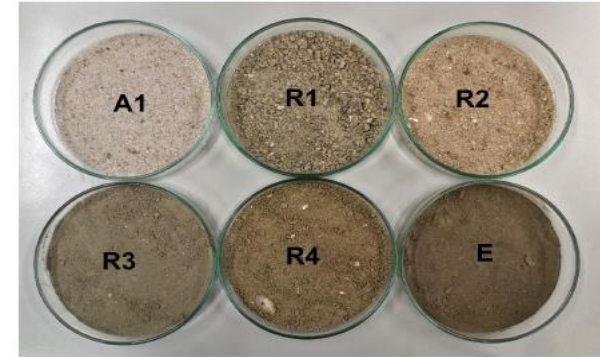
- Über 1000 kg Sedimentproben aus Entnahmegebiet Westerland II & III und Umgebung zur Referenz.
- Untersuchung von Vergleichsproben aus Hamburger Hafen und Rhein.
- Umfangreiche chemisch-physikalische Sedimentanalysen.
- Ermittlung des teratogenen Schädigungspotenzials der Sedimente und Biomarkeranalysen mit Muscheln.
- Anwendung der für fluviale Sedimente entwickelten Methode auf marine Sedimente konnte bestätigt werden.



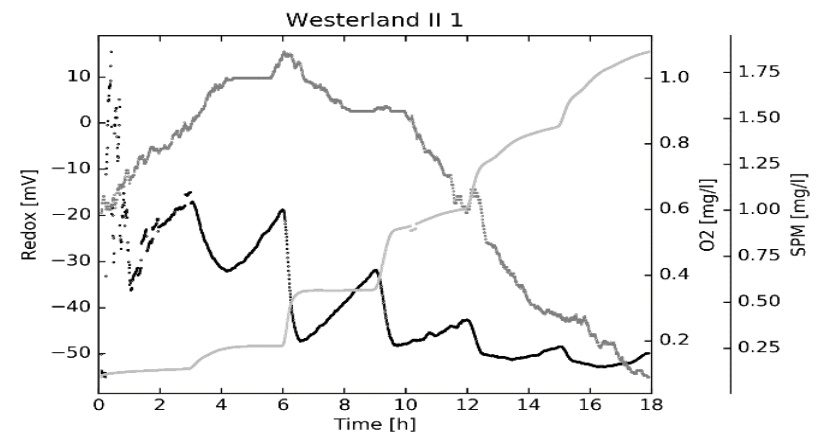
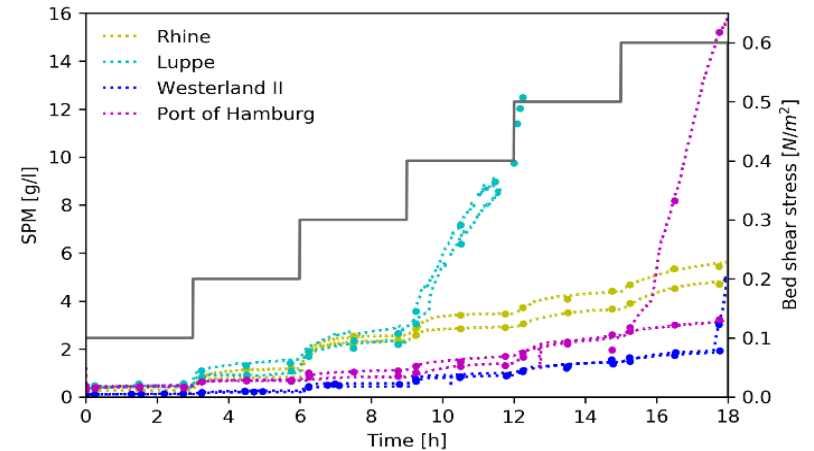
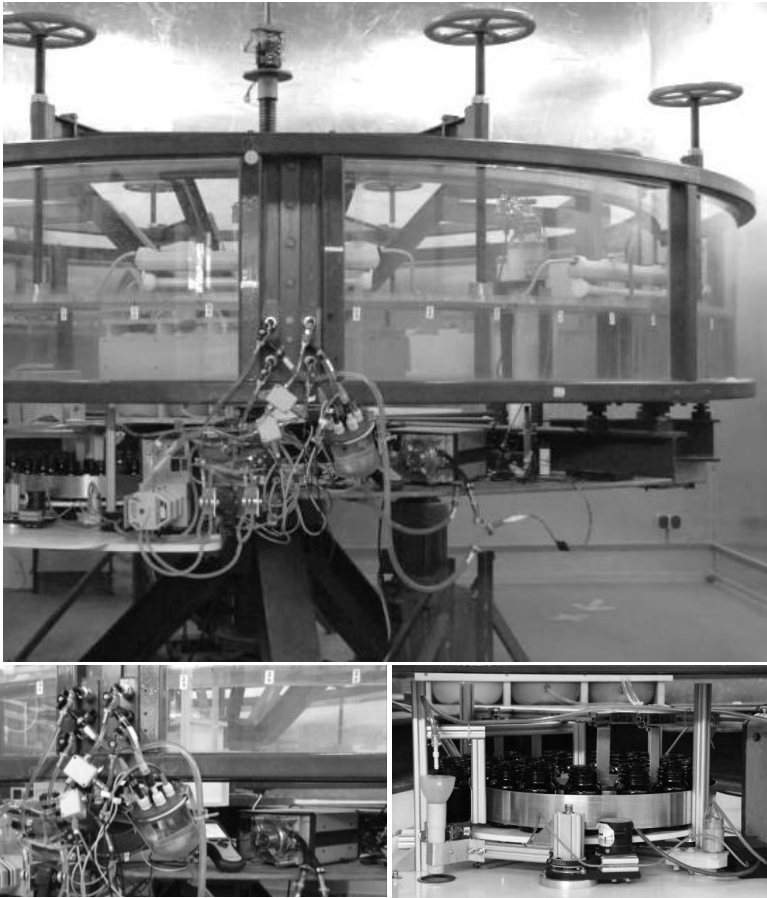
- Über 1000 kg Sedimentproben aus Entnahmegebiet Westerland II & III und Umgebung zur Referenz.
- Untersuchung von Vergleichsproben aus Hamburger Hafen und Rhein.
- Umfangreiche chemisch-physikalische Sedimentanalysen.
- Ermittlung des teratogenen Schädigungspotenzials der Sedimente und Biomarkeranalysen mit Muscheln.
- Anwendung der für fluviale Sedimente entwickelten Methode auf marine Sedimente konnte bestätigt werden.

Sedimentanalysen

Untersuchung	Methodik
Granulometrie	ISO 13320
Wassergehalt	DIN EN ISO 17892-1
Konsolidierungsversuche	UHCM (Ultraschallsensoren)
Kritische Sohlschubspannungen	EROSIMESS
Schwermetallbelastung	Röntgenfluoreszenzanalyse



Kreisgerinneversuche





Analyse des Gesamtkohlenstoffgehaltes in den Sedimenten

core	sample number		comment	TOC [%]
WDA (Stencil) 2019	WDA 1	18-1942	sand	0.04
	WDA 21	18-1943	mud	2.63
	WDA 25	18-1944	sand	0.06
	WDA 28	18-1945	sand	0.16
	WDA 32	18-1946	mud	3.13
	WDA 34	18-1947	mud	3.26
	WDA 40	18-1948	sand	0.08
	WDA 44	18-1949	sand	0.10
R	R1	18-1950	mud	0.12
	R2	18-1951	sand	0.04
	R3	18-1952	mud	0.46
	R4	18-1953	sand	0.11
HH	HH	18-1955	mud	1.72

- Hohe Kohlenstoffgehalte in schluffigen Sedimenten aus Entnahmekratern
- Höhere Kohlenstoffgehalte als Referenzsedimente aus Hamburger Hafen
- Kohlenstoffgehalte korrelieren negativ mit Sandanteil der Sedimente

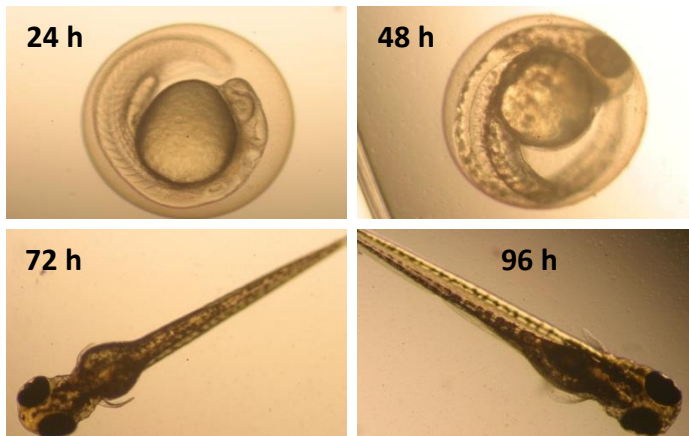
Analyse des teratogenen Schädigungspotenzials



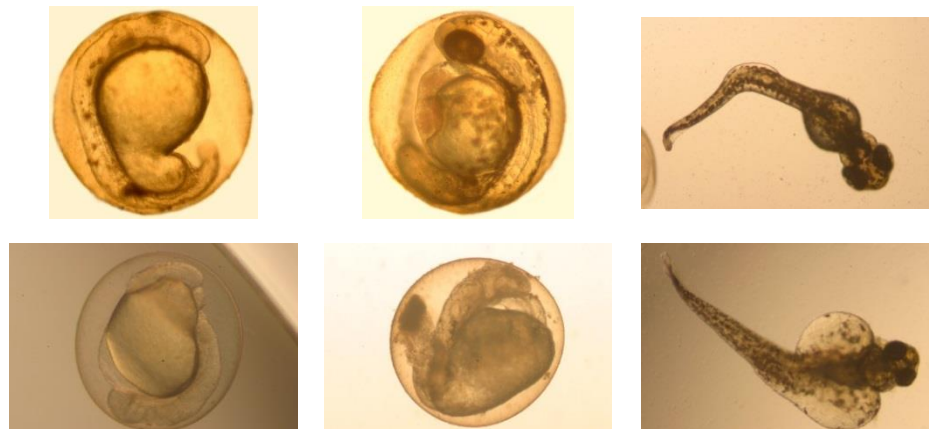
Zebrabärbling (*Danio rerio*)

- Fisch Embryo Toxizitätstest (Fischei-Test; FET) mit *Danio rerio*
- Embryonalentwicklung
- Sedimentkontakttest (realistische Bioverfügbarkeit von Schadstoffen)

Normalentwicklung



Unnatürliche Entwicklung durch Einwirkung von Schadstoffen



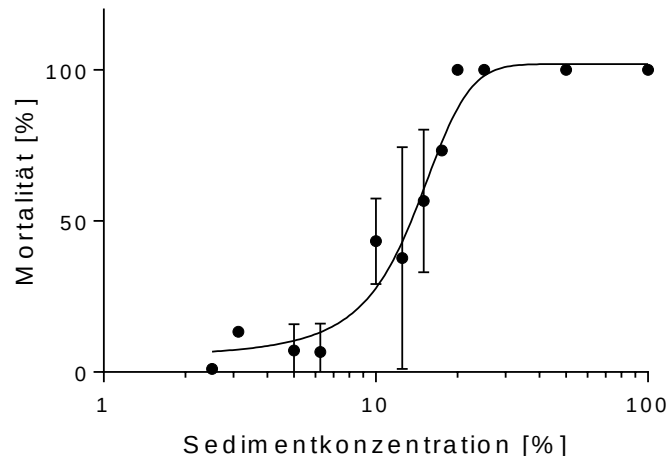


Analyse des teratogenen Schädigungspotenzials

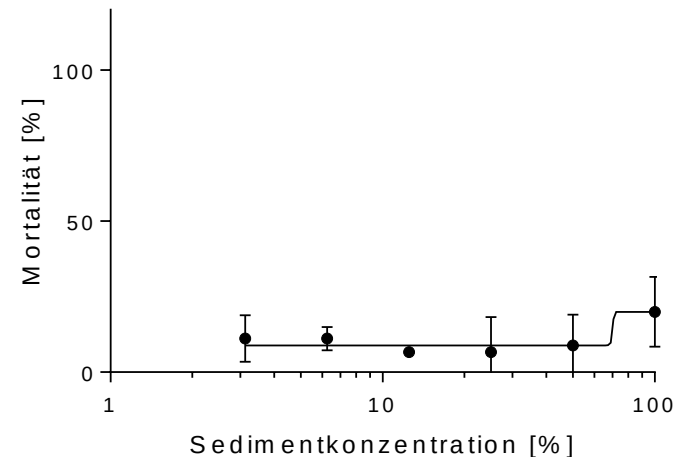
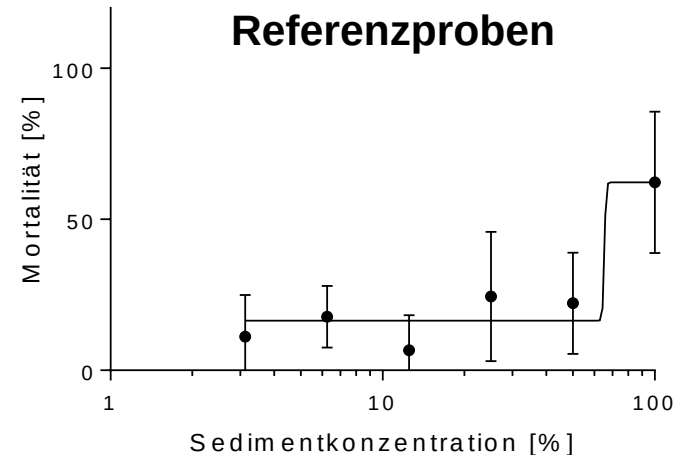
Teratogenes Schädigungspotenzial
der Sedimentproben 2017 vor Sylt
ermittelt im Sedimentkontakttest mit
Danio rerio

Sandentnahmestelle

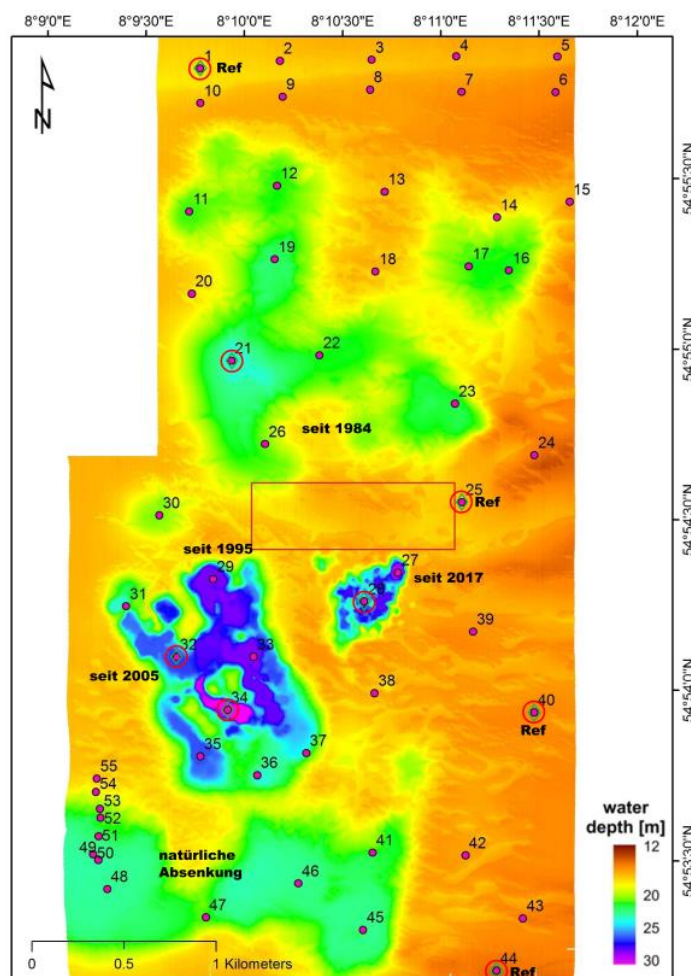
LC50 = 13,86 % Sediment



Referenzproben



Ökotoxikologisches Potenzial in Entnahmetrichtern



- Feinsedimente besitzen hohen Anteil an Gesamtkohlenstoff an den sich organische Schadstoffe binden können (Senke für Schadstoffe)
- Sedimente bzw. Sedimentextrakte aus den Entnahmekratern weisen im Vergleich zu Referenzsedimenten außerhalb der Entnahmekrater ein höheres ökotoxikologisches Potenzial auf (Endpunkte: Embryonaltoxizität, dioxin-ähnliche Wirksamkeit und Cytotoxizität)
- Je älter die Entnahmekrater, desto höher das ökotoxikologische Potenzial der Sedimente



Überblick über die internationale Praxis

- Auswertung von ca. 200 Dokumenten.
- Vergleich der Praxis in Europa (Deutschland, Dänemark, Niederlande, Belgien, Spanien, Großbritannien), USA und Australien.
- Große Unterschiede bezüglich Sandentnahme- und Aufspülstrategien.
- Noch größere Unterschiede bezüglich Überwachung der Umweltauswirkungen.
- Selbst in Europa Erfordernis für UVP stark unterschiedlich geregelt.
- Langfristiges Monitoring der Umweltauswirkungen an Entnahme- und Aufspülstellen nur in wenigen Ausnahmefällen.

Land	Entnahme	Aufspülung
Deutschland	> 0.25 km ²	Allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls
Niederlande	> 5 km ² oder > 10 Mio. m ³	> 5 km Länge u. > 250 m ³ /m (effektiv 1.250.000 m ³)
Spanien	Immer (Galizien, Kantabrien) > 3 Mio. m ³ (andere)	> 500.000 m ³

Staudt et al. (2020)



TP 1 Strategien/Entscheidungshilfen für die Praxis

SWOT Analyse

Analyse der **Stärken**, **Schwächen**, **Chancen** und **Risiken**, die mit Sandaufspülungen im allgemeinen sowie mit unterschiedlichen Entnahmeverfahren (marine Tiefen- und Flächenentnahme terrestrische Entnahme) und Aufspülstrategien (Strandaufspülung, Vorstrandaufspülung, Dünenverstärkung, Mega-Aufspülung) verbunden sind.

	Nützlich	Schädlich
Heutige (bekannte) Eigenschaften des Verfahrens	Stärken	Schwächen
Zukünftige Entwicklung des Verfahrens, die unter Einbezug weiterer externer Faktoren abgeschätzt wird	Chancen	Risiken



STENCIL

Strategies and Tools for Environment-Friendly
Shore Nourishments as Climate Change Impact
Low-Regret Measures



Erfahrungen mit Sandersatz im Küstenschutz

Eine allgemeine Entscheidungsunterstützung für die Praxis mit aktuellen Erkenntnissen aus der Wissenschaft

STENCIL: Strategien und Werkzeuge für umweltfreundliche Sandaufspülungen als 'low-regret' Maßnahmen unter Auswirkung des Klimawandels (FKZ: 03F0761A-D)

GEFÖRDERT VOM

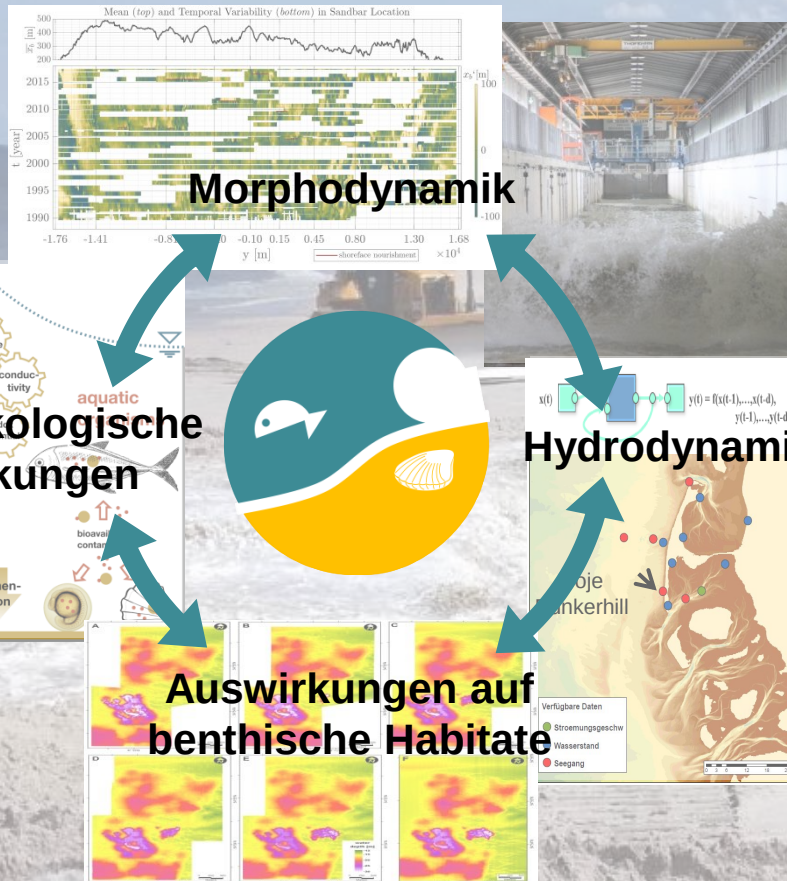


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

<http://www.stencil-project.de/de/ergebnisse/>



Werkzeuge (Modelle und Methoden) für Planung, Begleitung/Überwachung nachhaltiger Sandaufspülungen



Strategien (Entscheidungshilfen) für nachhaltiges Management von Sandaufspülungen



Erfahrungen mit Sandersatz im Küstenschutz

Eine allgemeine Entscheidungsunterstützung für die Praxis mit aktuellen Erkenntnissen aus der Wissenschaft

STENCIL: Strategien und Werkzeuge für umweltfreundliche Sandaufspülungen als 'low-regret' Maßnahmen unter Auswirkung des Klimawandels (FKZ: 03F0761A-D)



Weitere Informationen

- STENCIL Abschlussbericht / STENCIL Paper in *Die Küste*

Literatur

R. Gijsman, J. Visscher, T. Schlurmann (2019a): The lifetime of shoreface nourishments in fields with nearshore sandbar migration. Coastal Engineering 152, 103521. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.103521>

R. Gijsman, J. Visscher, T. Schlurmann (2019b): An assessment of beach nourishment lifetimes on Sylt. Proc. 8th Short Course on Applied Coastal Research 2019 (9. – 11. September 2019, Bari, Italy)

R. Gijsman, J. Visscher, B.G. Ruessink, A. Hinrichsen, T. Schlurmann (2020): Observations on long-term sandbar behaviour along a large-scale curved and persistently nourished coastline: The Island of Sylt, Germany. Earth Surface Processes and Landforms, Wiley (in Begutachtung)

F. Mielck, H.C. Hass, R. Michaelis, L. Sander, S. Papenmeier, K.H. Wiltshire (2018): Morphological changes due to marine aggregate extraction for beach nourishment in the German Bight (SE North Sea). Geo-Marine Letters. <https://doi.org/10.1007/s00367-018-0556-4>

F. Staudt, R. Gijsman, C. Ganai, F. Mielck, J. Wolbring, H.C. Hass, N. Goseberg, H. Schüttrumpf, T. Schlurmann, S. Schimmels (2020): The sustainability of beach nourishments: A review of nourishment and environmental monitoring practice. Journal of Coastal Conservation, Springer (in Begutachtung)

D. Schürenkamp, K. Keimer, N. Goseberg, (2020): Towards a neural network toolbox for the design of sustainable shore nourishments. Proc. 37th International Conference on Coastal Engineering, ICCE 2020, 13-18 September 2020, Sydney, Australia (Abstract submitted)

S. Schimmels, F. Staudt, D. Boscia, J. van der Zanden, J. van der Werf, D. Hurther, D. Cristaudo, C.C. Ferreira (2020): The transport of mixed sand under full-wave action. Proc. 37th International Conference on Coastal Engineering, ICCE 2020, 13-18 September 2020, Sydney, Australia (Abstract submitted)

J.J. van der Werf, F. Staudt, D. Posanski, W. van de Wardt, J. van der Zanden, B. Vermeulen, J.S. Ribberink, S. Schimmels (2019): Understanding and modelling wave-driven mixed sand transport, in: Coastal Sediments '19. Tampa/St. Pete. https://doi.org/10.1142/9789811204487_0070



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

STENCIL-Team:

FZK: Stefan Schimmels, Franziska Staudt, Daniel Posanski,
Huichen Zhang

LuFI: Torsten Schlurmann, Jan Visscher, Rik Gijsman

LWI: Nils Goseberg, David Schürenkamp, Johanna Wolbring

AWI-Sylt: Karen Wiltshire, Christian Hass, Finn Mielck

RWTH Aachen: Holger Schüttrumpf, Henner Hollert,
Catrina Brüll, Caroline Ganal, Björn Deutschmann

GEFÖRDERT VOM

