

Nachrichten des Marschenrates zur Förderung der Forschung im Küstengebiet der Nordsee

Heft 56 / 2019

Herausgeber:

Marschenrat zur Förderung der Forschung im Küstengebiet der Nordsee e. V.,
26382 Wilhelmshaven, Viktoriastraße 26/28

Telefon: 04421 915-0 · Telefax: 04421 915-110 · E-Mail: marschenrat@nihk.de

BIOWISSENSCHAFTEN

Sachbearbeiter: Prof. Dr. Franz Bairlein, Leitender Wissenschaftlicher Direktor, Leiter des Instituts für Vogelforschung „Vogelwarte Helgoland“, Wilhelmshaven

Foraminiferen und Ostrakoden im Ostfriesischen Wattenmeer – Ein Beitrag zur Meeresspiegelrekonstruktion

JULIANE SCHEDER, ANNA PINT, MAX ENGEL, FRIEDERIKE BUNGENSTOCK, PETER FRENZEL und HELMUT BRÜCKNER

Rekonstruktionen des relativen Meeresspiegels (RMS) sind von großer Bedeutung für das Verständnis der Küstenentwicklung und stellen eine wichtige Basis für Vorhersagen des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs dar. Aufgrund der bisher recht groben Auflösung der Torf-basierten RMS Kurven der Deutschen Nordseeküste und fehlender Küstentorfe in den letzten 2000 Jahren wurde in jüngerer Zeit mehrfach die Notwendigkeit präziserer quantitativer Daten zum Ausdruck gebracht (vgl. Vink et al. 2007; Bungenstock & Schäfer 2009; Baeteman et al. 2011; Meijles et al. 2018). Deshalb soll diese Studie mit Hilfe eines für die südliche Deutsche Bucht neuen Ansatzes höher aufgelöste Rekonstruktionen des RMS ohne das Vorhandensein von Torfen ermöglichen. Foraminiferen, schalentragende Einzeller (Kammerlinge), und Ostrakoden, zweiklappige Crustaceen (Muschelkrebse), bilden Habitat-spezifische Artenvergesellschaftungen in der sedimentären Abfolge. Aufgrund dessen kann die Artenverteilung entlang eines Oberflächentransekts über verschiedene heutige intertidale Bereiche genutzt werden, um auf die vertikale Beziehung zur Mittelwasserlinie rückzuschließen und so eine Transferfunktion (TF) für die RMS-Entwicklung zu entwickeln. Mit Hilfe dieser TF soll die höher aufgelöste Rekonstruktion des RMS anhand von Bohrkernen des WASA-Projekts („*The Wadden Sea as an archive of landscape evolution, climate change and settlement history*“, <http://nihk.de/index.php?id=483&L=1>; siehe Beitrag Bittmann in diesem Heft, S. 25-27) ermöglicht werden.

Die hier präsentierte Untersuchung beschreibt den ersten Schritt zur Erstellung einer solchen TF: Einer Vertikal- und Horizontalzonierung der beiden Mikrofaunagruppen entlang eines senkrecht zur Küste verlaufenden Profils im Rückseitenwatt der Ostfriesischen Insel Spiekeroog. Das genaue Untersuchungsgebiet befindet sich an der südlichen Küste der Insel (Abb. 1), die einen durchschnittlichen Tidenhub von 2,7 m aufweist (BSH 2018). Der untersuchte Transekt erstreckt sich über ca. 1180 m in N-S Richtung von der Salzwiese über die Rückseitenwattfläche bis hin zum nächstgelegenen Priel „Swinn“.

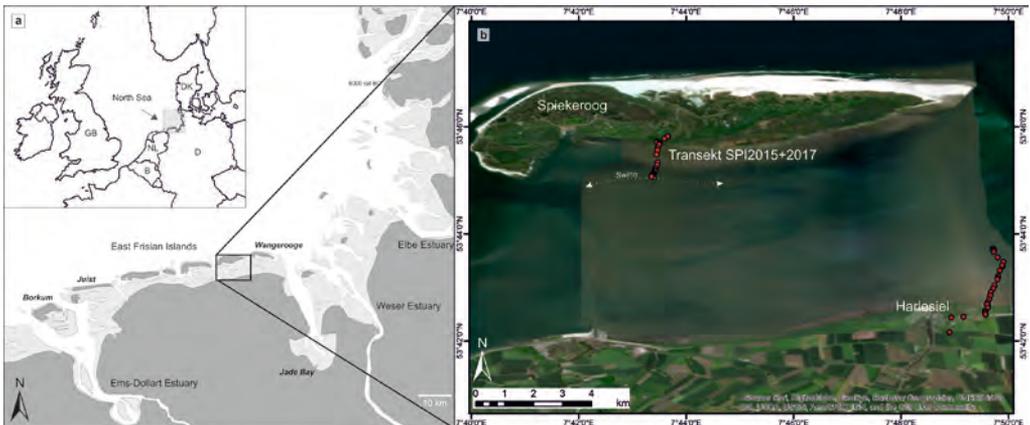


Abb. 1. Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. a: Südliche Nordseeküste mit Ostfriesischen Inseln, b: Luftbild des Rückseitenwatts von Spiekeroog mit untersuchtem (hellrot) und zusätzlich beprobtem (dunkelrot) Oberflächen-transekt. Der ungefähre Verlauf des nächstgelegenen Priels „Swinn“ ist eingezeichnet.

Transferfunktionen (TF)

TF im Kontext der Meeresspiegelforschung sind empirisch hergeleitete Gleichungen, die eine Beziehung zwischen der Höhe (relativ zum Meeresspiegel [NHN]) und dem relativen Vorkommen von Foraminiferen- und Ostrakodenarten herstellen. Diese Relation wird in einer Funktion modelliert, die auf fossiles Material in Bohrkernen angewendet werden kann. Die Anwendung ermöglicht im Umkehrschluss die Berechnung einer Paläo-Wassertiefe einer Kernprobe aus den relativen Artenhäufigkeiten fossiler Foraminiferen- und Ostrakodenvergesellschaftungen (vgl. Leorri et al. 2010; Kemp et al. 2012). Dieser Ansatz ermöglicht hochaufgelöste quantitative Rekonstruktionen des lokalen RMS und gibt sogar probenspezifische Fehlerwahrscheinlichkeiten für die Rekonstruktion an (Kemp & Telford 2015).

Foraminiferen-basierte TF wurden in den vergangenen drei Jahrzehnten vor allem für Dänemark, Großbritannien und Nordamerika etabliert (z. B. Gehrels & Newman 2004; Engelhart & Horton 2012), nicht jedoch für die südliche Deutsche Nordseeküste. Darüber hinaus ist die kombinierte Anwendung von Foraminiferen und Ostrakoden der Meeresspiegelforschung weltweit ein Novum.

Angewandte Methodik

Entlang des Transekts wurden im Winter 2015 und Sommer 2017 in 15-cm Höhenschritten 23 Proben vom Supratidal bis ins flache Subtidal genommen. Bengalrot gefärbtes Ethanol diente, neben der Konservierung, zur Unterscheidung von Lebend- (eingefärbt) und Totfauna (nicht eingefärbt) (vgl. Walton 1952). Für die mikrofaunistische Analyse wurden die obersten 3 cm der Sedimentoberfläche im Physisch-Geographischen Laboratorium der Universität zu Köln auf ihre Artenzusammensetzung untersucht.

Für sedimentologische Analysen (Korngrößenverteilung, C/N-Analyse) wurden zusätzliche Sedimentproben und, wo möglich, Wasserproben für Salinitätsmessungen genommen. Im Zuge der C/N-Analyse konnte neben dem Gesamt-Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt auch der Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) gemessen und somit auch der Anteil an anorganischem Kohlenstoff (TIC) bestimmt werden.

Die exakte Höhe jedes Probennahmepunktes wurde mit Hilfe eines Differentiellen Globalen Navigationssatellitensystems, basierend auf einem offiziellen Lagefestpunkt vor Ort, gemessen.

Die Bewertung der steuernden Umweltfaktoren erfolgte im Anschluss an die Laboranalysen mit Hilfe multivariater Statistik, insbesondere über die Kanonische Korrespondenzanalyse, mit der sich Hauptinflussfaktoren ermitteln lassen. Als finaler Schritt schloss sich die Entwicklung der TF mit Hilfe einer speziell darauf ausgelegten Software (C2 v1.7.7; Juggins 2007) an, deren vorausschauende Fähigkeit durch Kreuzvalidierung (Bootstrap-Verfahren) getestet wurde.

Ergebnisse Mikrofaunaverteilung

Die Ergebnisse der mikrofaunistischen und sedimentologischen Untersuchungen (Abb. 2) zeigen eine deutliche vertikale und laterale Unterteilung des Intertidals in sechs Zonen, identifizierbar u. a. anhand der unterschiedlichen Vergesellschaftungen von insgesamt sieben vorhandenen Foraminiferen- und drei Ostrakodentaxa (siehe Abb. 2).

Zone 1 (mittlere Salzwiese) ist durch typische Salzwiesen- und flachmarine Foraminiferen dominiert, begleitet von einigen wenigen Brackwasser-Ostrakoden. Außerdem prägen diese Zone unterschiedlich starke Veränderungen in Stickstoff (N), TOC, TIC und in der Korngrößenverteilung.

Zone 2 (untere Salzwiese) ist durch weitere typische, hauptsächlich agglutinierte Salzwiesen-Foraminiferen und Brackwasser-Ostrakoden dominiert. Außerdem ist sie durch Schwankungen in Stickstoff (N), TOC und TIC sowie der Korngröße charakterisiert. Letztere äußern sich in schwankenden Ton- und Schluffanteilen und einer daraus resultierenden schlechten Sortierung.

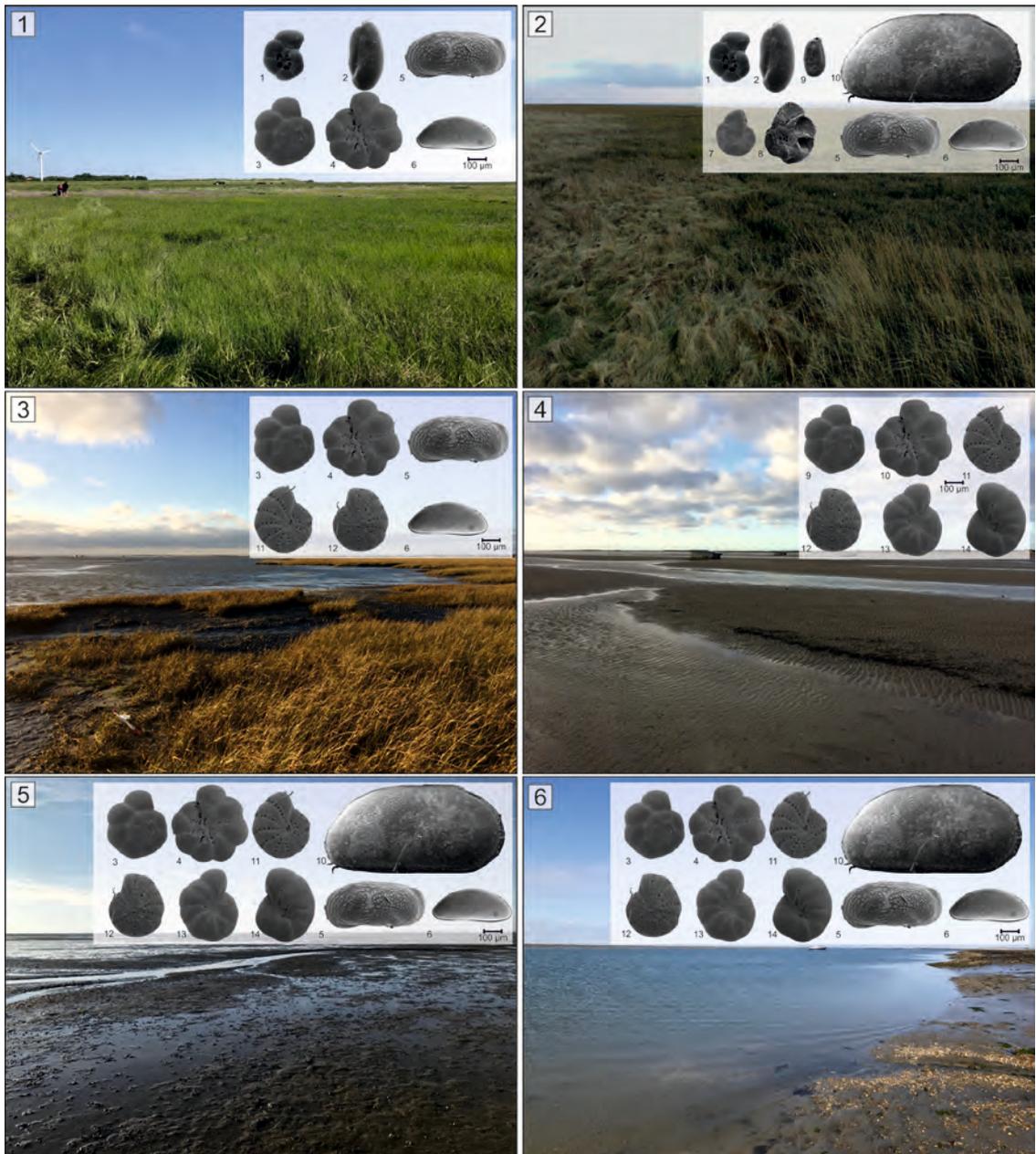


Abb. 2. Fotografische Aufnahmen der identifizierten Zonen 1-6 mit dominanter Mikrofauna. Foraminiferen: 1. *Trochammina inflata* (Montagu 1803), 2. *Triloculina oblonga* (Montagu 1803), 3+4. *Ammonia tepida* (Cushman 1926), 7+8. *Entzia macrescens* (Brady 1870), 9. *Miliammina fusca* (Brady 1870), 11+12. *Criboelphidium williamsoni* (Haynes 1973), 13+14. *Haynesina germanica* (Ehrenberg 1840); Ostrakoden: 5. *Leptocythere pellucida* (Baird 1850), 6. *Cytherois pusilla* (Sars 1928), 10. *Cyprideis torosa* (Jones 1850).

Zone 3 (Pionierzone) weist nur einige wenige Foraminiferen und Ostrakoden auf, diesmal allerdings hauptsächlich typische Flachwasserarten. Da N, TOC, TIC und die Korngrößenverteilung aber bereits eher der angrenzenden Zone 4 ähneln, wurde Zone 3 als Übergangszone festgelegt.

In Zone 4 (Sandwatt) können weiterhin nur sehr wenige Foraminiferen und keine Ostrakoden beobachtet werden. N, TOC und TIC sind auf sehr niedrigem Niveau und die Korngröße ist, mit ausschließlich Mittel- und Feinsand, durch eine recht gute Sortierung geprägt.

In der folgenden Zone 5 (Mischwatt) sind wieder deutlich mehr Foraminiferen und Ostrakoden vorhanden, diesmal deutlich dominiert von Watten-typischen Flachwasserarten. Auch N, TOC, TIC und die Korngrößenverteilung zeigen leichte Veränderungen.

Die letzte Zone 6 (Übergang zum Priel) ist anhand von nur zwei Proben durch die vorhandenen Veränderungen in allen sedimentologischen Faktoren von der vorherigen Zone abzugrenzen. Bezüglich der Mikrofauna zeigen sich eine Abnahme der lebenden Individuen, die mit der Nähe zum Priel erklärt werden könnte, und ein Dominanzwechsel zwischen den beiden am meisten vorkommenden Watt-Foraminiferen (*Haynesina germanica* und *Ammonia tepida*).

Generell lässt sich die Abwesenheit von Mikrofauna gut mit den geringen N- und TOC-Werten (geringe Nahrungsverfügbarkeit) und dem hohen Sandanteil (hohe Dynamik) korrelieren, während Bereiche mit höheren Anteilen an feinkörnigem Sediment, TOC, TIC und N Mikrofauna in teilweise enormen Konzentrationen aufweisen. Da das C/N-Verhältnis im gesamten Transekt zwischen 4 und 10 liegt, kann davon ausgegangen werden, dass der organische Kohlenstoff vollständig aus aquatischen Quellen stammt (vgl. Last & Smol 2001). Wie erwartet, folgt die Salinität einem generell ansteigenden Trend von der Salzwiese zum Priel, mit ansteigender Wasserbedeckung und -tiefe (vgl. Flöser et al. 2011). Die beiden niedrigsten Proben sind grundsätzlich kritisch zu betrachten, da sie aufgrund ihrer Position am Rand des Priels von stärkerer Umlagerung betroffen und somit verfälscht sein könnten.

Entwicklung, Überprüfung und Bewertung der TF

Da die Kanonische Korrespondenzanalyse die Höhe als Hauptsteuerungsfaktor für den Rezentdatensatz bestätigte, ist zunächst die wesentliche Bedingung für die Entwicklung TF erfüllt. Aufgrund möglicher Beeinflussung lebender Individuen durch saisonale Unterschiede, kamen nur die toten (nicht eingefärbten) Foraminiferen und Ostrakoden für die TF zur Anwendung. Diese Vergesellschaftungen sollten eine Ansammlung von Individuen und mit ihnen verbundene taphonomische Veränderungen als Mittelwert über mehrere Jahre repräsentieren (z. B. Murray 2000).

Zwei unterschiedliche Modellierungen wurden durchgeführt: Modell A verwendet ausschließlich Foraminiferen, was den bisherigen Standard für RMS TF darstellt (z. B. Kemp & Telford 2015; Müller-Navarra et al. 2017), während Modell B die vorhandenen Ostrakoden miteinbezieht. Der untersuchte Höhengradient von 2,69 m (+1,51 bis -1,18 m NHN) entspricht in etwa dem Tidenhub von Spiekeroog mit 2,70 m (BSH 2018).

Die Überprüfung der beiden Modelle durch 1000-faches Bootstrapping (statistische Methode der Stichprobenwiederholung) lieferte für Modell A eine bereits gute Korrelation von 0,82 und einen vertikalen Fehler von 54,2 cm, was 20,2 % des Tidenhubs entspricht. Modell B hingegen lieferte mit 0,84 eine noch bessere Korrelation und mit 49,1 cm ebenfalls einen geringeren vertikalen Fehler (18,3 % des Tidenhubs).

Die Miteinbeziehung der Ostrakoden für die Entwicklung der RMS TF sorgt also für eine Verbesserung der TF, was den Vorteil dieses neuen Ansatzes bestätigt. Obwohl dieser vertikale Fehler bereits kleiner ist als der bisheriger, auf Torf basierter RMS-Rekonstruktionen im Meterbereich (z. B. Long

et al. 2006; Vink et al. 2007; Bungenstock & Schäfer 2009; Meijles et al. 2018), wirkt er mit 49 cm doch noch vergleichsweise hoch (Edwards & Wright 2015) und somit verbesserungswürdig.

Da die meisten Studien ihre TF auf einer Probenanzahl von mindestens 40 aufbauen (z. B. Kemp et al. 2012; Müller-Navarra et al. 2017), ist davon auszugehen, dass eine Erweiterung des Rezentdatensatzes die TF weiter verbessern würde, entweder durch engere Beprobungsintervalle oder durch zusätzliche Proben eines weiteren Oberflächentransektes.

Fazit und Ausblick

Der untersuchte Oberflächentransekt an der südlichen Küste Spiekeroogs zeigt eine deutliche vertikale und horizontale Zonierung der Foraminiferen und Ostrakoden, die im Wesentlichen durch die Höhe relativ zum Meeresspiegel, also die Wassertiefe, gesteuert wird. Aus diesem Grund eignet sich der Datensatz gut für die Entwicklung einer Transferfunktion (TF) zur Rekonstruktion des relativen Meeresspiegels (RMS). Das bisher übliche Modell der TF, welches ausschließlich tote Foraminiferen nutzt, konnte durch die Beachtung der in der gleichen Sedimentfraktion vorkommenden Ostrakoden um ~5 cm vertikalen Fehler verbessert werden. Die verbesserte TF ermöglicht eine Korrelation von 0,84 bei einem vertikalen Fehler von 49,1 cm. Dies entspricht 18,3 % des untersuchten Höhengradienten von ~2,7 m.

Aufgrund der Notwendigkeit verbesserter RMS-Rekonstruktionen mit höherer Auflösung und geringeren Fehlerbereichen (vgl. Vink et al. 2007; Bungenstock & Schäfer 2009; Baeteman et al. 2011), wird versucht, die hier präsentierte TF in naher Zukunft weiter zu verbessern. Zu diesem Zweck wurde bereits ein zweiter Oberflächentransekt, mit zusätzlichen 43 Proben, auf der Festlandseite des Spiekerooger Rückseitenwatts beprobt (Abb. 1), der als nächstes analysiert wird.

Schlussendlich wird die verbesserte TF an holozänen Sedimentabfolgen, die im Rahmen des WASA-Projekts untersucht werden, angewendet, um die RMS-Entwicklung seit dem letzten glazialen Maximum im Bereich der Ostfriesischen Inseln in höherer Präzision als bisher zu rekonstruieren.

Literatur:

- Baeteman, C., Waller, M., & Kiden, P., 2011: Reconstructing middle to late Holocene sea-level change: A methodological review with particular reference to 'A new Holocene sea-level curve for the southern North Sea' presented by K.-E. Behre. *Boreas* 40, 557-572.
- Bungenstock, F., & Schäfer, A., 2009: The Holocene relative sea-level curve for the tidal basin of the barrier island Langeoog, German Bight, Southern North Sea. *Global and Planetary Change* 33, 34-51.
- BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie), 2018: Gezeitenkalender 2018. Hoch- und Niedrigwasserzeiten für die Deutsche Bucht und deren Flussgebiete. Hamburg.
- Edwards, R., & Wright, A., 2015: Foraminifera. In: Shennan, I., Long, A. J., & Horton, B. P. (eds.): *Handbook of Sea-Level Research*. Hoboken (AGU/Wiley), pp. 191-217.
- Engelhart, S. E., & Horton, B. P., 2012: Holocene sea level database for the Atlantic coast of the United States. *Quaternary Science Reviews* 54, 12-25.
- Flöser, G., Burchard, H., & Riethmüller, R., 2011: Observational evidence for estuarine circulation in the German Wadden Sea. *Continental Shelf Research* 31, 1633-1639.
- Gehrels, W. R., & Newman, S. W., 2004: Salt-marsh foraminifera in Ho Bugt, western Denmark, and their use as sea-level indicators. *Geografisk Tidsskrift – Danish Journal of Geography* 104(1), 97-106.
- Juggins, S., 2007: C2 Version 1.5: software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. University of Newcastle, Newcastle upon Tyne.
- Kemp, A. C., & Telford, R. J., 2015: Transfer functions. In: Shennan, I., Long, A. J. & Horton, B. P. (eds.), *Handbook of Sea-Level Research*. AGU/Wiley, Hoboken, 191-217.
- Kemp, A. C., Horton, B. P., Vann, D. R., Engelhart, S. E., Grand, C. A., Vane, C. H., Nikitina, D., & Anisfeld, S. C., 2012: Quantitative vertical zonation of salt-marsh foraminifera for reconstructing former sea level; an example from New Jersey, USA. *Quaternary Science Reviews* 54, 26-39.
- Last, W. M., & Smol, J. P., 2001: *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 2, Physical and Geochemical Methods*. Dordrecht.
- Leorri, E., Gehrels, W. R., Horton, B. P., Fatela, F., & Cearreta, A., 2010: Distribution of foraminifera in salt marshes along the Atlantic coast of SW Europe: Tools to reconstruct past sea-level variations. *Quaternary International* 221(1-2), 104-115.

- Long, A. J., Waller, M. P., & Stupples, P., 2006: Driving mechanisms of coastal change: peat compaction and the destruction of late Holocene coastal wetlands. *Marine Geology* 225, 63-84.
- Meijles, E. W., Kiden, P., Steurman, H.-J., van der Plicht, J., Vos, P. S., Gehrels, W. R., & Kopp, R. E., 2018: Holocene relative mean sea-level changes in the Wadden Sea area, northern Netherlands. *Journal of Quaternary Science* 33(8), 905-923.
- Müller-Navarra, K., Milker, Y., & Schmiedl, G., 2017: Applicability of transfer functions for relative sea-level reconstructions in the southern North Sea coastal region based on salt-marsh foraminifera. *Marine Micropaleontology* 135, 15-31.
- Murray, J. W., 2000: The enigma of the continued use of total assemblages in ecological studies of benthic Foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research* 30(3), 224-245.
- Vink, A., Steffen, H., Reinhardt, L., & Kaufmann, G., 2007: Holocene relative sea-level change, isostatic subsidence and the radial viscosity of the mantle of northwest Europe (Belgium, the Netherlands, Germany, southern North Sea). *Quaternary Science Reviews* 26, 3249-3275.
- Walton, W. R., 1952: Techniques for Recognition of Living Foraminifera. Scripps Institution of Oceanography, 14 pp.

Autoren:

Dr. Friederike Bungenstock
Niedersächsisches Institut für
historische Küstenforschung
Viktoriastraße 26/28
26382 Wilhelmshaven
E-Mail: bungenstock@nihk.de

Prof. Dr. Helmut Brückner
Geographisches Institut
Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln
E-Mail: h.brueckner@uni-koeln.de

Dr. Max Engel
Geographisches Institut
Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln
E-Mail: max.engel@uni-koeln.de

Geological Survey of Belgium
Royal Belgian Institute of
Natural Science
Jennerstraat 13
1000 Brussels (Belgium)
E-Mail: mengel@naturalsciences.be

PD Dr. Peter Frenzel
Institut für Geowissenschaften
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Burgweg 11
07749 Jena
E-Mail: Peter.Frenzel@uni-jena.de

Dr. Anna Pinta
Geographisches Institut
Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln
E-Mail: pinta@uni-koeln.de

Juliane Scheder, M. Sc.
Niedersächsisches Institut für
historische Küstenforschung
Viktoriastraße 26/28
26382 Wilhelmshaven
E-Mail: scheder@nihk.de

Geographisches Institut
Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
50923 Köln
E-Mail: schederj@uni-koeln.de