

Bearbeitungsstand: 31.10.2019

Forschungsprojekt FluviMag: Fluvialer Transport von Magneto-Mineralen

Michael Pirrung

Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität Jena,
Burgweg 11, D-07749 Jena, E-Mail: michael.pirrung@uni-jena.de

Marcus Böhm

Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller Universität Jena,
Burgweg 11, D-07749 Jena, E-Mail: marcus.boehm@uni-jena.de

Martina Kunz-Pirrung

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Permoserstraße 15, D-04318 Leipzig, E-Mail:
martina.kunz-pirrung@ufz.de

Das Keyence Digitalmikroskop der Allgemeinen und Historischen Geologie am Institut für Geowissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena stand uns für diese Studie zur Verfügung und im Sedimentlabor wurden Schwereretrennung und Dünnschliffpräparation an zwei Proben durchgeführt. Für diese freundliche Unterstützung möchten wir uns bei den Herren Prof. Dr. Christoph Heubeck, Dr. Steven Flesh und PD Dr. Peter Frenzel sowie Herrn Frank Linde sehr herzlich bedanken.

5.12. Litoral – Usedom

Die Insel Usedom, polnisch Uznam, im deutsch-polnischen Grenzgebiet südlich der Ostsee bietet die Möglichkeit, den Einfluß von anthropogenen Einträgen, z.B. als Folge industrieller Aktivitäten im Hafensbereich oder militärischer Altlasten aus dem 20. Jahrhundert auf der Peene-Halbinsel, auf die magnetische Suszeptibilität und magnetische Komponenten im Litoral, d.h. im Strandbereich, zu prüfen. Darüberhinaus können Prozesse der Abrasion, d.h. der Abtragung der Küste, untersucht werden. Die Küste Usedom ist von der Geologie her typisch für Inseln in der südwestlichen Ostsee mit dem Nebeneinander von sandigen Strandablagerungen, Dünenstränden und Moränen der letzten Eiszeit. Entnommen wurden nach den Winterstürmen zwischen dem 8. und 13. März 2017 14 Proben und weitere drei Proben wurden im Herbst 2018 ergänzt.

[5.12.1. Geologie von Usedom](#)

[5.12.2. Faziesbereiche](#)

[5.12.3. Färbung von Gesamtproben](#)

[5.12.4. Magnetische Suszeptibilität von Sedimentproben verschiedener Faziesbereiche](#)

[5.12.5. Komponenten der magnetischen und unmagnetischen Fraktionen](#)

[5.12.6. Korngrößenverteilung und –form der magnetischen und unmagnetischen Fraktionen](#)

[5.12.7. Zusammenfassung](#)

[5.12.8. Zitierte Literatur](#)

5.12.1. Geologie von Usedom

Die Insel Usedom ist die östlichste deutsche Insel an der Ostsee, der östliche Bereich gehört bereits zur Republik Polen. Sie stellt den östlichen Teil der vorpommerschen Bodden-Ausgleichsküste dar (DUPHORN, et al. 1995). Die Küstenkilometrierung Usedom ist unter http://service.mvnet.de/_php/download.php?datei_id=155708, S. 11 & 34-37, verfügbar. In E-W-Richtung ist die Insel im Süden bis zu 34 km breit, ausgemessen auf der topographischen Karte 1 : 25 000 (GARMIN 2008). Die seewärtige Küstenlinie zwischen der Mündung der Swine, bzw. polnisch: Swina, und dem nördlichsten Punkt der Insel nordöstlich des Flugplatzes Peenemünde beträgt ca. 41,5 km, davon ist ein Bereich von etwa 3,56 km Länge mit sumpfigem Uferbereich in Nordwesten derzeit nicht öffentlich zugänglich. Letztgenannter Bereich zeichnet sich im Luftbild, siehe www.google-earth.de, seewärts durch geringe Wassertiefen und ausgedehnte Sandbänke aus, was für aktuelle Akkumulation von Sedimenten spricht, siehe [Abb. 5.12-1](#). Der übrige Teil mit vorwiegend ENE-Verlauf weist ein sandiges Litoral auf. Die schmalste Stelle der Insel liegt östlich des Seebades Zempin und westlich des Seebades Koserow mit nur 310 m horizontaler Distanz zwischen Ostsee-Litoral und Ufer des Achterwassers. Da nur wenige Proben im polnischen Teil Usedom entnommen wurden, finden für eine bessere Lesbarkeit nachfolgend überwiegend die deutschen topographischen Bezeichnungen Verwendung.

Der Tidenhub der Ostsee spielt mit weniger als 15 cm nach (DUPHORN, et al. 1995) höchstens in sehr flach abfallenden Vorstrandbereichen der Peenehalbinsel für den Sedimenttransport eine gewisse Rolle. Bedeutsamer sind episodisch auftretende, durch Luftdruckunterschiede hervorgerufene, stehende Wellen, sogenannte Seiches, mit Wasserspiegeländerungen bis zu einem Meter (DUPHORN, et al. 1995). Noch größeren Einfluß auf die Küstendynamik haben allerdings die Sturmfluten.

Der Salzgehalt der südlichen Ostsee liegt um Rügen bei etwa 8 und in den Usedomer Bodden bei etwa 1 PSU (DUPHORN, et al. 1995), bzw. für erstgenannten Bereich bei psu 7-8 nach https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/ffh_sb_lrt_1160.pdf.

In der Pommerschen Bucht bzw. Oderbucht östlich und nordöstlich der Insel ist bei typischer Westwind-Lage ein Strömungs-bedingtes „Transportband“ von der Swine-Mündung nach Osten gerichtet, während bei Ostwind Strömungen von der Swine-Mündung nach Nordwesten orientiert sind (BODUNGEN, et al. 1995), (LASS, et al. 2001). Mittlere bodennahe Meeresströmungen verlaufen in westlicher bis nordwestlicher Richtung auf die seewärtige Küste von Usedom zu, in Form eines von der Oder-Mündung westlich gerichteten Wirbelastes mit Wirbelkern etwa 40 km nordöstlich der Inselmitte von Usedom (HARFF, et al. 2004). Bedingt durch den WNW-ESE-Verlauf der seewärtigen Küstenlinie Usedom ist das Litoral vor allem bei Stürmen aus nordöstlicher Richtung der Abrasion, d.h. dem Abtrag durch Wellenschlag und Unterspülung, ausgesetzt.

Die Pommersche Bucht weist Wassertiefen bis etwa 16 m (GARMIN 2008) auf. Die Insel Ruden liegt nördlich, die Greifswalder Oie nordöstlich, und etwa fünf kleinere Inseln befinden sich im Bereich des Peenemünder Hakens nördlich der Insel Usedom. Landseits von Usedom liegt das Stettiner Haff, auch Oderhaff genannt, das sich in das südlich von Usedom liegende kleine Stettiner Haff, bis 4,5 m tief (GARMIN 2008), und das südöstlich gelegene große Stettiner Haff, bis über 10 m tief, siehe <http://www.ikzm-oder.de/infosystem/StBrGrafiken/bathymetrie.jpg>, gliedert. Das Stettiner Haff könnte man als lagunäres Ästuar nach (READING 1998) bezeichnen, mit Usedom als küstenparalleler Barriere-Insel bzw. Barriere-Nehrung.

Die bei Stettin in das Stettiner Haff mündende Oder bzw. polnisch Odra, siehe z.B. (PUSCH & Coautoren 2009), teilt sich bezogen auf den Ausstrom in die Ostsee auf in drei „Arme“: 1. Dziwna östlich Insel Wollin, polnisch Wolin, 2. Swine / Swina zwischen den Inseln Wollin

und Usedom, 3. Peenestrom westlich Insel Usedom. Die Oder liefert nach genannter Quelle 3,5 Vol.-% des gesamten Zuflusses vom Festland in die Ostsee.

Östlich der Insel Usedom mündet die Swine bei Swinemünde, polnisch: Świnoujście, sie verläuft in ihrem südlichen Teil im 12,5 m tiefen Piastowski Kanal, siehe z.B. http://www.ikzm-oder.de/steckbrief_bathymetrie.html, gegenüber der Alten Swine verkürzt verlaufend. Die Swine stellt als „tidal outlet“ oder Gezeitenkanal einen Überlauf des Stettiner Haffs dar, ohne direkte Anbindung an die Oder, was für die Sedimentzusammensetzung bedeutsam ist. Gleichzeitig hat der alte, neben dem Piastowski Kanal weiter durchströmte, südliche Abschnitt der Swine die Funktion eines „tidal inlets“, erkennbar an der deltaischen Mündung zum Stettiner Haff hin, siehe (DUPHORN, et al. 1995). Östlich der Swine liegt die Insel Wolin. Seewärts der Swinemündung wurde eine ebenfalls 12,5 m tiefe Fahrrinne ausgebaggert, siehe (DENG, et al. 2014). Die Seen der Westusedomer Boddenkette nahmen früher stark Schadstoff-belastete Stofffrachten der Oder auf (DUPHORN, et al. 1995) und auch das Ausbaggern des Schifffahrtskanals durch das Haff führte zu Nährstoffausträgen, siehe (BACHOR 2005).

Westlich und nordwestlich der Insel Usedom verläuft der Peenestrom mit zwei großen Buchten, auch als westliche Usedomer Bodden bezeichnet: die nördlichere Krumminer Wiek, bis 3,5 m tief, und das südlichere Achterwasser, bis 4,5 m tief (GARMIN 2008), siehe [Abb. 5.12-1](#). Zuflüsse in das Stettiner Haff sind neben der Oder die Uecker, in das kleine Stettiner Haff mündend, und die Peene, in den Peenestrom auf Höhe des SW-Endes der Insel Usedom mündend, sowie die Ziese, ebenfalls in den Peenestrom fließend.

Der Küstentyp Usedom kann als Boddenausgleichsküste charakterisiert werden (DUPHORN, et al. 1995). Der seewärtige Küstenverlauf ist relativ geradlinig, was auf küstenparallelen Sedimenttransport durch küstenparallele Strömungen mit Bildung einer Ausgleichsküste hinweist. Der am weitesten seewärts vorspringende Bereich befindet sich im Bereich des Streckelsberges, zwischen den Seebädern Kölpinsee und Koserow, siehe [Abb. 5.12-1](#). Das landwärtige, vor Winden aus Nordost-Richtung geschützte, Litoral Usedom ist infolge geringerer Intensität von Strömung und Wellenhöhe durch Verlandungsküsten gekennzeichnet (DUPHORN, et al. 1995).

Der Netto-Sedimenttransport entlang der seewärtigen Küste entsteht letztlich durch den Windantrieb, der Wasseraufstau am Strand und im Ausgleich dazu seewärtige Rippströme im Vorstrandbereich hervorruft (DUPHORN, et al. 1995). Außerdem führt der Windschub bei schräg zur Uferlinie auf- und ablaufenden Wellen im Brandungsbereich zu rollendem Transport mit einer uferparallelen Komponente. Darüberhinaus kommt es nach diesen Autoren auf der vorgelagerten Abrasionsplatte, auch Schorre genannt, zu Sandtransport. Die Richtung des Netto-Sedimenttransports wird im Folgenden von Nordwesten nach Südosten nach (ANONYMUS 2009) aufgeführt: er ist zunächst auf der Nordspitze der Peenehalbinsel nur unbedeutend, zwischen Karlshagen und Zinnowitz ist er nach Südosten gerichtet, zwischen Zinnowitz und Streckelsberg nach Nordwesten, zwischen Streckelsberg und Ahlbeck nach Südosten, zu Ortslagen siehe [Abb. 5.12-1](#). Bezogen auf den Nettotransport ergibt sich hieraus, dass eventuell im Litoral vorhandene Munitionsreste der Peenehalbinsel nicht weiter südöstlich als bis etwa zur Höhe Zinnowitz transportiert werden können. Dem Bereich des bis zu 60 m hohen Streckelsbergs kommt die Rolle eines „Ankers“ für die nordwestlich und südöstlich angrenzenden Strände zu, siehe z.B. (SCHWARZER, et al. 1996). Nach (ANONYMUS 2009) findet hier mit 90 m in 100 Jahren einer der stärksten Küstenrückgänge der mecklenburg-vorpommerschen Ostseeküste statt, nur am Zingst liegen die Werte lokal noch höher, siehe auch (HOFFMANN & LAMPE 2007) und (SCHWARZER, et al. 2003). Im Gegensatz hierzu geben (DENG, et al. 2014) als Maximalwert für den Bereich Streckelsberg 60 m Küstenrückgang in 100 Jahren an. Ein weiterer Bereich, in dem die Küstenlinie seewärts vorspringt, liegt am Ostende Usedom an der Mündung der Swine, dieses Vorspringen setzt

sich annähernd spiegelsymmetrisch zur Swine-Mündung auch noch einige km weiter in östlicher Richtung auf der Halbinsel Wollin fort, siehe z.B. (ZHANG, et al. 2013). Dies spricht für fluviatile Herkunft des Litoralmaterials in diesem Bereich und für küstenparallelen Material-Transport von der Swine-Mündung nach Westen und Osten. Im Gegensatz zu den bisher dargestellten Transportrichtungen postulieren (DENG, et al. 2014) Netto-Sedimenttransport auf die Swine-Mündung zu!

Die höchste Erhebung ist nach (GARMIN 2008) der Golm im Südosten mit 69,1 m NHN, zwei weitere Erhebungen liegen bei etwa 60 m NHN. Seewärts finden sich nach (DENG, et al. 2014) ausgeprägte Steilküsten von Nordwest nach Südost: 1. zwischen Zinnowitz und Zempin, in (GARMIN 2008) und in [Abb. 5.12-1](#) nicht hervorgehoben, hier ist in Google Earth keine rezente Kliffkante zu sehen; 2. am Streckelsberg, zwischen Koserow und Kölpinsee; 3. bei Stubbenfelde, südöstlich Kölpinsee und östlich Ückeritz; 4. am Langen Berg, nordwestlich Bansin; und 5. in Heringsdorf, hier wiederum ohne erkennbare aktive Steilkante. Diese morphologischen Beobachtungen decken sich mit der Auflistung aktiver Kliffs: Bereiche 2, 3 und 4, in (KRIENKE 2004). Steilküsten der Boddenküsten sind lokal vorhanden, treten morphologisch aber weniger stark in Erscheinung.

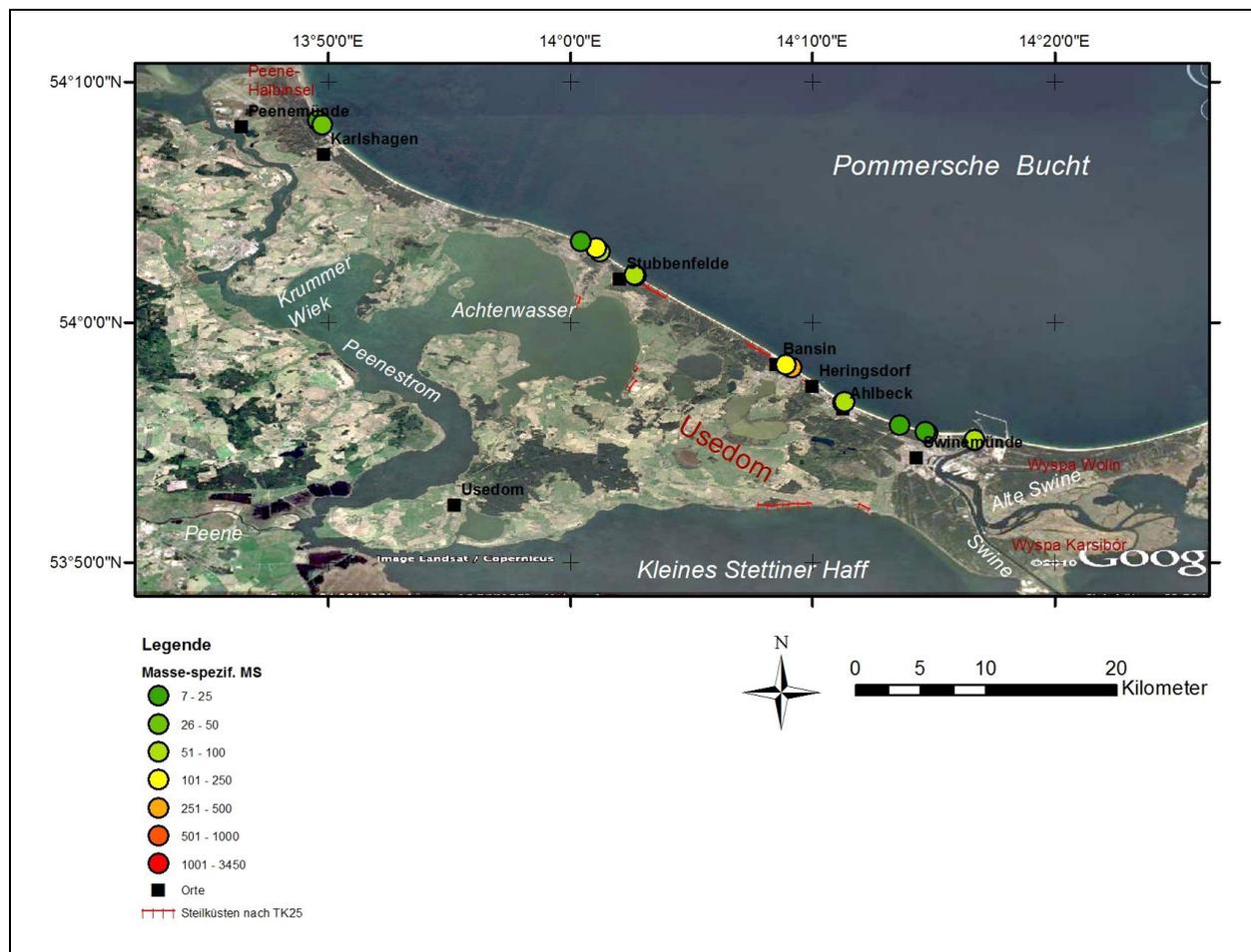


Abb. 5.12-1: Übersicht über den Bereich der Insel Usedom mit Darstellung der masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität [$10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$] der Gesamtfraktion sandiger Proben; dargestellt sind auch die Bereiche der Steilküsten, am Streckelsberg durch die Probenpunkte verdeckt. Luftbild-Grundlage: © Google Earth, ergänzt um Ortsnamen und Steilküsten nach (GARMIN 2008). Denselben Kartenausschnitt mit Darstellung des Lithoklasten-Gehalts zeigt [Abb. 5.12-5](#). Die Greifswalder Oie befindet sich außerhalb des Kartenausschnittes NE' Karlshagen.

Zuwege vom Festland nach Usedom führen für Schienen- und Straßenverkehr über eine Brücke zwischen Wolgast und Wolgaster Fähre im Nordwesten, und nur für Straßenfahrzeuge zwischen Murchin und Usedom im Südwesten. Eine Eisenbahnbrücke südwestlich von Usedom ist nur noch in Überresten erhalten. Die Abwässer der südlichen Seebäder werden in einer Anlage in Swinemünde geklärt, siehe (BACHOR 2005). Der Zweckverband Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung Insel Usedom, <https://www.zv-usedom.de/index.php>, betreibt außerdem sechs Kläranlagen im südwestlichen und mittleren Teil Usedom, die offenbar alle nicht direkt zur Ostsee sondern in Achterwasser und Peenestrom entwässern; Abwässer von Peenemünde, Karlshagen, Sauzin und Ziemitz werden nach letztgenannter Quelle nach Wolgast aufs Festland übergeleitet.

In der Stadt Usedom sind ein mittelalterliches Stadttor in Backsteingotik und eine postmittelalterliche Kirche erhalten, von einer slawischen Burg ist nurmehr der künstlich aufgehöhte Schlossberg, eine Motte, vorhanden. Beidseits der Mündung der Swine liegen preußische Festungsanlagen aus dem 19. Jahrhundert. Große Teile der Naturpark-Insel Usedom sind in landwirtschaftlicher, einige in forstwirtschaftlicher Nutzung. Schwerindustrie gibt es nur auf der Ostseite der Swine in Swinemünde mit Hafenanlagen. Nördlich und nordöstlich von Peenemünde liegt das ehemalige Forschungszentrum der Heeresversuchsanstalt, wo vor und im zweiten Weltkrieg an Raketentechnik geforscht wurde, siehe z.B. (ORDWAY, et al. 2007). Diese ehemaligen Anlagen sind heute in Teilen noch zu besichtigen im Historisch-Technischen Museum Peenemünde. Östlich des Flugplatzes Peenemünde ist die Nordspitze der Insel für Besucher gesperrt aufgrund der nicht beräumbaren Mengen von Munition. Binnengewässer stehen teilweise unter Naturschutz, wie der Gotensee südwestlich von Heringsdorf. Entlang der seewärtigen Küste zieht sich seit Ende des 19. Jahrhunderts die Kette der Seebäder zwischen Ahlbeck im Südosten und Trassenheide südöstlich von Karlshagen im Nordwesten.

Mehrere geologische Karten, die das Gebiet der Insel Usedom enthalten, sind publiziert worden: Online frei verfügbar ist die geologische Übersichtskarte 1 : 200 000 Blatt Stralsund (KRIENKE, et al. 2001) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; weitere Darstellungen geologischer Karten für ganz Usedom finden sich bei (HOFFMANN 2012) und (KRIENKE 2004), sowie für Ausschnitte der Peenehalbinsel und um Pudagla bei (HOFFMANN & LAMPE 2007).

Submarine oberflächennahe Ablagerungen des eulitoral, oberhalb des Niedrigwasserstandes, und des subtidalen bzw. sublitoral, unterhalb des Niedrigwassers gelegenen, Vorstrandes einschließlich der Bewegtwasserzone sowie des tieferen Wassers bis maximal etwa 15 m Wassertiefe bestehen nach (KRIENKE, et al. 2001) nordwestlich des Streckelsberges aus grobsandigen Mittelsanden auf weichseleiszeitlicher Grundmoräne, bis in etwa 7 km Entfernung vom Ufer; weitere Grundmoränenbereiche liegen nach derselben Quelle zwischen der Peenehalbinsel und der ostnordöstlich gelegenen Greifswalder Oie, bei letzterer sind tertiäre Tone in der Moräne eingeschuppt in einem Kliff aufgeschlossen (KATZUNG 2004); um diese Bereichen herum und östlich des Streckelsberges bestehen die oberflächennahen Vorstrandsedimente der Pommerschen Bucht aus Mittelsand, feinsandig, und sonst verbreitet aus Feinsand, mittelsandig. Zu Marken am Strand und auf dem eulitoral Vorstrand siehe z.B. (NIEDERMEYER 1980). Untersuchungen zum Korntransport im Sublitoral finden sich für die westliche Ostsee z.B. bei (SEIBOLD 1963).

Terrestrische oberflächennahe Ablagerungen bestehen nach (KRIENKE, et al. 2001) vorwiegend aus glazifluviatilen Sanden und Kiesen, Grundmoränen mit Geschiebelehm und – mergel der letzten Vereisung, der Weichsel-Kaltzeit. Hierüber folgen lokal holozäne Dünenablagerungen. Nach (DUPHORN, et al. 1995) wurde das Relief Usedom vor allem durch die jüngsten Eisvorstöße, die Deutschland noch erreicht haben, geformt. (DUPHORN, et al. 1995) gliedern die Topographie in einen Nordwest-Teil mit geringeren und einen Südost-

Teil mit größeren Höhenunterschieden. In letzterem liegen mehrere Seen in ehemaligen Zungenbecken, getrennt durch Kammlinien von Endmoränen mit starkem Relief, siehe quartärgeologische Karte nach KLEWE 1960 zit. in (DUPHORN, et al. 1995). Das Stettiner Haff wurde nach (BÜLOW 1952) als Zungenbecken des Oder-Gletschers während der Weichsel-Kaltzeit ausgeräumt.

Primäre präquartäre Ablagerungen sind auf Usedom nicht vorhanden. Hinweise auf Salzablagerungen des Zechsteins gibt eine SE-verlaufende Reihe von Lokationen mit salzigem Grundwasser im Untergrund: „Salzlinie“ Peenemünde, Heringsdorf und Swinemünde, siehe (BÜLOW 1952). An mehreren Lokationen wurden nach (DUPHORN, et al. 1995) in den 1970er Jahren Erdölbohrungen in Gesteinen des Zechsteins, s.a. (KAISER 2001), fündig und zu Produktionsbohrungen ausgebaut. Außer den Ablagerungen des Zechsteins sind in einer Bohrung bei Heringsdorf nachgewiesen: mindestens 190 m mächtiger Mittlerer und Oberer Jura, 50 m mächtige Unter- und etwa 130 m mächtige Oberkreide (BÜLOW 1952). Nach (DUPHORN, et al. 1995) werden kreidezeitliche Sedimente, bei unterschiedlicher stratigraphischer Stellung der obersten Ablagerungen, von 13 bis 80 m mächtigen quartären Ablagerungen überdeckt.

Präquartäre Gesteine finden sich in von Bewegungen des Inlandeises aufgeschuppten Schollen z.B. in Form von kreidezeitlichen Sedimenten bei Garz (FRANKE 2019) am Kliff bei Heringsdorf (FRANKE 2019), weiter landwärts am Golm (FRANKE 2019) und bei Stagnieß (FRANKE 2019); die Vorkommen Heringsdorf und Golm beschreiben auch (DUPHORN, et al. 1995). Am Kliff bei Stubbenfelde sind in den basalen Schmelzwassersanden miozäne Braunkohle-Klasten und Bernsteine eozänen Alters als von Gletschereis und Schmelzwasserrinnen umgelagertes Material, auf sekundärer Lagerstätte, zu finden (SCHULZ 1960), (GRANITZKI & KATZUNG 2004), ein geologisches Profil zeigen (DUPHORN, et al. 1995). Nach (FRANKE 2019) handelt es sich um das größte Bernstein-Vorkommen Ostdeutschlands, in dem von 1955 bis 1957 industrieller Abbau durchgeführt wurde. Bernstein ist fossiles Harz. Die ehemaligen Kiefernwälder befanden sich im heutigen Ostseegebiet und wurden durch ein Flußsystem aus den Böden in eine ehemalige Meeresstraße zwischen Atlantischem und Tethys-Ozean, dem früheren wesentlich größeren Mittelmeer, transportiert (KOSMOWSKA-CERANOWICZ 2004). In der südöstlichen Ostsee und der angrenzenden osteuropäischen Tafel sind nach denselben Autoren primäre Bernstein-führende sandige Ablagerungen auf das Untere, Mittlere und Obere Eozän und das unterste Oligozän beschränkt, mit Hauptführung an Bernstein in der sogenannten „Blauen Erde“. Hierbei handelt es sich um eine 7,5 m mächtige Abfolge graugrüner Sande mit Glaukonit. Dieser ist ein durch Austauschprozesse mit salzigem Porenwasser gebildetes K-reiches Tonmineral. Außerdem treten Glimmer-reiche marine Sande mit Phosphorit-Konkretionen auf, unter sauerstoffarmen Bedingungen im oberflächennahen Sediment, z.B. um Fossilreste herum, gebildet. (KOSMOWSKA-CERANOWICZ 2004) zeigen in einer Karte die westlichsten polnischen Bernstein-Vorkommen an zwei Lokationen am westlichen Swine Ufer sowie drei weitere auf der Insel Wollin. Einen Bericht zu Bernsteinfunden in einem Holz-reichen Spülsaum am Strand vor dem Steilufer bei Koserow findet man z.B. unter <https://www.steinkern.de/forum/viewtopic.php?t=22176>.

Hier noch ein wichtiger Hinweis für Sammlerinnen und Sammler: nach (BÖTTCHER, et al. 2011) läßt sich Bernstein kaum von weißem Phosphor unterscheiden, der bei der Bombardierung der Heeresversuchsanstalt in Peenemünde eingesetzt worden ist und sich nach Austrocknen selbst entzünden kann. Auch heute noch wird gelegentlich dieses gefährliche Material angespült. Daher sollten vermutete Bernsteinfunde unbedingt in Metall Dosen transportiert werden. Bernstein schwimmt auf Meerwasser, deshalb könnte er nach Zeiten mit höherem Seegang in Tangstreifen zusammen mit Holzresten zu finden sein.

An Steilküsten Usedom ist nach (DUPHORN, et al. 1995) und (KRIENKE 2004) als Normalprofil ein unterer Feuerstein- bzw. Flint-freier, an paläozoischen Kalksteinen reicher, frisch grauer, verwittert braungrauer Unterer Geschiebemergel, hier als Abschnitt A bezeichnet, nur lokal aufgeschlossen, meist liegt seine Oberkante unter NHN. Hierauf folgt im Abschnitt B der Ältere Beckensand, bestehend aus schräggeschichteten, z.T. kiesigen, glazio-limnischen und glazio-fluviatilen feinsandigen Schmelzwassersanden, mit eingeschalteten Tonhorizonten, insgesamt bis zu mehrere 10er Meter mächtig und möglicherweise durch Eisauflast deformiert. Darüber liegt Abschnitt C, ein oberer, Feuerstein- und Schreibkreide-führender, braungrauer bis gelbgrauer, verwittert rostbrauner, sandiger Oberer Geschiebemergel, maximal 4 m mächtig. Er ist nur auf Niederungen unterhalb 20 m NHN vorhanden und führt Klasten baltischer Herkunft, er enthält pedogene „Kalk-Knollen und durch Eisen verkittete Sand-Geoden“ (KRIENKE 2004) mit cryoturbaten, d.h. durch Eisvolumenänderungen beeinflussten, und gravitativen Deformationen. Ein geologisches Profil des Kliffs bei Koserow – Bansin zeigen (DUPHORN, et al. 1995). Das baltische Geschiebespektrum in Abschnitt A weist nach (KRIENKE 2004) auf ein Saalekaltzeit-liches Alter hin. Als Ablagerungsalter für Abschnitt C wird ebenda die späte Weichseleiszeit, Mecklenburger Vorstoß, angenommen, dabei handelt es sich um den jüngsten deutschen Gebiet betreffenden Eisvorstoß vor etwa 13 ka. Dagegen werden der Abschnitt C von (LAGERLUND, et al. 1995) als Schuttstrom-Ablagerungen und die Deformation des Sandes B als Folge von Eisabtau im Liegenden gedeutet und die oben genannte unterschiedliche Petrographie der Klasten in Abfolge A und C angezweifelt sowie alle drei Abfolgen in die Endphase der späten Weichsel-Eiszeit eingestuft. Höhenrücken wie der Streckelsberg werden nicht mehr als Endmoränen, sondern als glazio-limnische Kames gedeutet (KRIENKE 2004). Um das Achterwasser sind nach (KRIENKE 2004) zwischen 2 und 5 m NHN als Jüngerer Beckensand spätglaziale, kiesig-siltige Schmelzwassersande aufgeschlossen.

Eine stratigraphische Übersicht der post-Weichseleiszeitlichen, holozänen Entwicklung in Mecklenburg geben (BÜLOW 1952) sowie (KATZUNG & MÜLLER 2004) und für den Küstenbereich (KLEWE 2004). Bohrprofile auf Usedom zeigen (DUPHORN, et al. 1995). Eine Übersicht über die heutige Dynamik an Flach- und Steilküsten findet sich z.B. bei (DUPHORN, et al. 1995), (ANONYMUS 2009) sowie (NIEDERMAYER & SCHUMACHER 2004). Nordwestlich Zinnowitz auf der Peenehalbinsel, bei Pudagla östlich des Achterwassers und zwischen Ahlbeck und Swine sind im Bereich wenige Meter über und unter dem heutigen Meeresspiegel unter geringmächtigen Dünen Meeressande verbreitet, landwärtig meist vermoort. Sie entstanden in Senken ehemaliger Gletscherzungenbecken zwischen Pleistozän-Kernen durch küstenparallele Umlagerung von Sanden (DUPHORN, et al. 1995). Im rezenten seewärtigen Litoral Usedom finden sich vor allem Sande, selten Gerölle. Ebenfalls zu den jüngsten Ablagerungen zählen Kalkmudden und Niedermoortorfe verlandeter Seen bzw. Seebereiche im Südostteil Usedom sowie nach (KRIENKE, et al. 1981) Dünen, vor allem im Bereich um die Swine und bis Ahlbeck reichend. Die Auswehung erfolgte bzw. erfolgt nach (DUPHORN, et al. 1995) vor allem aus der Swine Niederung, siehe (LABUZ 2009), außerdem bei aufländigem Wind aus dem Bereich des trockenen Strandes. Auch am Rand der Kliffs, vor allem am Streckelsberg, haben sich Dünen entwickelt (KRIENKE 2004). Ablagerungen verlandeter Seen der Interdünenbereiche bilden beidseits der Swine etwa N- bis NNW-verlaufende Streifen, siehe BOKÓWKA et al. 1986 zit. in (DUPHORN, et al. 1995). (LABUZ 2005) zeigte, dass die mittleren Korngrößen der Dünen in der Swine-Niederung von etwa 0,3 auf etwa 0,2 mm seewärts abnehmen und bis über 130 m breite Strände im Sommer vor der Insel Wollin als Liefergebiete der Küstendünen anzusehen sind. Im Kliff am Langen Berg sind nach (KRIENKE 2004) holozäne Ablagerungen eines Sees aufgeschlossen.

Die Böden Usedom bestehen nach generellen Ausführungen von (DUPHORN, et al. 1995) auf jungen Dünen aus Rankern bzw. Rohböden, und aus Podsolen und Braunerden auf älteren Braundünen (DANN & RATZKE 2004), auf Moränenablagerungen in Abhängigkeit der Bodendurchfeuchtung u.a. aus Parabraunerden, Gleyen und Pseudogleyen, in Zwischendünenbereichen bilden sich u.a. Moorgleye. Durch unterschiedlich lange Einwirkung der Bodenbildungsprozesse während der letzten Jahrhunderte bis Jahrtausende liegen verschiedene Dünen-Typen nebeneinander: Vor- und Weißdünen sind heute auf niedrigreliefierte Küstenabschnitte beschränkt, mit steigendem Alter und wachsender Distanz zum Strand folgen zunächst grau und dann zunehmend dunkler gelblich bis bräunlich gefärbte Dünen (DUPHORN, et al. 1995), (HOFFMANN 2012). Eine Ausnahme bildet der Bereich zwischen Langer Berg nordwestlich Bansin und Wockninsee bei Ückeritz, wo nach (HOFFMANN 2012) Braundünen an den Strand grenzen.

(DUPHORN, et al. 1995) und (ANONYMUS 2009) erwähnen Durchbrüche der Küstenlinie im Niederungsbereich östlich Zempin im 19. Jahrhundert. Nach (BANCK 2015) wurde 1895 bis 1897 eine 320 m lange Brandungsmauer errichtet, die aber schon 1949 bei einer Sturmflut beschädigt wurde und später einstürzte. Nach (ANONYMUS 2009) erfolgten 1996 Sandaufspülungen im seewärtigen Litoral vor dem Streckelsberg. Außerdem wurden hier nach selbiger Quelle 1995-2001 nach Sturm-bedingter Zerstörung früherer Küstenschutzbauwerke umfangreiche Maßnahmen realisiert: drei vorgelagerte Wellenbrecher, Sandaufspülungen mit Stabilisierung als Küstenschutzdüne, Deckwerk und dahinter eine Ufermauer als Klifffußsicherung, sowie Bühnen am Übergang zum nördlich und südlich anschließenden flachen Strandbereich, um das Unterspülen der Steilküste bei Stürmen zu vermindern.

Neuere, nach (DUPHORN, et al. 1995) erschienene, geowissenschaftliche Literatur über die Insel Usedom und umgebende Meeres-, Bodden- und Fluß-Bereiche ist in einer Auswahl im Folgenden nach Themen gegliedert aufgeführt. Literatur und Daten zum Oder-Ästuar finden sich auch unter <http://www.ikzm-oder.de>.

(PATTON, et al. 2017) beschreiben den Zerfall des Weichelglazialen Eisschildes in Skandinavien. (LAMPE 2005) zeigte, dass Usedom im Bereich der tektonischen Null-Linie zwischen der skandinavischen postglazialen Hebungszone und dem Senkungsgebiet der südlichen Ostsee liegt und beschreibt holozäne und spätglaziale Sedimente im offshore-Bereich. (LAGERLUND, et al. 1995) untersuchten die Petrologie und Stratigraphie der Aufschlüsse an den Steilküsten Usedom. Eine Bibliographie mit zahlreichen Einträgen zu Geschiebefunden auf Usedom findet sich bei (SCHÖNE 2018). Zur oberflächennahen Geologie Usedom beschrieb (HOFFMANN 2012) mehrere Aufschlüsse und zur glazialen Deformation siehe (HOFFMANN & REICHERTER 2012). (LAMPE 2002) stellte als Herausgeber in einem Sammelband die holozäne Entwicklung der südwestlichen Küste der Ostsee mit mehreren Artikeln vor, darin gaben u.a. (HOFFMANN 2002) einen Überblick zur geologischen Entwicklung Usedom, (JANKE 2002) erläuterte die Entwicklung der Peene, (BORÓWKA, et al. 2002) untersuchten Sedimente im Großen Stettiner Haff, (OSADCZUK 2002) rekonstruierte die Entwicklung der Swine-Barriere mit der Entwicklung von zwei Weißdünen-Phasen, Gelb- und Braundünen. (VIEHBERG, et al. 2008) bearbeiteten Ostrakoden aus spätpleistozänen und holozänen Ablagerungen bei Pudagla. Zur geologischen Entwicklung des Oderhaffs, abgeleitet aus Sedimentkernen, gaben (LEIPE, et al. 1998) einen Überblick, darin finden sich auch geochemische und mineralogische Daten. (MENG, et al. 2009) beschrieben Schwerminerale in Eem-zeitlichen limnisch-fluviatilen Ablagerungen der Peene-Halbinsel. (KRIENKE 2004) nannte als Liefermaterial der Seesande im Litoral Usedom die Hochflächen mit Schmelzwassersanden aus dem oben genannten Abschnitt B.

Nach (LEMKE & NIEDERMEYER 2004) bestehen die oberflächig anstehenden Ablagerungen der westlichen Pommerschen Bucht ganz überwiegend aus Sanden, lediglich in zwei Gebieten

südlich der Greifswalder Oie, 4 bzw. 6 km vor der Küste des Nordteils von Usedom, sind Geschiebemergel bzw. daraus durch Abfuhr leicht erodierbarer Sande an der Oberfläche verbliebene, reliktsche, Grobsedimente vorhanden (LEMKE & NIEDERMEYER 2004), die als Kieslagerstätte auch genutzt wurden (GRANITZKI & KATZUNG 2004), aber wegen hoher Flintgehalte mit an Land gewonnenem Material zur Herstellung von Beton-Zuschlagstoffen gemischt werden. (HARFF, et al. 2004, KATZUNG & MÜLLER 2004) und (BOBERTZ & HARFF 2004) publizierten Karten für Median, Sortierung, Schiefe, und Bodenströmungen im Bereich der südlichen Ostsee. (KRAMARSKA, et al. 2004) zeigten eine Karte der dominierenden Korngrößen in der östlichen Pommerschen Bucht, darin auch der Bereich der Oderbank, etwa 40 bis 60 km nordöstlich der Swinemündung, mit Schwermineralanreicherungen. (TAUBER & EMEIS 2005) leiteten Aspekte heutiger Sedimentdynamik aus Seitensicht-Sonar Aufnahmen in der Pommerschen Bucht ab. Die Rolle der Bioturbation in der Pommerschen Bucht demonstrierten (POWILLEIT & FORSTER).

Schwermineralseifen an den Stränden der südlichen Ostsee sind vor allem von Granat und Ilmenit dominiert (GRANITZKI & KATZUNG 2004). Zwischen 1953 und 1963 erfolgte eine Prospektion auf Schwerminerale für die potentielle Gewinnung von Seltenen Erden Elementen (BECKER & DIETZE 1986), ein weiterer Abbau unterblieb auf Usedom aber aus Küstenschutz-Gründen (PFEIFFER 1972). Die Entstehung der Seifen wurde auf Anreicherung im Strandwall, in den Vordünen und reliktsch nach Abtragung von Dünen bei Sturmfluten zurückgeführt. Als häufigste Minerale in den Seifen werden Zirkon und Magnetit sowie Granat genannt.

In einem Projekt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung wurde die Granulometrie und Morphologie von Oberflächensedimenten entlang von Munitions-Verklappungs-Trassen mit Munitions-Verdachts-Flächen zum in der DDR genutzten Kampfstoff-Versenkungsgebiet östlich Bornholm, im Bereich etwa 10 bis 30 km nordöstlich von Usedom, untersucht (BLIESENER, et al. 1997), dabei wurden dort vor allem Fein- bis Mittelsande beobachtet. Nach (BÖTTCHER, et al. 2011) befinden sich drei Munitions-belastete Flächen offshore der Peenehalbinsel sowie 10-11 weitere auf dem Land, außerdem liegen eine Verdachtsfläche zwischen Usedom und Rügen und weitere zwei Flächen südöstlich der Greifswalder Oie.

Jüngste Sedimente im Großen Stettiner Haff bestehen nach (BORÓWKA, et al. 2005) aus Schill-Lagen oder Algengyttja. (TAJAKUSUMA 2004) untersuchte Hydrologie und partikulären Transport im Stettiner Haff, danach bestehen suspendierte Partikel und das „fluffy layer“ an der Sedimentoberfläche im distalen Bereich des Kleinen Stettiner Haffs hauptsächlich aus Organik, der mineralische Anteil aus Tonmineralen, der Quarz-Anteil beträgt wenige bis etwa 25 Korn-% (TAJAKUSUMA 2004). Oberflächensedimente des Haffs bestehen ufernah aus Fein- bis Mittelsand, distale Sedimente, in >2,9 m Wassertiefe, vor allem aus Grobsilt, siehe (TAJAKUSUMA 2004).

Die Entstehung der Barriereinsel Wollin untersuchte (LUDWIG 2016) mit Radarmessungen. Das Alter der Ablagerungen der Dünen beidseits der Swine ermittelten (REIMANN, et al. 2011), danach reichen die Alter der Weißdünen bis ins 16. Jahrhundert A.D. zurück, die Gelbdünen bis ins 8. Jahrhundert A.D. und Braundünen bis etwa 4000 vor Christi Geburt östlich und bis etwa 5000 v.C. westlich der Swine. Ergebnisse zum Alter der Dünen auf Usedom publizierten auch (HOFFMANN, et al. 2005).

(SIEGEL & GERTH 2000) analysierten die Suspensionsverteilung in Folge des Oder-Hochwassers vom August 1997. (SCHERNEWSKI, et al. 2001) zeigten mit Modellierungen, dass bei diesem Hochwasser Partikel innerhalb von 8 Tagen von der Oder-Mündung in das Stettiner Haff bis zur Mündung der Swine in die Ostsee transportiert wurden, während dies bei durchschnittlichem Abfluß der Oder etwa 40 Tage dauert. Als Strömungsgeschwindigkeit

im Bereich des Schifffahrtsweges durch das Haff nahmen sie 1 cm/s während des Hochwassers an. Nach (EMEIS, et al. 2002) wird nur ein geringer Teil der Suspensionsfracht der Oder durch Swine, Dziwna und Peenestrom als „Siebmaschen“ in die Ostsee transportiert, der überwiegende Teil sedimentiert im Stettiner Haff. Deshalb stellt die Pommersche Bucht keinen Sediment-Akkumulationsraum dar, sondern sandiges Material wird ostwärts transportiert und siltig-toniges zu den tiefer gelegenen Depositionsräumen Arkona-, Bornholm- und Gdansk-Becken. (DENG, et al. 2019) modellierten ufernahen küstenparallelen Transport beidseits der Swine-Mündung.

Generelle Aspekte zu Umweltveränderungen in der Ostsee präsentierte (COMMISSION 2003). Zu organischen Schadstoffeinträgen in das Stettiner Haff durch die Oder siehe (MEYER & LAMPE 1999), (DANNENBERGER & LERZ 1999), (WITT & SIEGEL 2000), zu Schwermetall-Belastungen siehe (POHL, et al. 2002). (BACHOR 2005) untersuchte Nährstoff- und Schwermetallgehalte an den Küsten Mecklenburg-Vorpommerns, einschließlich Peenestrom und Kleines Stettiner Haff. (NEUMANN, et al. 2005) beobachteten hohe Pyritgehalte im Achterwasser, die Hochproduktion, anoxisches Bodenwasser und hohe Fe-Frachten suspendierter Partikel aus der Oder, aus Schlesischem Kohlebergbau stammend, anzeigen, und erhöhte Schwermetall-Gehalte. (FENSKE, et al. 2001) studierten die hygienischen Auswirkungen des Oder-Hochwassers auf die Strände von Usedom und das Stettiner Haff.

(HOFFMANN, et al. 2009) rekonstruierten die holozäne Meeresspiegelentwicklung um Usedom. Ein Beispiel für die Untersuchung von Überflutungsrisiken mit Rekonstruktion früherer Küstenlinien als Folge von Akkumulation und Abrasion bis hin zu künftiger Küstenentwicklung bei steigendem Meeresspiegel findet sich bei (RÖBER, et al. 2006).

Zu biologischen Aspekten der Bodenbildung auf Usedom siehe (SCHULZ, et al. 2015).

[Zurück zur Übersicht](#)

5.12.2. Faziesbereiche

Die Ablagerungen des seewärtigen Litorals der Insel Usedom lassen sich nach (READING 1998) in die Gruppe der nicht-deltaischen klastischen Küsten, genauer der Barriere-Inseln mit Lagune, einordnen. Überblicke über litorale Prozesse im allgemeinen bieten (SEIBOLD & BERGER 1996) sowie (SEIBOLD 1963) für den Nord- und Ostseeraum. Von (SEIBOLD & BERGER 1996) wird darauf aufmerksam gemacht, dass Strandprofile häufig im Winter einen schmaleren trockenen Strand aufweisen als im Sommer, was vermutlich auch für die Strände Usedom gilt: Vergleicht man Luftbilder in Google Earth, so ergibt sich z.B. für die Uferlinie an der deutsch-polnischen Grenze die landwärtigste Lage für den 5.02.2016 und den 8.10.2015 gegenüber etwa 18 m weiter seewärts am 9.7.2013 und 31.12.2009, weitere Bilder liegen dort nicht online vor. Vernachlässigt man den meist wasserbedeckten Vorstrand mit der Brandungszone (ANONYMUS 2009), so ergeben sich nach (DUPHORN, et al. 1995: 65-66), und (STREIF 1990) sechs litorale, supratidale, durch heutige Sedimentdynamik geprägte Faziesbereiche. Diese können von der Wasserlinie aus beginnend unterschieden werden:

1. Strandwall, auch Berme oder Strandriff genannt, am landwärtigen Rand des nassen Strandes, der Bereich zwischen mittlerem Tidenniedrig- und -hochwasser, als direkt an der Wasserlinie verlaufende, uferparallele Sandbank. Auf der seewärtigen Seite liegt die Spülzone im Bereich auf- und ablaufender Wellen, d.h. im Schwall- und Sogbereich. Dort lagern sich bei der vorangegangenen bzw. aktuellen Flut auf der flacheren Luvseite hochgespülte Körner, insbesondere Schwerminerale, ab, da die Transportkraft des wenige Milli- bis Zentimeter mächtigen Wasserfilms für die Bewegung schwerer Körner nicht mehr ausreicht, siehe z.B. (WASMUND 1938). Dagegen finden sich auf der steileren landseitigen Leeseite abgelagerte leichtere

Körner, die z.T. in die Lagune gespült werden. Durch bei Stürmen angeschwemmte Schalenbruchstücke, in Anhäufungen auch Schill genannt (DEWERS, et al. 1941), ist ein geringer Karbonatgehalt zu erwarten.

2. Strandlagune bzw. Strandrinne oder Priel, die bzw. der bei Flut mit über den Strandwall schwappendem Wasser gefüllt wird, das bei Ebbe abläuft. Der Strandwall kann durch landwärtige Verlagerung bei steigendem Wasserspiegel Rippelstrukturen der Lagune überdecken.
3. trockener Strand oder Rückstrand, landseits von Strandwall bzw. Priel, oberhalb der mittleren Hochwasserlinie bis an den Fuß der vordersten Küstendünen oder das Kliff reichend, mit bei Stürmen aufgespülten Sedimenten oder vom Strandwall ausgewehten locker gelagerten Vordünen, auch Primärdünen genannt (STREIF 1990: 129), oberflächennahe Sedimente werden zumindest episodisch durch Wind umgelagert, der Bereich ist sanft seewärts geneigt. Bei stärkerem Wind kann es zum „Sandtreiben“ zwischen Boden und wenigen dm Höhe kommen.
4. Sturmflutwall am Fuß von Steilküsten, bestehend aus Blöcken, die bei Hochwasser durch Wellenagitation aus der Steilwand abbrechen und nur gering umgelagert werden. Steilküsten werden hier nicht als Faziesbereich angeführt, da ihre Ablagerungen „fossil“ sind.
5. Vorderste Küstendünen bzw. Weißdüne, auch Sekundärdüne genannt, mit rezenten bis subrezentem, nicht oder durch Entkalkung nur gering diagenetisch veränderten, unzementierten äolischen Ablagerungen. Sande werden aus dem unbewachsenen trockenen Strand bei mäßigem bis stärkerem landgerichteten Wind über maximale Horizontaldistanzen zwischen etwa 30 und 100 m ausgeweht. Diese Dünen sind von Gräsern meist nur spärlich bewachsen.
6. Grasdünen, Tertiärdünen, weiter untergliederbar nach dem Grad der Bodenbildung, in diesem Fall der Podsolierung, in Grau-, Gelb- und Braundünen, schließen sich zum Landesinneren an die Weißdünen an. Durch saure Sickerwässer sollte evtl. angewehter Schill rasch gelöst werden. Die Vegetationsdecke aus Gräsern, Büschen und Bäumen stabilisiert diese Dünen.
7. lokal fluviatil-ästuarine Ablagerungen der Swine bzw. eines Entwässerungsgrabens, hier des Sackkanals bei Bansin.

Nicht alle Faziesbereiche müssen vorhanden sein, so schließen sich 4. und 5. meist gegenseitig aus. In dieser Studie liegen Proben aus den oben eingefärbten Fazies-Bereichen 1, 5 und 6, Gelbdüne, vor, eine Probe einer Vordüne liegt am Übergang von 4 zu 3 und wird hier zusammen mit den Weißdünen betrachtet. Sämtliche Proben liegen von der makroskopisch, d.h. mit bloßem Auge bestimmten, Korngröße her im Sand-Bereich, mit Ausnahme einer Probe aus Bernstein, gefunden auf dem trockenen Strand, im Feinkies-Bereich.

Einige Beispiele für die verschiedenen Ablagerungsräume auf der Insel Usedom zeigt [Abb. 5.12-2](#).



Ufer nördlich von Karlshagen. Bei Flut hat der Schwapp der Wellen eine Sandbank, den uferparallelen Strandwall, aufgespült. Dies erfolgt vor allem dann, wenn die Wind- und Wellenausbreitungsrichtung aufländig genau senkrecht zur Uferlinie verläuft. Das über den Kamm gespülte Wasser sammelt sich in der Lagune, die meist nur einen schmalen Auslass zum Meer hin aufweist. [FM_Ostsee2017-12]



Bei der nachfolgenden Flut wird der Strandwall wieder überformt. Da das über den flachen Kamm schwappende Wasser, eine bogenförmige Schwappmarke befindet sich links, beim Zurückfließen geringe Vertiefungen bevorzugt, kommt es zur parallelen Eintiefung von Rinnen im Kammbereich.



Eine schmale Lagune erstreckt sich bei Stubbenfelde zwischen Strandwall und trockenem Strand. Im Kammbereich und auf dem seewärtigen Hang des Strandwalls liegen überwiegend einklappige Muschelschalen, Dokument eines vorangegangenen Sturmereignisses. Im Hintergrund ist das aktive Kliff zu sehen. Die Lage der Lagune ändert sich in Abhängigkeit vom küstenparallelen Transport und Umlagerung bei Stürmen.



Unmittelbar im Bereich des Aufnahme-Standortes des vorigen Fotos überzieht eine dunkle Feinsand-Lage mit Schwermineralanreicherung den Priel-seitigen Rand des Strandwalls, während am gegenüberliegenden, hier unten zu sehenden, Rand des Priels Schill-reiche Grobsande zu finden sind. Strömungsrippeln am Lagunenboden zeigen eine geringe Strömung des nach rechts ablaufenden Wassers an. [FM_Ostsee2017-7 Schwermineral-Seife, FM_Ostsee2017-8 Grobsand]



Strömungstreifung auf dem Strandwall bei Ahlbeck. Die schmalen Sandwälle hinter Schalen als Hindernis angrenzend zeigen ein Überspülen des Kammes bei Flut von rechts oben. Diese Marken werden durch einen dünnen Saum aus auf der feuchten Bodenoberfläche kleben bleibenden Sandkörnern rasch überdeckt. Gelegentlich finden sich solche Strömungsanzeiger in fossilen Sandsteinen.



Bei ruhigem Wetter kann ein ufernaher Strandwall so schwach ausgebildet sein, dass der trockene Strand direkt an das Tidal mit dem nassen, d.h. bei Flut wasserbedeckten, Strand grenzt, hier bei Ahlbeck. [FM_Ostsee2017-4]



Das Material der Vordünen wurde früher aus dem Strandbereich durch landwärtige Winde während Schönwetterphasen bei Ebbe ausgeweht und im Strömungsschatten ehemaliger Vegetation als Weißdünen abgelagert. Als Folge des Sturms vom 5.01.2017, der entlang der Ostseeküste zu zahlreichen Uferveränderungen führte, gab es auch Uferabbrüche nördlich von Karlshagen, im Hintergrund rechts der Rand des Sperrgebietes im Norden der Peenehalbinsel.



Anschnitt der Weißdünen vom vorigen Standort. Auffällig ist das nahezu völlige Fehlen eines humosen Oberbodens, was auf Deflation = Ausblasen der Bodenoberfläche und damit geringe Bodenbildung hinweist. Erst mit zunehmender Entfernung vom Ufer, stabiler Vegetationsdecke und Humus-Akkumulation bilden sich aus ehemaligen Weißdünen die Graudünen. Herabhängende Triebe täuschen eine tiefe Durchwurzelung vor. [FM_Ostsee2017-13]



Sturm-bedingter Anschnitt der vordersten Weißdünen bei Bansin. Wechselnde Windrichtungen und –geschwindigkeiten führten zu unterschiedlichen Korngrößen der äolischen Ablagerungen. Erkennbar sind Wurzeln bis etwa 80 cm Tiefe, die nur begrenzt zur Stabilisierung bei Hochwasserereignissen beitragen. [FM_Ostsee2017-14]



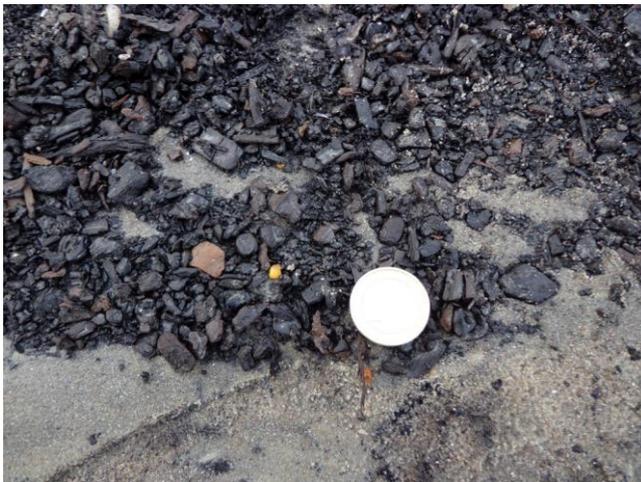
Südöstlich des Streckelberges hat die fortschreitende Abrasion Sande einer Kliffranddüne im Stadium einer Gelbdüne unter der jüngeren Graudüne, hangaufwärts stabilisiert durch den Baumbestand, abgeschlossen. Die Grenze beider Bereiche ist als scharfe seewärts einfallende Diskordanz ausgebildet, die vermutlich auf ein früheres Abrasionsereignis zurückzuführen ist. [FM_Ostsee2018-3] für den unteren Bereich.



Die Kliff-Treppe bei Stubbenfelde war im Frühjahr 2017 aufgrund der Böschungsabbrüche am ungeschützten Klifffuß nicht mehr begehbar. Ohne Strandaufspülungen oder technische Sicherung des Klifffußes ist ein weiteres Zurückverlagern der Küstenlinie zu erwarten. Das hier abgetragene Material begünstigt wiederum das Wachstum von Strandwällen und Vordünen in benachbarten Bereichen. [FM_Ostsee2017-9, 220 m hinter der Treppe]



Durch Unterspülen der Böschung bei Sturm kam es bei Stubbenfelde zum Böschungsbruch in mehreren Teilschollen. Abrißflächen sind durch fehlende Vegetation erkennbar. Stratigraphisch gehört der Anschnitt zu hier 13 m mächtigen sandig-siltigen Schmelzwassersanden. Ein Sturmflutwall ist nicht erkennbar, da im Kliff wenige Blöcke vorkommen. Die Bernsteinlagerstätte befindet sich einige Meter unterhalb des sichtbaren Strandbereichs.



Bernstein auf sekundärer Lagerstätte, d.h. als Scholle glazial verfrachtet. Das fossile Harz wurde aufgrund seiner geringen Dichte zusammen mit fossilem Holz am Strand nur geringfügig umgelagert, nachdem bei vorangegangenen Stürmen die sonst bei Schönwetterphasen vorhandene Bedeckung mit Sanden abgetragen worden ist. Die meisten Bernsteine sind nur wenige Millimeter groß! [FM_Ostsee2017-10]



Eine Kiefer, gefällt im Frühjahr 2017 bei Swinemünde, zeigt asymmetrischen Zuwachs der Jahresringe. Das deutet auf eine deutliche Vorzugsrichtung des Windes hin, annähernd nach S, landwärts, gerichtet. Die Wuchsform der Bäume ist tatsächlich meist in eine Vorzugsrichtung geneigt, sogenannte „Windflüchter“ sind bei stärker exponierten Standorten häufig zu finden.



Das Anklamer Tor in der Stadt Usedom stellt als viergeschossiger blockartiger Tortypus nach (BILLER 2016) ein gut erhaltenes Beispiel für mittelalterliche Wehrarchitektur in Backsteingotik dar, hier die feldseitige Ansicht. Der einheitliche Baustil mit Rund- und Stichbogenblenden im Wechsel sowie der Rundbogennische für das Fallgitter deutet auf eine einzige Bauphase hin.



Historische Uhr am Zugang zur Seebrücke in Ahlbeck. Die üppige Verzierung kündigt zusammen mit der Seebrücke vom Reichtum des Seebades an der Wende des 19. zum 20. Jahrhundert.



Historische Villen am Nordrand von Ahlbeck zeigen den Wohlstand der Erstbesitzer und die Verwirklichung ausgefallener Baupläne. Sie liegen unmittelbar auf/hinter der Vordüne mit Bewuchs, und dahinterliegender vorderster, hier recht niedriger, Weißdüne, deren Fortbestand sehr wichtig für den Küstenschutz ist. Dieser Bereich darf daher nur auf den Übergangswegen durchschritten werden.



Abb. 5.12-2: Heutige Sedimentationsräume auf Usedom, ergänzt um Eindrücke historischer und heutiger Bauten. Der Zeitpunkt der Aufnahmen liegt zwischen dem 7. und 13. März 2017, mit Ausnahme der Gelbdüne, aufgenommen im Herbst 2018. In [] stehen jeweils die Bezeichnungen der an dem im Bild sichtbaren Standort entnommenen Probe.

[Zurück zur Übersicht](#)

5.12.3 Färbung der Gesamtproben

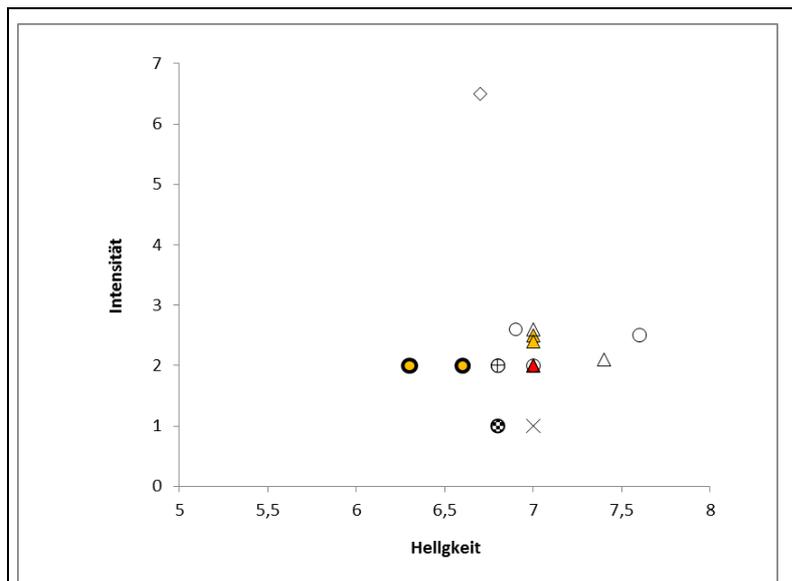


Abb. 5.12-3: Munsell Helligkeit gegen Farbintensität der Gesamtfraktion der Proben aus dem seewärtigen Litoral von Usedom mit Darstellung der Faziesbereiche. Symbolik und Farbgebung: Kreis = Strandwall, Dreieck = Vor- und Weißdüne, Raute = Gelbdüne, x = Swine, fluviatil-ästuarin, + = Sackkanal, fluviatil, dicker Rand = Grobsand, Raster = Schwermineralseife; rote Füllung für eine Probe: mit mehreren Metall-Komponenten, orange Füllung: mit einem metallischen Partikel bzw. einer Schlacke.

Drei Farbparameter der Gesamtproben, Farbfeld, Intensität und Helligkeit, wurden nach der Munsell Soil Color Chart (ANONYMOUS 2000) bestimmt. Die Farbfelder liegen mit 10YR und 2.5Y in zwei benachbarten Feldern, was auf grundsätzlich ähnliche mineralische Zusammensetzung hinweist. Ein deutlicher Faziesbezug ist für die drei Farbparameter nicht erkennbar, dargestellt sind die beiden letztgenannten in [Abb. 5.12-3](#). Interessanterweise stellt die Schwermineral-Seife von Probe FM_Ostsee2017-7 nicht die dunkelste Probe dar, sondern

die dunkelsten Proben sind mit FM_Ostsee2017-8 und -4 die beiden Grobsand-Proben vom Strandwall. Die Grobsande weisen die höchsten Gehalte an Lithoklasten aus Moränenmaterial von allen untersuchten Proben auf. Eine Korrelation von Helligkeit gegen Schwermineralgehalt, nicht dargestellt, zeigt keine relevante Korrelation. Das bedeutet, dass nur anhand der Farbe Schwermineralseifen nicht eindeutig erkennbar sind! [Zurück zur Übersicht](#)

5.12.4. Magnetische Suszeptibilität von Sedimentproben verschiedener Faziesbereiche

Bestimmt wurden folgende umweltmagnetische Parameter: mit einem Bartington MS2 Susceptibility Meter mit Sensor B die masse-spezifische Suszeptibilität, MS, siehe (DEARING 1994), an der Gesamt-, der nichtmagnetischen und der ferrimagnetischen Fraktion, für Gesamtproben mit luftkorrigierten Rohwerten $>20 \cdot 10^{-6}$ [cgs] die Frequenzabhängigkeit der MS, χ_{fd} , siehe (DEARING, et al. 1996).

Die Werte der MS der Gesamtfraktion sind insgesamt relativ gering, mit Ausnahme einer Schwermineralseife, Probe FM_Ostsee2017-7 vor dem Kliff bei Stubbenfelde, siehe [Tab. 5.12-1](#). Mittelsand-Proben aus dem Strandwall, ohne die Schwermineralseife, weisen ähnliche MS-Werte auf wie die Proben von Weißdünen, was ein Indiz für ähnliche, Quarz-reiche Zusammensetzung des Lockergesteins beider Faziesbereiche darstellt. Demgegenüber weist eine fluviatil-ästuarine Probe der Swine eine deutlich niedrigere und eine vom Sackkanal eine deutlich höhere MS auf. Bernstein als diagenetisch verändertes organisches Material zeigt wie zu erwarten eine negative MS, ist also diamagnetisch. Die geringen Werte der Frequenzabhängigkeit der MS zeigen das Fehlen superparamagnetischer Magnetite an.

Tabelle 5.12-1: Faziesbereiche, Korngröße und magnetische Suszeptibilität der litoralen Gesamtgesteins-Proben sowie von Bernstein. * = ohne Schwermineralseife SM, MW = Einzel- bzw. Mittelwert; fS = Feinsand, mS = Mittelsand, ms = mittelsandig, f-gs = fein- bis grobsandig, fG = Feinkies; MS = masse-spezif. magnetische Suszeptibilität in [$10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$], χ_{fd} = Frequenzabhängigkeit der MS [%], ges = Gesamtfraktion, NMF = nichtmagnetische Fraktion, MF = ferrimagnetische Fraktion.

Faziesbereich	Probenanzahl	Haupt-/Neben-korngröße	MW MS _{ges}	MW MS _{NMF}	MW MS _{MF}	MW χ_{fd}
Supralitoral, Gelbdüne	1	mS	72	14	176598	0
Supralitoral, Küstendüne	6	fS, ms	115 [23-242]	15	255817	0,3
Eulitoral, Strandwall*	5	mS, f-gs	28 [16-52]	11	194422	0,7
Eulitoral, Strandwall SM	1	f-mS	3434	123	317371	0
Eulitoral, Strandwall	2	gS, ms	87 [57-116]	71	68502	0,4
Fluviatil, Swine	1	fS	8	5	194886	0
Fluviatil, Sackkanal	1	mS	446	94	304891	0
Bernstein	1	fG	-11			

Mit einem Sm-Nd-Permanent-Magneten an einem Eisenstab in einer Teflon-Hülle, konstruiert nach (DOBENECK, et al. 1987), wurde die magnetische, genauer gesagt die ferrimagnetische Fraktion, MF, aus der trockenen Gesamtprobe in einer glasierten flachbödigen Porzellanschale mit 10 cm Durchmesser extrahiert, die verbleibende Fraktion aus para- und diamagnetischen Partikeln wird im folgenden vereinfachend als „nichtmagnetische Fraktion“, NMF, bezeichnet. Die MF wurde nach der Extraktion in der 12.5 ml Nunc-Dose mit deionisiertem Wasser bei außen unter den Dosenboden angehaltenem Magneten mehrfach gespült, um dadurch beim Trocknen der Probe auskristallisiertes hygroskopisches Salz und daran anhaftende nicht ferrimagnetische Körner, vor allem Quarz und Karbonatschalen, zu entfernen. Zwei Proben mit hohen Extraktgehalten wurden in einem zweiten Schritt zusätzlich unter Wasserbedeckung der Probe nochmals extrahiert, was vor allem in Probe FM_Ostsee2017-7 zu erheblichem Mehrgewinn der MF-Fraktion und niedrigeren MS-Werten für die NMF führte, bei Probe FM_Ostsee2018-2 waren bei der zweiten Extraktion vor allem Lithoklasten in der MF angereichert.

Da die höchsten Werte der MS der NMF in den Proben auftreten, die auch hohe Werte der MS der Gesamtfraktion aufweisen, spricht dies für nicht ganz vollständige Extraktion des ferrimagnetischen Materials.

Bei der MS der MF fallen die beiden Grobsandproben durch den niedrigsten Wert auf. In den beiden Proben FM_Ostsee2017-4 und -8 liegen in der MF die relativen Gehalte an extrahierten Lithoklasten bei 7 bzw. 47 Korn-%. Der maximale Wert für die masse-spezif. MS der MF für drei Proben mit <5 Korn-% Lithoklasten in der MF liegt bei 362000 [$10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$]. Dies ist zumindest die gleiche Größenordnung wie der Wert, der für reinen Magnetit, 500000 (THOMPSON & OLDFIELD 1986), bzw. Titanomagnetit, 422000 [$10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$], (PETERS & DEKKERS 2003), zu erwarten wäre. Gründe für die etwas niedrigeren masse-spezif. MS-Werte der MF liegen zum einen im unterschiedlich hohen Lithoklasten-Anteil der MF und zum anderen spricht dies für die Präsenz von Titanomagnetit.

Im Mittel enthalten die untersuchten Proben nur etwa 0,08 Gew.-% ferrimagnetisches Material, was die niedrigen Werte der MS der Gesamtfraktion erklärt. Nur im Fall der Schwermineralseife, FM_Ostsee2017-7, beträgt der Anteil rund 1 Gew.-%. Die Schwermineralanreicherung dieser Probe, vor dem Kliff von Stubbenfelde, erfolgte auf dem landseitigen Hang des Strandwalles zur Lagune hin durch stetiges Überspülen des Walles bei Flut und Abfuhr der leichteren Fraktion über den Ausstrom der Lagune bei fallendem bzw. niedrigem Wasserstand.

[Zurück zur Übersicht](#)

5.12.5. Komponenten der magnetischen und unmagnetischen Fraktionen

Nach der Messung der magnetischen Suszeptibilität der Gesamtproben wurden die Sedimente jeweils in eine NMF, und eine MF, aufgetrennt, siehe oben. Beide Fraktionen wurden unter einem Binokular Leica Zoom 6000 bei 10,5- und 45-facher Vergrößerung betrachtet und fotografiert. Aufnahmen erfolgten durch das Okular mit einer Sony DSC-W650 Digitalkamera, eingestellt auf 4608x3456 Bildpunkte, davon entfielen etwa 2900x2900 Bildpunkte auf den sichtbaren Ausschnitt. Fotos wurden am Bildschirm für die Ausmessung der Korndurchmesser und Kategorisierung der Komponenten auf 200 % vergrößert, nur bei den beiden Grobsand-Proben unterblieb dies. Alle Fotos wurden mit der Mac Software „Vorschau“ einer automatischen Bildschärfung unterzogen. Mindestens 3 Fotos pro Probe im Auf- und Durchlicht wurden ausgewertet. Die Analyse erfolgte iterativ, d.h. in mehreren Durchgängen, um bei neu erkannten Komponenten auch in bereits ausgewerteten Fotos erneut auf deren Präsenz zu prüfen. Für Korngrößenbestimmungen der MF wurde ein Keyence

Digitalmikroskop VHX-6000 mit Objektiven 0-200x und 200-1000x Vergrößerung verwendet.

Zunächst soll eine Betrachtung der Komponenten der NMF, danach der MF erfolgen. Dabei erfolgte die Komponenten-Ansprache unter Verwendung von (BAUER & TVRZ 1981), (BOENIGK 1983), (RÖSLER 1984), (SCHWERTMANN 2008), (TRÖGER, et al. 1982), (VINX 2005).

Insgesamt wurden folgende Parameter in der NMF bestimmt: 1. Quarz matt, 2. Quarz glänzend, 3. Quarz mit Kutane, 4. Lithoklasten, 5. Granat, 6. grüne Hornblende, 7. Epidot, 8. Rutil, 9. orange + beige Körner, 10. Feldspat, 11. Anatas, 12. Schalen-Fragmente, 13. Mikroplastik-Fragmente. Bei 5-8 handelt es sich um Schwerminerale mit einer Dichte >2,85 g/ccm, wobei Calcit bzw. Kalkstein oder Schalen hier üblicherweise nicht dazugerechnet werden (BOENIGK 1983). Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden anhand der beobachteten Merkmale charakterisiert sowie im nächsten Abschnitt in Bezug auf Herkunft bzw. Prozesse interpretiert.

1. Quarz mit matter Kornoberfläche, unterschiedlich transparent, meist farblos und durchsichtig, häufiger weißlich getrübt, selten grau ähnlich Rauchquarz; sobald bei einzelnen klaren bis leicht beigefarbenen Körnern eine ebenflächige Spaltbarkeit erkennbar ist, wurden diese zu 10. gezählt.
2. Quarz mit glänzender Kornoberfläche, im Auflicht farblos, klar-transparent, vermutlich überwiegend monokristallin; für Körner mit Spaltbarkeit siehe unter 1. Glänzende Quarzkörner, die gar nicht oder nur mäßig gerundet sind, zeigen muscheligen-splittrigen Bruchflächen. Selten finden sich braune Kutane-Reste in Vertiefungen, wie auch bei 1.
3. Quarz mit Kutane aus vermutlich Fe-Hydroxid, dadurch im Auflicht vanille-farbige bis deutlicher gelbliche, seltener orange Färbung, im Durchlicht teilweise ganz leicht bis selten kräftiger bräunlich-rötlich gefärbte Flächenbereiche, seltener im Auf- und Durchlicht bis auf randliche oder ansonsten dünnere Bereiche intransparent durch beige Trübung ähnlich Milchquarz, bei selten beobachtetem völligen Fehlen durchscheinender Bereiche wurden diese Körner zu 4. gezählt, da sie nicht von orange farbigen Quarziten unterscheidbar sind. Mitunter sind nur einige Bereiche eines Kornes von der Kutane bedeckt oder es gibt einen Trend zu stärkerer Gelbfärbung innerhalb des Kornes, teilweise sind auch glänzende Bereiche neben verfärbten erkennbar. Mitunter finden sich auch hier braune Kutane-Reste in Vertiefungen. Da die Unterscheidung zwischen 1. und 2. unter einer Kutane nicht mehr in allen Fällen möglich ist, wurden sobald ein leichter Gelbstich auffiel diese Körner zu 3. gezählt. Einzelne durch Kutane verkittete größere Korn-Aggregate in Probe FM_Sackkanal2017-1 wurden nicht gezählt. Selten treten partielle rote Kutane auf glänzenden bzw. matten Körnern auf, diese wurden zu 1. oder 2. gezählt, da Hämatit-Kutane unter gemäßigt-humidem Klima nicht gebildet werden (BLUME, et al. 2010) und daher aus dem Liefergestein, z.B. einem Sandstein, ererbt worden sein müssen. Die Intensität oder Vollständigkeit der Kutane wurde nicht quantitativ erfasst.
4. Lithoklasten, in der Regel nicht oder nur randlich durchscheinend, bräunlich, hellgrünlich, oder mehrfarbig-gestreift. Lithoklasten sind meist größer als die dominierenden Quarzkörner derselben Probe. Häufig sind Quarzite, hellgrau bis grünlich, auch orange oder bräunlich, selten unterschiedlich intensiv rosafarben und dadurch von Granat unterscheidbar, vermutlich handelt es sich um Quarzit, der von Hämatit durchstäubt ist; Alkali-Feldspat mit farblosem Quarz und z.T. mafischen Körnern verwachsen, also Granitoide oder Orthogneis; Siltstein, grau, auch grünlich-grau; bei mindestens zwei umeinander verwachsenen gerundeten oder kantigen

Quarzkörnern liegen Sandstein- oder Quarzit-Klasten vor, z.B. mehrere in Probe FM_Ostsee2017-6; da sich dies nur schwer von zwei gleichartigen übereinander liegenden Körnern mit dadurch einspringenden Kanten unterscheiden läßt, sind solche Klasten infolge des Ausschlusses von der Erfassung unterrepräsentiert, dies ließe sich aber nur über Dünnschliffmikroskopie genauer fassen; mäßig oft hellgrauer bis weißer Kalkstein, bei selten körniger Ausbildung, geringer Festigkeit und hellbeiger Färbung dürfte es sich um Schreibkreide der Oberkreide handeln, vermutlich aus dem oberen Geschiebemergel eines Steilküstenabschnitts, siehe (DUPHORN, et al. 1995); selten bräunlicher Flint bzw. Feuerstein; selten Basalt, dicht mit Einsprenglingen, selten grünlicher Feinsandstein, vermutlich Glaukonit-haltig. Darüberhinaus wurden einzelne opake Minerale beobachtet, bei denen es sich um Hornblende, Pyroxen oder Magnetit handeln dürfte, die zur ferrimagnetischen Fraktion gehören und deren Auftreten auf das trockene und damit nicht ganz vollständige Extrahieren der MF zurückgeht, einzelne schwarze Komponenten wurden bei der NMF deshalb nicht ausgemessen bzw. berücksichtigt. Bei einigen weißen Komponenten könnte es sich um gerundete Schalenfragmente, siehe unten bei 10., handeln. Zwar wurde bei der Dokumentation zwischen vollständig intransparenten Lithoklasten und zumindest teilweise durchscheinenden intransparenten Komponenten zunächst unterschieden, beides wurde jedoch zur Gruppe 4. zusammengefaßt, da Quarzite durchscheinend sein können.

5. Granat, transparent bis seltener durchscheinend, lachsrosa, in einem Fall farblos, manchmal isometrische Kornform. Die Probe mit dem höchsten Granat-Gehalt von 3,3 Korn-%, die Schwermineralseife FM_Ostsee2017-7, zeigt auch die höchste masse-spezif. magnetische Suszeptibilität. Da Granat mit im Mittel etwa 1, maximal 4, Korn-% in der NMF, aber nicht in der MF, aller Faziesbereiche auftritt, kann es sich nicht um reinen, stärker magnetisierbaren, Almandin handeln, sondern z.B. um Almandin-Pyrop-Mischkristalle. Beide Fe- bzw. Mg-reichen Endglieder haben rosa Färbung (TRÖGER, et al. 1982). Nach (BOENIGK 1983) ist auch Spessartin blaßrosa, ein Granat mit der Formel $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$. Körner mit nur teilweise rosa Färbung wurden bei Durchsichtigkeit zu 1. oder 2. gezählt, da es sich vermutlich um Hämatit-durchstäubte Quarzkörner, z.B. aus hydrothermalen Gangvererzungen, handelt, oder bei Intransparenz zu 4. gezählt, da es sich offenbar um Quarzite handelt. Ein Granat mit Resten von Hämatit-Kutane in Probe FM_Ostsee2017-5 zeigt, dass vereinzelt auch Granate in Sedimentiten vorkommen.
6. Hornblende, kräftig olivfarben, auch dunkelgrün, durchscheinend, z.T. mit trüben Bereichen infolge Umwandlung, bis fast transparent, gut gerundet, tritt in wenigen gedrunghenen Körnern nur in den Proben FM_Ostsee2017-11 und -14 auf. Es könnte sich auch um Olivin handeln, der jedoch geringere Farbintensität aufweisen sollte, siehe (BOENIGK 1983), (TRÖGER, et al. 1982). Dünnschliffe der NMF geben keinen Hinweis auf Olivin, dafür aber auf etwa gleich hohe Gehalte von grüner und brauner Hornblende, s.u.. In der MF wurde selten schwarze Hornblende beobachtet.
7. Epidot, hellgrün, etwas durchscheinend, tritt in vier Proben aller Faziesbereiche auf. Eine sichere Unterscheidung von 6. ist unter dem Binokular nicht immer möglich, allerdings fällt auf, dass in einer Probe entweder nur 6. oder 7. auftritt.
8. Rutil, rötlichbraun oder gelblichrötlich, je nach Korndicke stärker oder geringer durchscheinend, teilweise typische gestreckte Körner, siehe (BOENIGK 1983), wurde nur im Sackkanal und in vier Proben vom Strandwall, dagegen nicht in den Dünenproben, beobachtet. Bei einigen gering durchscheinenden Körnern könnte es sich auch um braune Hornblende handeln.

9. Orange bis beige Körner, randlich durchscheinend; vermutlich handelt es sich überwiegend um Goethit- bzw. Hämatit-haltige Quarzite bzw. kieselige Sandsteine; in einigen Fällen ist aber auch eine dickere Goethit- oder Hämatit-Kutane möglich, die bereits im Liefergestein als Kornüberzug vorhanden war, auch rötlich durchstäubte Feldspäte, in granitischen Lithoklasten z.T. intensiv rot gefärbt, sind vermutlich hierzu zu rechnen. Eine Unterscheidung zu 4. wurde über die Transparenz und Färbung vorgenommen, sie ist aber eine deskriptive und keine genetische Unterscheidung.
10. Feldspat mit roter oder oranger Färbung, einmal farblos, schwach bis nicht durchscheinend, einmal transparent, mit Spaltrissen, wurde nur in einigen Proben aller Faziesbereiche nachgewiesen, bis maximal 1 Korn-%. Hier kann es sich aufgrund der üblichen Häufigkeit von Feldspat nur um einen Teil der tatsächlich in den Gruppen 1, 2 und 3 vorkommenden aber unter dem Bino nicht vom Quarz zu trennenden Feldspäte handeln. In zwei Dünnschliffen der NMF wurden 4-7 Korn-% Feldspat beobachtet, s.u..
11. Anatas, als farbloser, quadratischer, tafelförmiger Kristall, fand sich nur einmal in Probe FM_Ostsee2018-7.
12. Schalen und Schalenfragmente treten zwar in den Gesamtproben gelegentlich auf, jedoch wurden diese bei Dimensionen im Bereich >5 mm nicht in die Binokular-Analyse einbezogen, da sie aufgrund ihrer Seltenheit sonst zu Verfälschungen durch Überdeckung anderer Körner führen könnten. Die Schalen sind immer weiß und intransparent. In den Proben FM_Ostsee2017-4, -6, -8 treten häufige Schalenbruchstücke in der Gesamtprobe sowie einzelne in der NMF von FM_Ostsee2017-4, und -8 sowie FM_Ostsee2018-1 auf.
13. Durch oft bunte Farben und auffällige Kornformen sollten Mikroplastik-Partikel unter dem Binokular relativ leicht erkennbar sein, siehe z.B. (MILLER, et al. 2016). Nur in Probe FM_Ostsee2018-2, genommen im September 2018 beim Streckelsberg, wurden zwei lila Fragmente von scharfkantigem Umriß mit 190 bzw. 230 µm Länge beobachtet, bei denen es sich um Mikroplastik-Fragmente handeln dürfte. Umgerechnet auf ein kg Trockensediment wären das 12 Partikel. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Partikel <10 µm, entsprechend etwa 1 mm Länge auf einem Bildschirm, unter dem verwendeten Binokular nicht mehr sicher zuordbar sind. In einigen Fällen wurden weißliche Fasern beobachtet, die nach Farbe, Längen von mehreren mm, und irregulär verlaufender Struktur von den Zellstofftüchern zum Reinigen der Durchlichtglasplatte stammen und den Autoren auch aus der Anfertigung von Streupräparaten bekannt sind. In Probe FM_Ostsee2018-1, nördlich Streckelsberg, wurde ein intensiv grünes Fragment beobachtet, allerdings war dies in der MF, so dass es sich um einen Lackpartikel handeln dürfte.

Aufgrund der fehlenden Polarisationsmöglichkeit können nicht alle Mineralkörner unter dem Binokular eindeutig bestimmt werden. Die Zuordnung erfolgte bei den Lithoklasten zu dem wahrscheinlichsten Typ oder es wurde dort nur eine Farbzuzuordnung vorgenommen.

Auffällig ist, dass keine Glimmer beobachtet wurden. Eine Erklärungsmöglichkeit wäre, dass nur wenige Glimmer aus Liefergesteinen der Kliffs freigesetzt werden, was bei dem hohen Granitanteil unwahrscheinlich ist. In rezenten Bächen, wie z.B. der Roda bei Jena, kann man beobachten, dass Hellglimmer schon bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten transportiert werden, bei denen Quarz- und Feldspatkörner noch liegen bleiben. Wahrscheinlicher ist daher, dass die Glimmer sehr schnell durch die Brandung zerkleinert und mit Strömungen zu größeren Wassertiefen fortgetragen werden. Außerdem ist nach (VAN LOON & PISARSKA-JAMRO 2017) der Glimmeranteil am Schwermineralspektrum in glaziofluviatilen

Ablagerungen NW-Polens mit 2-7 Korn-% relativ gering. Schwarze Hornblende konnte nur in der MF beobachtet werden. Der Schwermineralgehalt, hier aus den Kornanteilen der NMF für Granat, grüne Hornblende, Epidot und Rutil berechnet, d.h. ohne Berücksichtigung der Erze, ist für Dünensande ähnlich hoch wie für Sande des Strandwalls.

Prozesse, die zur Anreicherung von Schwermineralen führen, und einige generelle Aspekte zum Vorkommen typischer Schwerminerale werden im Folgenden vorgestellt. Im Bereich der Schorre vor Usedom treten nach (WASMUND 1938) „Spülsäume hauchdünner Seifen ... an trockenfallenden Sandriffen seewärts des Strandes auf“ infolge submariner Abrasion steinreicher Geschiebemergel, auf der Vinetabank und der Koserowbank. Weiterhin wird ebenda vom seewärtigen Abfall des Strandwalls an der Wasserlinie das häufige Auftreten von Spülsäumen von maximal wenigen cm Mächtigkeit erwähnt. Die Schwermineralseife der Probe FM_Ostsee2017-7 bildete sich allerdings auf dem landseitigen Hang des Strandwalls. Nach (WASMUND 1938) findet die höchste Schwermineral-Konzentration am Fuß der Dünen im Bereich der Vordünen statt, wo sie bei Aufarbeitung durch Sturmflut mit Abfuhr der Leichtminerale und späteres Aufkonzentrieren durch Ausblasung weiterer Leichtminerale, siehe auch (PUPIENIS, et al. 2011), zu Lagerstätten weiter zunehmen kann. (LAMCKE 1938) beschreibt aus Strandseifen am Fuß von Küstendünen bei Swinemünde einen Schwermineralgehalt von 10 bis 30 Gew.-%, mit einem Fe/Ti-Verhältnis von 1,0 bis 2,3 Gew.-% und Gehalten von 2 bis 5 Gew.-% Fe und 1-5 Gew.-% Ti in den Nichtsilikaten. 2 km südwestlich Swinemünde wurden nach (WASMUND 1938) unter Torfen in einem fossilen sandigen Kliff Erzanreicherungen beobachtet. (PFEIFFER 1972) nennt von Schwermineralseifen im zentralen Teil Usedom Zirkon, Granat und Magnetit als häufigste Minerale. (LUDWIG 2016) beobachtete für Dünensande der polnischen Küste bei Łeba einen Quarzgehalt von 99,5 Korn-% und als Schwerminerale Amphibol, Granat, und in geringerem Umfang Zirkon sowie Ilmenit. Aus spätquartären glazialen und fluviatilen Ablagerungen NW-Polens südöstlich von Stettin geben (VAN LOON & PISARSKA-JAMRO 2017) für die Fraktion 125-250 µm 12-26 Korn-% Magnetit und andere opake Minerale sowie 12-17 Korn-% Granat und 16-23 Korn-% Amphibol neben Limonit als Verwitterungsbildung als häufigste Schwerminerale, bezogen auf die Gesamt-Schwermineral-Fraktion, an.

Die Herkunft verschiedener Mineral- bzw. Gesteinskomponenten an Steilküsten der südlichen Ostsee erläutern u.a. (SCHALLREUTER, et al. 1984), ausgewählte Beispiele zeigt z.B. (VINX 2005). Die potentiellen Liefergesteine sollen im Folgenden diskutiert werden.

1. Quarz mit matter Oberfläche ist typisch für Dünensande, siehe z.B. (SIEVER 1989). Quarz reichert sich im allgemeinen mit zunehmender Reife, d.h. Transportlänge, mechanischer Beanspruchung und chemischer Verwitterung, des Sediments an (STOW 2008). Für die Meeressande der ostfriesischen Inseln wird ein Quarzanteil von 80 Korn-% beschrieben von (DEWERS, et al. 1941). Als Liefergestein lassen sich für Quarz spätpleistozäne holozäne Dünenablagerungen, paläozoische bis präkambrische Sandsteine oder Quarzite sowie saure präkambrische Plutonite, s. z.B. (KOENSLER 1989.), oder permische Vulkanite aus dem Oslograben, siehe z.B. (VINX 2005), vermuten; nach mikroskopischer Analyse der Lithoklasten kommen für farblose Quarze mit Silt- bis Feinsand-Größe als Liefermaterial vor allem Granite in Betracht, da die für Metamorphite typische undulöse Auslöschung relativ selten auftritt.
2. Quarz mit glänzender Oberfläche kann durch Zerbrechen von Körnern bei glazialer Auflast, z.B. in Moränen, gebildet werden (PYE 1989), (HAMBREY 1994), evtl. mit späterer Abrundung im Litoral (SIEVER 1989). Vereinzelte Körner mit braunen Kutanten zeigen, dass die Körner zumindest eine Zeit lang in Dünen zementiert wurden, bevor ihre Oberfläche, nach deren Abrasion, im Flachwasser poliert wurde. Bei den meisten Körnern dürfte es sich aufgrund der Transparenz um Monoquarz, d.h. Körner,

die nur aus einem Kristallbruchstück bestehen, handeln. Bei seltenen kurzsäuligen farblosen Körnern könnte es sich auch um große Zirkone handeln, deren Anteil an Seifen des zentralen Teils von Usedom von (PFEIFFER 1972) mit 4-6 Gew.-% der Schwermineralfraktion angegeben wird.

3. Kutane auf Quarzkörnern bestehen nach der vorherrschenden leichten bis deutlichen Gelbfärbung aus einem Kornüberzug aus α -FeOOH, also Goethit, bei einigen orangen Kornüberzügen aus γ -FeOOH, Ferrihydrit bzw. Limonit, siehe z.B. (KOENSLER 1989). Braune Kutane-Reste in Vertiefungen neben umgebender, weit überwiegender, gelblicher Kutane zeigen eine Mehrphasigkeit der Kutane-Bildung mit zwischenzeitlichen Prozessen von Abrasion, Transport, Deposition und erneuter Kutane-Bildung an, wobei die braune Färbung für Goethit spricht. Für Podsol B-Horizonte von Dünen ist die Bildung von Goethit und Ferrihydrit bekannt (SCHWERTMANN 2008). Nach (BLUME, et al. 2010) erfolgt die Fällung von Ferrihydrit in saurem Sickerwasser rascher als die von Goethit und bei höheren Fe^{3+} -Konzentrationen, während die Komplexbildung von Fe^{2+} durch Huminsäuren oder die Abnahme des Sauerstoffgehalts durch organische Verbindungen die Fe^{3+} -Konzentrationen in schwach saurem Sickerwasser erniedrigen, was Goethit-Fällung begünstigt. Unterschiedlich intensive Bildung der Überzüge, s.o., zeigt, dass der Porenraum zur Zeit der Zementation nicht vollständig wassererfüllt war, somit auf jeden Fall oberhalb des Grundwasserspiegels erfolgte. Anzunehmen ist, dass Podsolierung in Dünen, mit Lösung von Fe-Verbindungen im Oberboden und Fällung im Unterboden, in Norddeutschland typischerweise in etwa 60-100 cm Tiefe, zur Lösung und Wiederausfällung von Fe-Hydroxid geführt haben, siehe z.B. (BLUME, et al. 2010). Einen anderen Prozess der Kutane-Bildung beschreibt (REINECK 1982): in der Nordsee bilden sich in Sanden des Sandwatts durch Flockung von Kolloiden, Fällung gelösten Eisens oder Anlieferung von eisenhaltigem detritischem Material Eisenhydroxide in bis mehrere cm Tiefe bei guter Durchlüftung. Dieser Prozess kann für das Litoral Usedom aufgrund der häufiger zu beobachtenden Unterschiede in der Intensität der Gelbfärbung aber für viele Körner ausgeschlossen werden, denn dafür muß ein nur teildurchströmter Porenraum vorhanden sein, s.o.. Auf dem seeseitigen Hang des Strandwalls ist häufig weißer Schaum zu beobachten, der für die Gegenwart von Kolloiden spricht. Aufgrund der starken Wasserbewegung im Schwallbereich kann es dort aber kaum zur Ablagerung von Kolloiden kommen. Fällung aus Lösung dürfte zumindest für das Frühjahr am Strandwall keine Rolle spielen aufgrund des Zeitraums von nur wenigen Stunden bis zur nächsten Flut. Daher kann nach Ansicht der Autoren dieser Studie der Gehalt an Körnern mit Kutane im Strandwall als Maß für Abrasion oder / und Auswehung von Material der Küstendünen angesehen werden.
4. Liefergesteine von Lithoklasten sind mangels anstehender Festgesteine auf Usedom primär Moränen vom Boden der Ostsee bzw. von in Kliffs aufgeschlossenen glazigenen Ablagerungen des Pleistozäns, siehe z.B. (EHLERS 1994). Sekundär kommen äolische oder fluviatile Sande, die aus ersteren hervorgegangen sind, in Frage. Als ursprüngliche Verbreitungsgebiete kommen in Frage: für Flint Oberkreide des Ostseeraumes (SCHALLREUTER, et al. 1984), für Kalkstein ordovizische oder mesozoische Ablagerungen auf Bornholm, und für die übrigen Gesteine vom Kristallin des Baltischen Schildes, siehe (SCHALLREUTER, et al. 1984). Die Seltenheit von Flint und Kalkstein gegenüber dem weit überwiegenden Anteil an kristallinen Gesteinen im Litoral spricht für die Herkunft aus dem unteren Geschiebemergel auf Usedom, siehe (DUPHORN, et al. 1995).

5. Granate, wie die hier vermuteten Almandin-Pyrop-Mischkristalle, kommen nahezu ausschließlich in mittel- bis hochgradigen metamorphen Gesteinen vor, z.B. in Glimmerschiefern, seltener in Graniten und Pegmatiten (TRÖGER, et al. 1982). Granate treten häufig in mittel- bis hochgradigen metamorphen Gesteinen des Präkambriums und des Paläozoikums im Baltischen Schild auf, siehe z.B. (SCHALLREUTER, et al. 1984). (DILL 2007) führt hohe Ilmenit- und Granat-Gehalte in quartären marinen Ablagerungen der Ostsee auf Moränenmaterial mit Herkunft von präkambrischen und paläozoischen Gesteinen des Baltischen Schildes zurück. Nach (BOENIGK 1983) erfolgt Granat-Lösung im schwach sauren oxidierenden Milieu. Dennoch sind nach den Ergebnissen dieser Arbeit in den Dünenstränden Usedom Granate mit etwa 1 Korn-% der NMF ungefähr genauso häufig wie auf dem Strandwall, was auf geringe Verweildauer der Granate in den Dünen hindeutet und damit für geringe Alter der beprobten Dünen spricht.
6. Grüne Hornblende ist nach (BOENIGK 1983) ähnlich stabil wie Granat und ebenso besonders lösungsanfällig bei Bodenbildungsprozessen im Bereich des Grundwasser-Schwankungsbereiches. Je nach Zusammensetzung sind Hornblendensorten typisch für basische bis intermediäre Magmatite bzw. mittel- bis hochgradige Metamorphite, wie sie im Baltischen Schild häufig vertreten sind.
7. Epidot ist typisch für Gesteine gering- bis mittelgradiger Metamorphose oder für hydrothermale Kluftfüllungen (TRÖGER, et al. 1982). Dieses Mineral ist stabiler als die Minerale unter 5. und 6. gegenüber der Verwitterung, siehe (BOENIGK 1983). Da mehrfach grünlich gefärbte Klüften mit Andeutung von Schieferung, vermutlich niedriggradige Grünschiefer, beobachtet wurden, könnte dieses Mineral aus solchen Klüften stammen.
8. Rutil kommt neben Pegmatiten vor allem in Amphiboliten, sekundär in Sandsteinen und Quarziten, vor (TRÖGER, et al. 1982). Dieses Mineral sollte daher aus Metamorphiten des Baltischen Schildes stammen. Nach (MARCINKOWSKI & MYCIELSKA-DOWGIALLO 2013) ist Rutil in quartären Lockersedimenten Polens widerstandsfähiger gegen Abrasion und auch chemische Verwitterung als Granat und Epidot, Hornblende ist noch deutlich geringer widerstandsfähig. In nordwestpolnischen Ablagerungen bildet Rutil mit nur etwa 1 Korn-% Anteil am Gesamtschwermineralspektrum eine untergeordnete Rolle (VAN LOON & PISARSKA-JAMRO 2017).
9. Beige bis orange Körner lassen sich nicht weiter interpretieren, da hier eine Gruppe von Mineralen zusammengefaßt ist: in Frage kommen z.B. Quarz-Körner mit einer dicken Kutane aus Goethit oder Limonit, s. unter 3., sowie Titanit, typisch für Plutonite, und Staurolith, ausschließlich in mittelgradigen Metamorphiten vorkommend.
10. Feldspat ist in vielen Magmatiten, Sedimenten und Metamorphiten Haupt- oder Nebenmineral. Einige der rot gefärbten Feldspäte werden aus Granit-Lithoklasten, in denen in verschiedenen Proben rote Feldspäte zu sehen waren, stammen. Das seltenere Vorkommen von Feldspat gegenüber Quarz beruht z.T. auf der gegenüber Dünnschliff-Auswertungen ungenaueren Binokular-Ansicht, s.o., allerdings gibt es auch in der Literatur Hinweise auf klare Quarz-Dominanz des Oderhaffs: Das Verhältnis von Quarz zu Feldspat liegt dort in zwei 4 m langen Sedimentkernen nach (LEIPE, et al. 1998) für die Gesamtfraktion bei etwa 10 bis 20, für die Tonfraktion bei etwa 5 bis 10.
11. Anatas ist nach (BOENIGK 1983) hydrothermalen Genese oder er entsteht authigen als Neubildung nach Verwitterung Ti-haltiger Minerale im Sediment. Letzteres könnte für

das hier beobachtete Exemplar gelten, da es als idiomorphes, also ideale Gestalt annehmendes, Kristall vorliegt.

12. Muschelschalen-Bruchstücke haben andere strömungsdynamische Eigenschaften als die mineralischen Komponenten, daher wurden sie nur bei der Komponentenanalyse, nicht aber bei der Korngrößenbetrachtung berücksichtigt.
13. Mikroplastik stellt bei der Anlagerung an oder der Aufnahme in Organismen eine Bedrohung für viele Arten dar, auch die Anlagerung von Schadstoffen an Oberflächen und die Freisetzung von Weichmachern aus Plastikpartikeln wird diskutiert. An Land entstehen Mikroplastik-Partikel, <5 mm Kornlänge bzw. Durchmesser, primär z.B. durch Zusätze zu kosmetischen Artikeln, sekundär z.B. durch Reifenabrieb, siehe z.B. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/uba_fact_sheet_meeresmuell.pdf. Kunststoff bzw. Wachse verarbeitende Industrie dürfte es auf Usedom kaum geben. Die Zersetzung größerer Plastikkomponenten zu sekundärem Mikroplastik, vor allem aus Polyethylen, durch Sonneneinstrahlung und Brandung stellt nach genanntem Link die Hauptquelle für Mikroplastik im Meer dar. Auch im Auslauf von Kläranlagen können Mikroplastik-Partikel nachgewiesen werden (MILLER, et al. 2016). Nach Informationen des Umweltbundesamtes, siehe z.B. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/pm_34_2_015_mikroplastik_im_meer_-_wie_viel_-_woher.pdf, ist Mikroplastik an Stränden der Ostsee zu finden, offenbar überwiegend aus Plastikmaterial aufgrund der touristischen Nutzung der Strände, genaue Zahlen werden aber nicht angegeben. Insgesamt liegen zu den Strandsedimenten wenige Daten vor, während in Vögeln und Fischen eine bessere Datengrundlage existiert. (PLOETZ, et al. 2015) nehmen an, dass 80 % des Plastiks im Meer vom Land stammt, und dass im Meer aufgrund mehrere hundert Jahre dauernder Zersetzzeiten derzeit die Plastikmenge weiter zunimmt. (HENGSTMANN, et al. 2018) quantifizierten Mikroplastik im Litoral von Rügen. Der Anteil pro kg Trockensediment betrug etwa 10 bis 40 Fragmente und 30 bis 80 Fasern, was für die Fragmente in einer ähnlichen Größenordnung liegt wie die in einer Probe vom Streckelsberg beobachteten Partikel, siehe oben. Zu betonen ist, dass in dieser Studie der Fokus nicht auf Plastikpartikeln lag und die Daten daher nicht vergleichbar mit publizierten Mikroplastik-Studien sind. Festzustellen ist, dass in keiner der Frühjahrsproben von 2017 Plastikpartikel zu beobachten waren. Die Aufnahme in biologisches Material, wie z.B. Muscheln, Tang oder Seegras, wurde hier nicht untersucht, jedoch waren Plastikverpackungen im Frühjahr 2017 gelegentlich in Tang-Anspülungen am Strandwall südöstlich Ahlbeck zu sehen. Hier wäre zu wünschen, dass solches Material möglichst rasch vom Ufer entfernt wird, um die Neubildung von Mikroplastik zu verringern.

Einen Eindruck von der Vielfalt der Komponenten und der Kornoberflächen sowie von Rundung und Sphärizität sowie Sortierung vermittelt [Abb. 5.12-4](#).

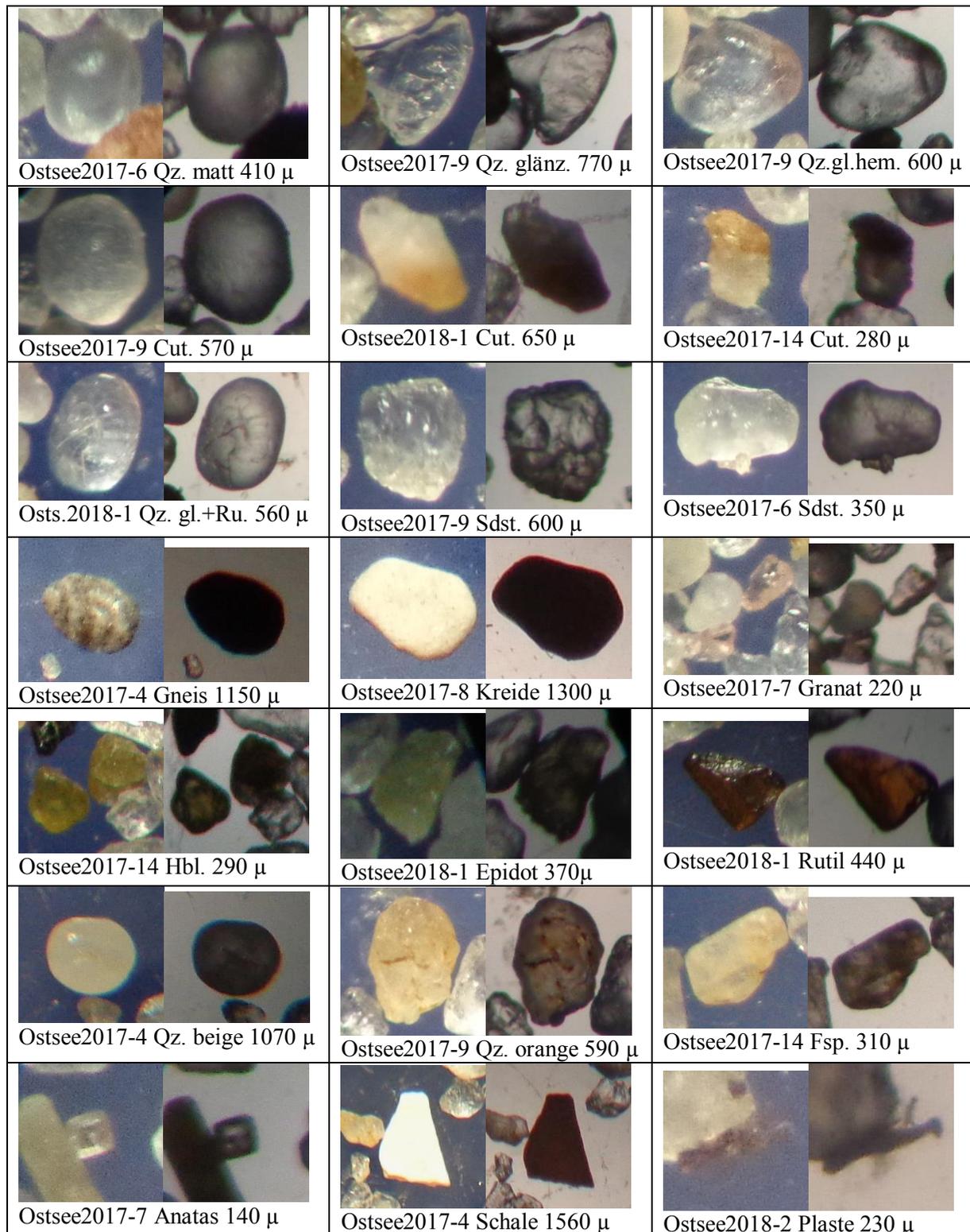


Abb. 5.12-4: Nichtmagnetische Fraktion unter dem Binokular mit Beispielen zu allen in dieser Arbeit erfaßten Komponenten. Angegeben ist der Probenname ohne Vorspann FM_ sowie der maximale Korndurchmesser in μm , bei zwei Körnern der des größeren Korns. Qz = Quarz, Cut = Kutane um Quarzkorn, glänz bzw. gl = glänzend, hem = Hämatit-Kutane, Ru = Rutil, Sdst = Sandstein, Hbl = Hornblende, beige = beiges Quarzkorn, orange = oranges Quarzkorn, Fsp = Feldspat.

Der Anteil der Lithoklasten sollte den Einfluß der Kliff-Abrasion widerspiegeln. In [Abb. 5.12-5](#) ist der Lithoklasten-Anteil der NMF dargestellt. Die Werte liegen im Mittel bei 9

Korn-%, mit einem erhöhten Wert von ca. 24 Korn-% in Probe FM_Ostsee2017-4 vom Strandwall bei Ahlbeck. Das nächstgelegene Kliff bei Bansin beginnt >2,1 km weiter nordwestlich. Entweder findet gelegentlich küstenparalleler Transport nach Südosten statt, bei Wind aus der Nord- oder Nordwestrichtung, oder Abrasion am Grund der Ostsee seawärts von Swinemünde setzt Lithoklasten aus lokal auftretenden Moränen frei, die bei Stürmen ans Ufer getragen werden. Darüberhinaus ist in [Abb. 5.12-5](#) kaum zu erkennen, dass der höchste Wert des Lithoklasten-Anteils vor dem Kliff bei Stubbenfelde auftritt, in der Probe FM_Ostsee2017-8 vom seawärtigen Abhang des Strandwalles neben einem Prielauslauf mit rund 37 Korn-% der NMF, etwa einen Meter entfernt von der Schwermineralseife von Probe FM_Ostsee2017-7 mit rund 3 Korn-%. Die Variation der Komponentengehalte variiert also kleinräumig. Ein Zusammenhang zwischen dem Schwermineral- und dem Lithoklasten-Gehalt ist nicht erkennbar. Der Gehalt an den hier untersuchten Komponenten wird also im Wesentlichen von der Strömungsdynamik und weniger von dem unmittelbar landwärts der Probenlokation befindlichen Liefergestein beeinflusst.

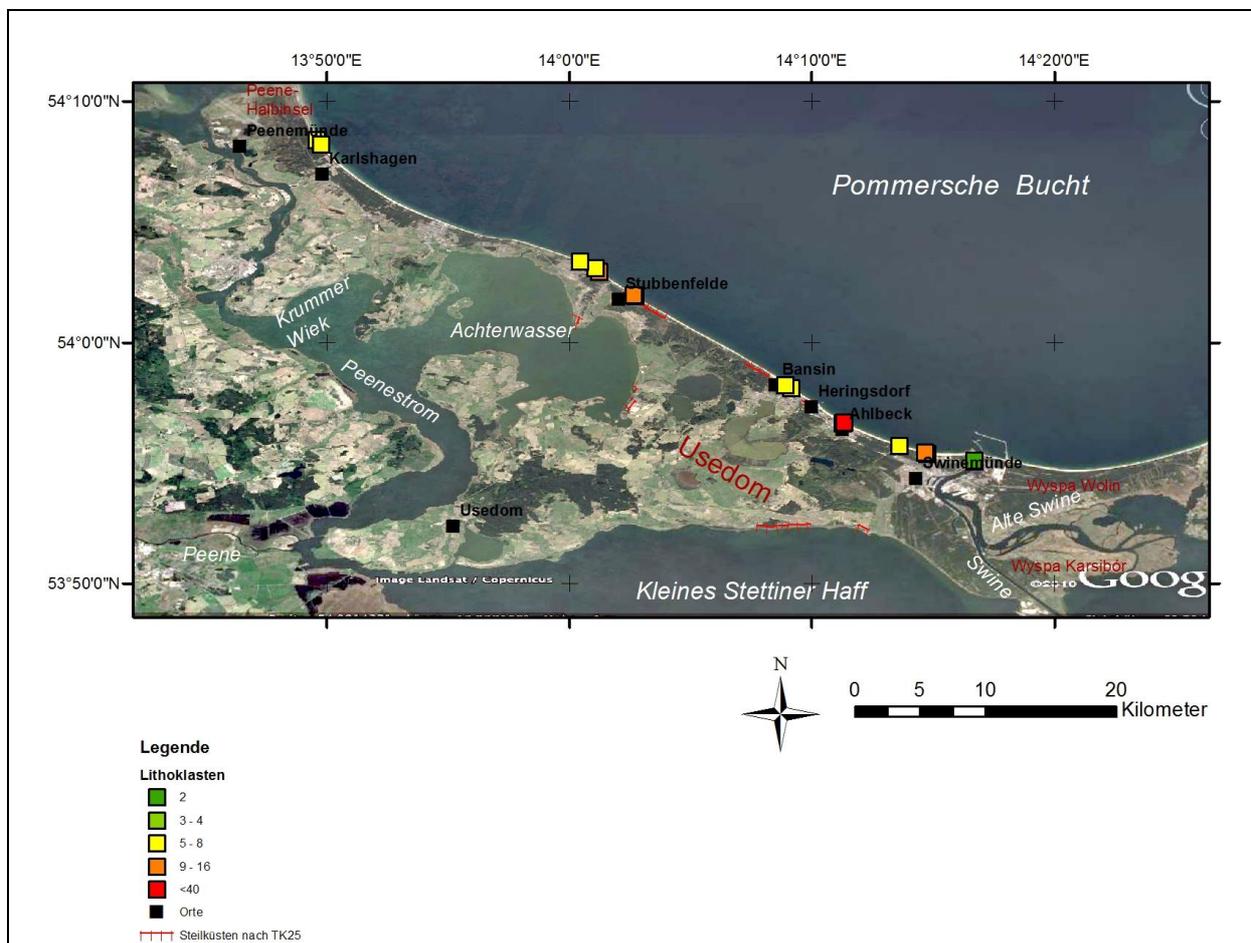


Abb.5.12-5: Steilküsten als potentielle Liefergebiete für Lithoklasten und Lithoklasten-Anteil in der nichtmagnetischen Fraktion; zur Kartengrundlage siehe [Abb. 5.12-1](#) mit Darstellung der MS. Zu beachten ist, dass der höchste Wert bei Stubbenfelde weitgehend überdeckt wird durch das Symbol der benachbarten Probe.

MF: Die meisten Partikel der ferrimagnetischen Fraktion bestehen aus oktaedrischen Kristallen unterschiedlich starker Verrundung, ganz überwiegend sind sie kantengerundet. Eine Übersicht zeigt [Abb. 5.12-6](#) links oben. Hier handelt es sich nach Kristallform und Magnetismus entweder um Magnetite oder um Titanomagnetite. Einige Körner zeigen „rostige“ Krustenbereiche durch Oxidationsprozesse, insbesondere tritt dies in Probe

FM_Ostsee2018-2 häufiger auf. Als weiteres schwarzes Schwermineral wurde selten Hornblende, teilweise mit verwachsenen kleineren hellen Mineralen, beobachtet. Diese Körner wurden bei weiteren Betrachtungen zu den Lithoklasten der MF gerechnet, um Korngrößenparameter für Magnetite gesondert berechnen zu können. In der MF finden sich als Lithoklasten am häufigsten Granitoide, sowie Gabbroide, seltener hellgraue Quarzite mit schwarzen Körnern, Grünschiefer, Gneise. In Probe FM_Sackkanal2017-1 gibt es mehrfach Aggregate von Quarzkörnern, die durch Kutane zusammengehalten werden, diese wurden wie auch bei der NMF, s.o., nicht in die Korngrößenbetrachtung aufgenommen.

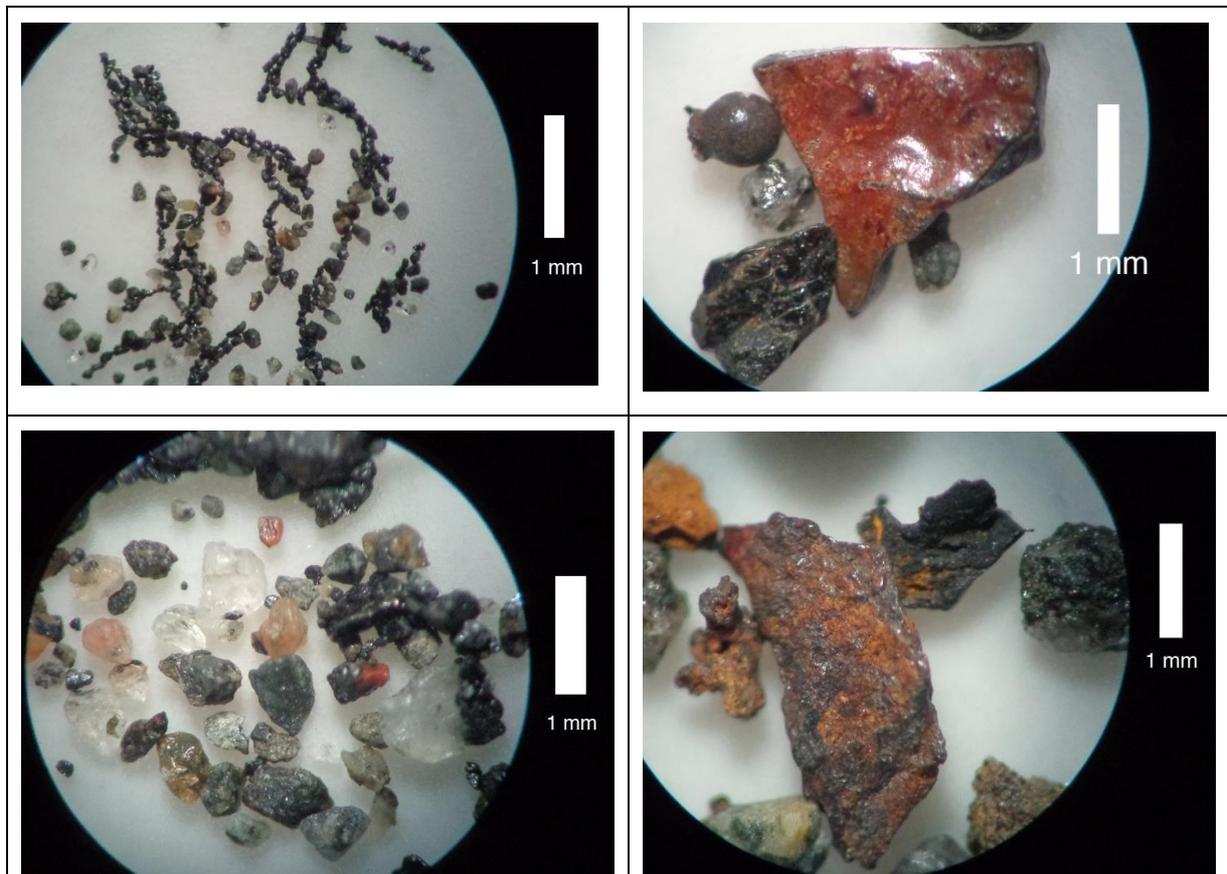


Abb. 5.12-6: Ausgewählte Fotos, die die Spannweite der ferrimagnetischen Fraktion in den Strandwall-Proben von Usedom aufzeigen. Links oben geogene Magnetit- oder Titanomagnetit-Kristalle der Probe FM_Ostsee2017-12, Strandwall nördlich Karlshagen, einige helle und durchscheinende Gesteinsbruchstücke enthalten nur jeweils einen untergeordneten Anteil an Erz, die Aneinanderkettung zeigt geht auf die noch stabile Magnetisierung durch den zum Extrahieren verwendeten Permanentmagneten zurück; rechts oben plattige Metallbruchstücke in Probe FM_Ostsee2017-4, Strandwall Ahlbeck, oberflächlich durch Rostanflug z.T. rötlich gefärbt, sowie weiter links unten ein Mineral mit mehreren Spaltbarkeiten, die sich z.T. unter etwa 120 ° schneiden, ein Fe-reicher Amphibol, sowie mittig links ein Kügelchen, siehe Textabschnitt weiter unten; links unten in Bildmitte und darunter grünlich-graue Siltstein-Lithoklasten, kaum gerundet, der Probe FM_Ostsee2017-9, Strandwall vor dem Kliff von Stubbenfelde; unten rechts ein weiteres Metallfragment mit Rostansatz, Probe FM_Ostsee2017-8, ebenfalls von Stubbenfelde.

In der MF von drei Proben treten neben diesen geogenen Komponenten auch einzelne Metallfragmente auf, teilweise stahlgrau bis rötlichgrau, teilweise mit roten Überzügen, siehe [Abb. 5.12-6](#) rechts oben: in Probe FM_Ostsee2017-4, Strandwall Ahlbeck, FM_Ostsee2017-8, Strandwall bei Stubbenfelde, und FM_Swine2017-2, Weißdüne an der Mündung der Swine. In Proben der vordersten Dünenkette und des Strandwalls nördlich Karlshagen, östlich

des Peenemünder Hakens, finden sich keine derartigen Objekte in der MF, so dass ein Einfluß von den Munitionsresten auf der Halbinsel um Peenemünde zumindest in den vorliegenden Proben nicht nachweisbar und aufgrund der hier überwiegend nach NW-gerichteten Meeresströmung, s.o., auch nicht zu vermuten ist. Außerdem finden sich in der MF der Probe FM_Swine2017-2, äolischer Sand am Westufer der Swine, insgesamt vier schwarze, stark Licht reflektierende, ferrimagnetische Kügelchen, sogenannte „magnetic spherules“. Ihre Durchmesser liegen zwischen 140 und 185 µm, siehe [Abb. 5.12-6](#) oben rechts und [Abb. 5.12-7](#). Damit fallen diese Kügelchen nicht unter die gesundheitlich besonders problematischen PM10, Staubpartikel mit einem Durchmesser < 10 µm, siehe z.B. den Abschnitt „Emission von Feinstaub der Partikelgröße PM10“ bei Informationen des Umweltbundesamtes, online abrufbar unter dem Link <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschaedstoff-emissionen-in-deutschland/emission-von-feinstaub-der-partikelgroesse-pm10>.

Kugelförmige Magnetite und Hämatite werden auf der Erde selbst nicht natürlich gebildet. Als wahrscheinlicher Ursprung gilt

1. die Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl in Kraftwerken, siehe z.B. (THOMPSON & OLDFIELD 1986), in Müllverbrennungsanlagen (JORDANOVA, et al. 2006) oder bei der Herstellung metallurgischer Produkte (HELLER, et al. 1998). Die Durchmesser solcher Partikel liegen meist zwischen 2 und 200 µm. Das Eisen stammt dabei geogen z.B. aus den Kohle bzw. Öl enthaltenen Träger- bzw. Nebengesteinen oder aus anthropogenem Stahlschrott oder z.B. verbrannten Blechdosen. Bei der Verbrennung herrscht offenbar kein großer Sauerstoff-Überschuß vor, so dass sich Magnetite, die zwei- und dreiwertiges Fe enthalten, bilden können.
2. kosmischer Partikelregen, so fanden z.B. (GRIGORESCU & BALTRES 1981) in fossilen, kreidezeitlichen Schwarzschiefern magnetische Kügelchen mit Durchmessern von 140 bis 300 µm Durchmesser, als Quelle hierfür kommen Fe-Meteoriten bzw. deren Bruchstücke in Frage.

Auch in der MF der Probe FM_Ostsee2017-4 vom grobsandigen Strandwall in Ahlbeck tritt ein kugeliges, dunkelgraues Gebilde von 580 µm Durchmesser, gemessen ohne den kurzen Fortsatz, auf, das in [Abb. 5.12-7](#) zu sehen ist. Darüberhinaus konnte in Probe FM_Ostsee2017-3, Dünenfuß bei Ahlbeck, - allerdings erst unter dem Digitalmikroskop - eine schwarze glänzende Spherule von 35 µm Durchmesser beobachtet werden. Da sich auf Usedom in keinen anderen Proben magnetische Spherulen fanden, ist es relativ plausibel anzunehmen, dass der nach W gewehte Schornsteinrauch der Frachter im Hafen von Swinemünde die Ursache für das Auftreten der Kügelchen sein dürfte, alternativ käme von der Swine-Mündung nordwestgerichteter uferparalleler Transport im Litoral in Frage.

Eine dunkelgraue Schlacke wurde in Probe FM_Ostsee2017-14 gefunden, bei der es sich um einen anthropogenen Partikel handeln dürfte. Damit sind in immerhin 5 von 17 Proben - drei Mittelsand Proben von Dünen und zwei Grobsand-Proben vom Strandwall - einzelne bis wenige ferrimagnetische anthropogene Partikel vorhanden; vier dieser Proben liegen im Bereich Ahlbeck-Swinemünde, eine am Kliff bei Stubbenfelde. Der höchste Anteil an der MF liegt mit 10 Korn-% in Probe FM_Swine2017-2, Düne am Swine-Ufer.

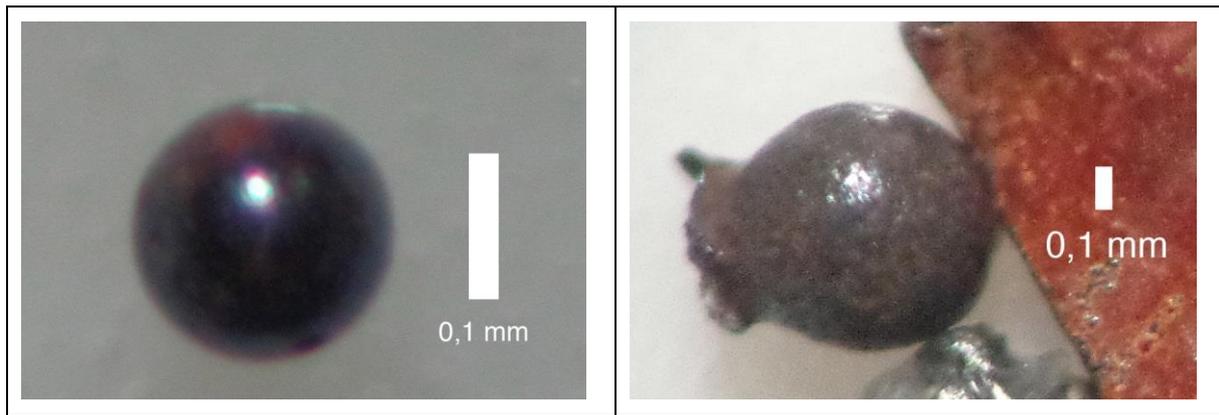


Abb. 5.12-7: Magnetische Kügelchen unter dem Binokular. Links schwarzes Kügelchen mit glänzender Oberfläche in Probe FM_Swine2017-2, Düne an der Swine-Mündung. Rechts dunkelgraues Kügelchen mit glänzender Oberfläche und Fortsatz in Probe FM_Ostsee2017-4, Strandwall Ahlbeck, Ausschnitt aus [Abb. 5.12-6](#) oben rechts.

Darüberhinaus treten in der MF vom Strandwall vereinzelt nicht schwarze Körner auf, vermutlich Rutil in Probe FM_Ostsee2017-7, Steilküste bei Stubbenfelde, sowie Gesteinsbruchstücke, Lithoklasten, mit >10 Korn-% der ferrimagnetischen Fraktion in den Proben FM_Ostsee2017-11 zwischen Ahlbeck und Swinemünde, -4, Ahlbeck, -9 Steilküste bei Stubbenfelde. Zu diesen Lithoklasten zählt grünlich-grauer Siltstein, der offenbar Magnetit-reich ist, außerdem hellgrauer Quarzit, Gabbro, vermutlich Grünschiefer-fazielle Metamorphite und relativ häufig graue bis rötliche Granite. Vergleicht man die Dimensionen der einzeln vorliegenden Magnetit-Körner mit denjenigen in Lithoklasten, so sind erstere sehr wahrscheinlich aus mittel- bis grobkörnigen Graniten und Gabbros herzuleiten, in den Quarziten und grünschieferfaziellen Metamorphiten treten sie dagegen nur in sehr viel kleineren Korngrößen, d.h. <20 μm , auf. So kleine ferrimagnetische Einzelkörner sind im Litoral nach den Binokular- und Digitalmikroskop-Untersuchungen nicht präsent, dort liegen die kleinsten, jedoch seltenen, Körner bei etwa 40 μm .

Zwei Lokationen mit >20 Korn-% Lithoklasten-Anteil in der MF liegen zwischen Ahlbeck und Swinemünde. Diese Lithoklasten können bei überwiegend nordwestgerichteter küstenparalleler Strömung im Westteil der Pommerschen Bucht (HARFF, et al. 2004) nicht von einem auf Usedom gelegenen Steilufer stammen. Im Vorstrandbereich vor Südost-Usedom könnte Moränenmaterial aufgeschlossen sein und bei starkem Seegang erodiert werden, wofür jedoch die vorliegenden Kornverteilungs-Karten von (HARFF, et al. 2004) und (BOBERTZ & HARFF 2004) keine Anhaltspunkte liefern. Alternative Erklärung wäre, dass bei starkem NW-Wind ein Transport vom nächstgelegenen aktiven Kliff bei Bansin, siehe [Abb. 5.12-5](#), über eine horizontale Distanz von mindestens 5 km für Probe FM_Ostsee2017-4 und von mindestens 8 km für Probe FM_Ostsee2017-11 in südöstlicher Richtung erfolgte.

Zur weiteren Material-Charakterisierung wurden zwei Proben aus dem Litoral im Bereich Streckelsberg und nördlich davon im Scheidetrichter mit Natrium-Polywolframat in Schwer- und Leichtminerale getrennt, siehe (BOENIGK 1983). Körner beider Fraktionen wurden zur Dünnschliff-Herstellung in Araldit 2020, HUNTSMAN, Brechungsindex 1.553, eingebettet, als Schleifmittel wurde Aluminiumoxid 9 bzw. 3 μ eingesetzt. Dünnschliffe wurden unter dem Polarisationsmikroskop, ZEISS Axioskop, bei 50x, 100x und 200x Vergrößerung durchgemustert. Die Ergebnisse sind in [Tab. 5.12-2](#) aufgeführt und wurden bereits teilweise in der Vorstellung der Komponenten oben aufgeführt. Der Anteil von Erz und Granat an der Schwermineralfraktion liegt in der Vordüne deutlich höher als am Strandwall. Würde man den Anteil der MF an der Schwermineralfraktion von 10 Gew.-% auch für die hier nicht näher untersuchte Schwermineralseife FM_Ostsee2017-7 ansetzen, so ergäbe dies einen geschätzten

Schwermineralegehalt von ca. 8 Gew.-% der Gesamtfraktion. Aus der Zählung der nicht-opaken Schwerminerale in der NMF unter dem Bino resultiert ein beobachteter Anteil von ca. 6 Korn-% der NMF für diese Probe, was zumindest ein recht ähnlicher Wert wäre.

Tabelle 5.12-2: Halbquantitativ bestimmtes Spektrum der Körner von zwei Proben. NMF Nichtmagnetische Fraktion, MF Ferrimagnetische Fraktion, LM Leichtminerale, SM Schwerminerale. Median NMF und MF aus maximalen Korndurchmessern bestimmt, Median LM und SM aus maximalen Schnittdurchmessern *1,273 nach (WIKSELL 1925), (FARR, et al. 2017), bestimmt. # = Spaltbarkeit, TC = Curie-Temperatur.

Probe	Gesamtprobe	Leichtminerale NMF [Korn-%]	Schwerminerale NMF [Korn-%]
FM_Ostsee2018-1 am Streckelsberg Fuß Vordüne Mittelsand	NMF 99,97 Gew.-% MF 0,03 Gew.-% Median NMF 442 µ Median MF 462 µ Median LM 429 µ Median SM 237 µ LM 99,7 Gew.-% SM 0,3 Gew.-% MF/SM 0,1 TC MF 564 °C	85 Korn-% Quarz, mono- und polykrist. 7 Korn-% Feldspat 7 % Korn-Lithoklasten aus Mikrit, Siltstein, Sandstein z.T. vererzt, Quarz-Feldspat-Glimmer	<u>35</u> Korn-% opake Körner <u>19</u> Korn-% Granat, ±farblos <u>15</u> Korn-% farblose Min., 1 # <u>8</u> Korn-% grüne Hornblende <u>7</u> Korn-% braune Hornblende <u>4</u> Korn-% Vulkanite z.T. opak <u>3</u> Korn-% Hornbl.-Fsp.-Magmatit <u>2</u> Korn-% übrige Lithoklasten aus Grünschiefer, Gneis, Vulkanit, Grauwacke <u>≤1</u> % Sandst. Braun vererzt <u><1</u> % Rutil
FM_Ostsee2018-2 bei Koserow Strandwall Mittelsand	NMF 99,9 Gew.-% MF 0,1 Gew.-% Median NMF 395 µ Median MF 238 µ Median LM 370 µ Median SM 444 µ LM-Anteil 99 Gew.-% SM-Anteil 1 Gew.-% MF/SM 0,1 TC MF 564 °C	89 Korn-% Quarz, mono- und polykrist. 4 Korn-% Feldspat 7 Korn-% Lithoklasten aus Mikrit, Siltstein, Sandstein z.T. vererzt, Quarz-Feldspat-Glimmer, Amphibol-Feldspat	<u>20</u> Korn-% grüne Hornblende <u>20</u> Korn-% übrige Lithoklasten aus Grünschiefer, Gneis, Vulkanit, Grauwacke <u>15</u> Korn-% farblose Min., 1 # <u>13</u> Korn-% braune Hornblende <u>12</u> Korn-% Hornbl.-Fsp.-Magmatit <u>6</u> Korn-% Granat, ±farblos <u>4</u> Korn-% Erz-umhüllte Körner <u>4</u> Korn-% Vulkanite z.T. opak <u>3</u> Korn-% Sandst. rotbraun vererzt <u>2</u> Korn-% Rutil

Zum umweltmagnetischen Charakterisieren der ferrimagnetischen Fraktion wurde von 11 Proben mit Rohwerten der $MS > 10 \cdot 10^{-6}$ [cgs] die Curie-Temperatur, TC, der MF bestimmt, ausgewählte Beispiele zeigt [Abb. 5.12-8](#). Die TC markiert die Grenze zwischen ferrimagnetischem Verhalten bei niedrigeren und paramagnetischem Verhalten bei höheren Temperaturen (EVANS & HELLER 2003). Die Messung der TC erfolgte in Luft mit einem Bartington Susceptibility-Temperature-System, MS2W+MS2WF+MS2WFP, siehe <http://www.bartington.com/Literaturepdf/Operation%20Manuals/MS2%20OM0408.pdf>. Die Bestimmung der TC erfolgte nach der Wendepunkt-, der Tangentenmitte- und der 1/MS-Methode (FABIAN, et al. 2013). Die nach der ersten Methode bestimmte TC liegt zwischen

562 und 566 °C; nur Probe FM_Ostsee2017-8, die ein Blechstück enthält, hat eine TC von 582 °C; mit der zweiten Methode ergeben sich 561 bis 567 bzw. 581 °C, für die dritte 552 bis 564 °C mit einem Ausreißer von 622 °C für Probe FM_Swine2017-2, mit dem höchsten Gehalt an Metallfragmenten. Die nach der ersten Methode ermittelte TC ist typisch für Titanomagnetit, abgesehen von der Blech-führenden Probe. Für die Zusammensetzung der Titanomagnetite kann aus dem Diagramm TC gegen Molfraktion Ulvöspinell (EVANS & HELLER 2003) abgelesen werden: $\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ mit $0 \leq x \leq 1$, für die untersuchten Proben ergibt sich $x = 0,032$ bis $0,037$. Die Zusammensetzung der Titanomagnetite ist offensichtlich sehr einheitlich.

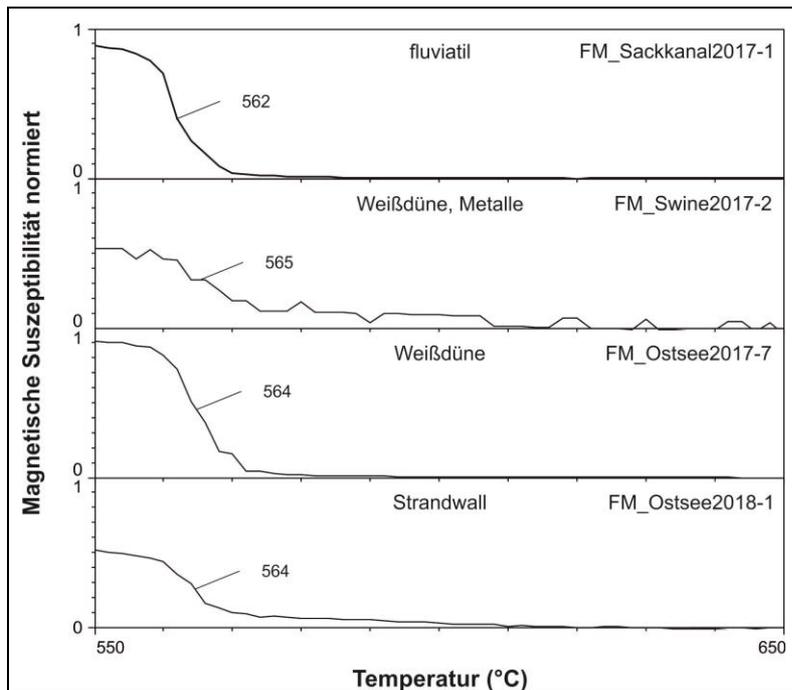


Abb. 5.12-8: Messungen der magnetischen Suszeptibilität gegen Temperatur zur Bestimmung der Curie-Temperatur TC. Die Kurven der Suszeptibilität sind auf den jeweils höchsten Wert normiert und die nach der Wendpunkt-Methode ermittelte TC ist angegeben.

[Zurück zur Übersicht](#)

5.12.6. Korngrößenverteilung und –form der magnetischen und unmagnetischen Fraktionen

Letztlich bildet jedes Einzelkorn eine Ereignis-Dokumentation. Korngrößenverteilung und Kornform sandiger Ablagerungen spiegeln sowohl Prozesse des Sedimenttransports als auch die Zusammensetzung der Liefergesteine wider (TUCKER 1985), (STOW 2008), sie sind daher nicht einfach interpretierbar und ihre geologische Vorgeschichte ist teilweise komplex. So können Quarzkörner mehrere Erosions-Ablagerungs-Zyklen durchlaufen (SIEVER 1989) und dabei zunehmend runder und kugelig werden. Diese Eigenschaften können zumindest teilweise aus den Liefergesteinen übernommen werden. Sobald sich Korngrößen und –form in einer Probe für die NMF und die MF deutlich unterscheiden, deutet dies auf unterschiedliche Quellen oder/und unterschiedlich lange Transportwege hin. Insbesondere anthropogen eingetragene Metalle sollten sich von den nicht magnetischen Körnern deutlich unterscheiden im Hinblick auf Korngröße und –form.

Unter dem Binokular erfolgte bei 10,5x oder 45x Vergrößerung die Ausmessung bzw. Schätzung von Kornparametern der NMF und der MF. In digitalen Fotos erfaßt wurden dabei mindestens 300 Körner in mindestens je drei, im Mittel 6, Auflicht- und kombiniert Auf- und Durchlichtaufnahmen. Der Vergleich von Auf- und Durchlichtfotos bietet die Möglichkeit zu

entscheiden, ob eventuell mehrere Körner übereinander liegen und diese damit für die Korngrößenbestimmung nicht verwendet werden sollten. Letztlich ist die Zuordnung jedes Kornes zu einem Typ und die Deutung, ob zwei nahe beieinander liegende Körner sich überlappen, ob ein Korn mit einspringenden Winkeln tatsächlich zwei übereinander liegende und damit zu ignorierende Körner darstellt oder aber ob zwei miteinander verwachsene einen einzigen Lithoklasten bilden, eine auf Erfahrung basierte Abwägung, die nur mit hohem Aufwand automatisierbar sein dürfte. Unter dem Digitalmikroskop erfolgte für die MF eine individuelle Fokussierung auf das Korn, was gegenüber einer mittleren Fokusebene bei automatischer Auswertung mehr Präzision bietet. Die programmtechnische Unterscheidung von z.B. Granit und Gneis würde die Einbeziehung des Korngefüges erfordern, und Kratzer auf der verwendeten Glasplatte für Durchlichtbeleuchtung würden zu Fehlern bei der Datenerhebung führen. Es gibt aber natürlich auch viele Vorteile der automatisierten Erfassung, so etwa höhere Effektivität und statistische Belastbarkeit.

Zur Ablesegenauigkeit der Korngrößenbestimmungen kann Folgendes festgestellt werden. Die Pixelauflösung der Kamera betrug für 10,5x Vergrößerung 7,5 µm/Pixel bzw. bei 45x Vergrößerung 1,6 µm/Pixel. Zunächst wurden Körner ohne Bildschirmzoom mit dem Mac-Programm Vorschau mit 2x software-Zoom ausgewertet. Dabei wurde auf volle Millimeter Bildschirmmaß auf- oder abgerundet. Als Maß für den Rundungsfehler bei der Korngrößenbestimmung unter dem Binokular kann dabei angenommen werden: bei 10,5x Vergrößerung, angewendet bei den Proben FM_Ostsee2017-4, Median 830 µm, und -8, Median 1330 µm, entspricht ein Millimeter auf dem Bildschirm etwa 50 µm, bei 45x Vergrößerung für alle übrigen Proben betrug dieser Wert 11,5 µm. Mehrfachmessungen an Einzelkörnern unter dem Keyence Digitalmikroskop bei 200x Vergrößerung ergaben bei einer Probe mit einem Median von 360 µm einen Streubereich von etwa 5 µm um einen Mittelwert.

Um Fehler abzuschätzen wurden drei Binokular-Fotos von Probe FM_Ostsee2017-7 im Abstand von mehreren Wochen erneut ausgezählt. Neben Unterschieden bei der lithologischen Ansprache aufgrund größerer Erfahrung wurde beim zweiten Zählen vorsichtiger bei der Kornauswahl vorgegangen, mit nur noch 73 % der vorher verwendeten Kornanzahl. Durch den Vergleich ergeben sich mittlere Abweichungen: beim Median <10 µm, bei der Rundung <0,42, bei der Sortierung <0,07 in phi-Einheiten. In der ersten Phase wurden >200 Körner und in der zweiten weitere Körner bis zu einer Gesamtanzahl >300 gezählt und bei auffälligen Änderungen der Zusammensetzung die vorher gezählten Körner überprüft und ggfs. neu zugeordnet. Nicht quantifizierbare Fehler entstehen durch Bruchstücke, die an größeren Körnern aufgrund des eingetrockneten Salzes aus dem Porenwasser anhaften, sofern sie auf den zu messenden Kornachsen lagen wurden sie nicht mitgemessen. Interessanterweise sind die zunächst unter dem Binokular vorgenommenen Schätzungen des Medians an 14 Proben mit danach aus maximalen Korndurchmessern berechnetem Median positiv linear korreliert mit R^2 0,979, für die Sortierung liegt R^2 bei 0,59, für die Rundung bei 0,14 und für die Sphärizität bei 0,06. Für eine erste Einordnung der Strömungsdynamik bietet eine Schätzung nur der Mediane aus Binokular-Fotos mit etwas Erfahrung offensichtlich eine verlässliche Grundlage, während für Rundung und Sphärizität Einzelkornbestimmungen eindeutig genauere Daten liefern! Außerdem wurden im Abstand von etwa einem halben Jahr zunächst an 14 Proben nur die maximalen Korndurchmesser von je >200 Körnern bestimmt und danach die maximalen und minimalen Korndurchmesser von >300 Körnern. Die aus den maximalen Korndurchmessern berechneten Mediane beider Messreihen sind mit R^2 0,996 positiv linear korreliert, also sehr gut reproduzierbar.

Folgende kornspezifische Parameter wurden für die NMF unter dem Binokular und für die MF unter Binokular bzw. dem Keyence Digitalmikroskop bestimmt:

- für die NMF: Median geschätzt, Mittelwert Einzelkörner, Median Einzelkörner, Sortierung Einzelkörner, Sphärizität geschätzt, Sphärizität Einzelkörner mit Mittelwert und Standardabweichung, Rundung geschätzt, Rundung Einzelkörner mit Mittelwert und Standardabweichung, die Schiefe wurde aus max. Durchmessern von Einzelkörnern berechnet.
- für die MF: Median geschätzt, Mittelwert Einzelkörner, Median Einzelkörner und Einzelkörner ohne Lithoklasten, Sortierung geschätzt, Sortierung Einzelkörner, Sphärizität geschätzt, Rundung geschätzt, Schiefe berechnet aus max. Durchmessern der Einzelkörner.

Für die MF lassen sich aufgrund der dunklen Färbung unter dem Binokular die Korngrenzen für ein Ausmessen der längsten und der kürzesten Kornachse nicht bei allen Körnern genau genug bestimmen, insbesondere wegen der „Kornketten“ infolge der magnetischen Anziehungskräfte. Hier wurden daher unter dem Binokular Kornparameter nur geschätzt und unter dem Digitalmikroskop nur die maximalen Korndurchmesser ausgemessen.

Der Median ist grundsätzlich ein Maß für die Transportenergie in Wasser oder Luft unmittelbar vor der Ablagerung der Körner, siehe z.B. HJULSTRØM Kurve nach SUNDBORG in (SEIBOLD & BERGER 1996), sowie für die im Liefergebiet verfügbaren Korngrößen..

Nach dem Median handelt es sich bei den meisten Proben der NMF um Mittelsande, die nach dem HJULSTRØM-Diagramm (TUCKER 1985) zu den am leichtesten transportierbaren Körnern zählen. Nur die Proben FM_Ostsee2017-4, Strandwall Ahlbeck, und -8, Strandwall vor dem Kliff bei Stubbenfelde, stellen Grobsande dar; sie unterscheiden sich in vielen weiteren Parametern von den Mittelsanden und sind deshalb in [Tab. 5.12-1](#) separat erfaßt. Der Median der NMF in den Weißdünen liegt mit 230 bis 370 µm etwas höher als der für Dünen typische Medianbereich von 180 bis 250 µm (LANCASTER 1993), was durch kurze Transportdistanz vom Ufer zu begründen ist. Nur bei starken Stürmen dürfte es lokal und kurzzeitig zur Auswehung von Material aus bewuchsarmer Dünen kommen. Die Variabilität der Mediane der NMF am Strandwall ist mit 190 bis 1220 µm deutlich größer, da 1. vor allem in Abhängigkeit vom Wind die küstennahen Strömungen variieren, 2. der Gezeitenwechsel zusammen mit dem existierenden Mikrorelief die Strömungsgeschwindigkeit im unmittelbaren Uferbereich beeinflußt, und 3. auf dem Strandwall durch den Schwapp der Wellen bei Flut bevorzugt die größeren Körner liegen bleiben, während feinere weitertransportiert werden. Daher können von Tag zu Tag an der selben Lokation des Strandwalls grobe und feine Sedimente an der Oberfläche liegen, sofern entsprechende Korngrößen im Gesamtspektrum verfügbar sind. Der Mittelwert für Mediane aller hier untersuchten 17 Proben liegt für die NMF bei 381 µm und für die MF mit 316 µm kaum niedriger.

Die Oder-Mündung in das Stettiner Haff ist etwa 30,4 km von der landwärtigen Mündung der alten Swine und etwa 28,3 km von dem landwärtigen Ende des kanalisierten Südteils der Swine entfernt, ausgemessen mit Google Earth. Wie schnell würde die am Ufer in Probe FM_Swine2017-1 vorgefundene kleinste Korngröße von 93 µm für die NMF bzw. 103 µm für die MF sedimentieren? Nach dem STOKES'schen Gesetz, siehe z.B. (SEIBOLD & BERGER 1996), beträgt für Quarzkörner der Fraktionen Silt und Feinsand die Sinkgeschwindigkeit [mm/s] etwa das Quadrat des Korndurchmessers [mm]. Nach der STOKES'schen Gleichung, wie sie etwa https://de.wikipedia.org/wiki/Stokesche_Gleichung aufführt, ergibt sich für ein 100 µm großes Quarz-Korn in stehendem Süßwasser bei 20°C eine Sinkgeschwindigkeit von 5 mm/s. Bei einer mittleren Wassertiefe des Stettiner Haffs von 4 m, siehe http://www.ikzm-oder.de/steckbrief_bathymetrie.html, müßte das Korn nach etwa 13 Minuten und in der ausgebagerten Fahrinne mit etwa 12 m Tiefe nach 40 Minuten am Grund ankommen. Ein seewärtiger Transport von Sandkörnern im Kilometerbereich kann nur bei turbulenten Strömungen erfolgen, die auftreten wenn die Oder Hochwasser führt, oder bei starkem Wind,

siehe (TAJAKUSUMA 2004), bzw. durch Gezeitenströmungen im Flachwasserbereich durch Wellenagitation oder bei Aufwirbelung durch Schiffsschrauben.

Offshore liegen die Mediane der Korngrößen nach (HARFF, et al. 2004) bei etwa 150 bis 500 µm, mit gröberen Korngrößen vor Zinnowitz und feineren in der Peene-Mündung und östlich von Peenemünde sowie seewärts zwischen Bansin und Ahlbeck. Damit stimmen die im Litoral Usedom bestimmten Korngrößen recht gut überein mit ufernahen Bereichen der südwestlichen Pommerschen Bucht.

Die Sortierung eines Lockersediments, d.h. die Breite der Streuung um einen Mittelwert, hängt u.a. ab von der Stetigkeit der Strömungsgeschwindigkeit des Transportmediums, der Länge des Transportweges bzw. der Entfernung zum Liefergebiet, dem zur Verfügung stehenden Korngrößenspektrum, sowie unterschiedlichen Transportmedien, siehe u.a. (TUCKER 1985). Für die Sortierung werden folgende Klassen unterschieden (STOW 2008): <0,35 sehr gut, 0,35-0,5 gut, 0,5-0,7 mäßig, 0,7-2,0 schlecht, >2,0 sehr schlecht sortiert; dies wurde für die MF und NMF jeweils aus mehreren Binokular-Fotos für die entsprechende Fraktion insgesamt geschätzt; außerdem erfolgte für die NMF und MF eine Messung der längsten Kornachse, dies entspricht etwa einer Siebanalyse, siehe z.B. (SEIBOLD 1963), daraus wurde nach Umrechnung in phi-Einheiten die Standardabweichung als Sortierung berechnet.

Auf Usedom ist die Sortierung der NMF und MF recht ähnlich, sie liegt im mäßig bis gut sortierten Bereich. Die Sortierung der NMF der untersuchten äolischen Sande ist mit im Mittel 0,38 etwas besser als die der Mittel- und Grobsand-Proben vom Strandwall mit 0,47, letztere ohne Grobsande liegen bei 0,45. Die Sortierung der MF von Strandwall Proben ist im Mittel mit 0,50 ähnlich derjenigen der NMF. Die schlechteste Sortierung weisen die Proben FM_Ostsee2017-6, Strandwall zwischen Swinemünde und Ahlbeck, und FM_Ostsee2017-9, Strandwall vor dem Kliff bei Stubbenfelde mit Ausbiß tertiärer kohle-reicher Sedimente, auf. Grund der schlechten Sortierung könnte für die erstgenannte Probe die Mischung aus flußtransportiertem und litoralem Material sein, für die letztgenannte Probe die Mischung aus lokalem im Untergrund anstehendem Material des Kliffs mit durch küstenparallele Strömung transportiertem Material. Die Probe Swine2017-2 aus einer Düne am linken Ufer der Swine ist auffällig schlechter sortiert für die MF als für die NMF. In ersterer treten glänzende Metallpartikel auf, siehe oben. Diese Probe liegt gegenüber den Verladeanlagen für Kohle auf der Ostseite der Swine in Swinemünde, so dass hier Metallreste vom Schiffsverkehr zu erwarten sind, jedoch kann aufgrund der Nähe zu Forts auch alte Munition eine Rolle spielen.

Offshore ist die Sortierung nach (HARFF, et al. 2004) mit 0,7 bis 0,8 mäßig vor der Steilküste mit dem Streckelsberg bei Koserow und in der Peene-Mündung und ansonsten mit etwa 0,6 ebenfalls mäßig. Für die erstgenannte Lokation ist ein Eintrag von Schmelzwassersanden und -kiesen aus dem Kliff in das ufernahe Litoral wahrscheinlich. Für die Peene-Mündung kann man den Eintrag von etwas größerem siliziklastischen Material aus dem Peenestrom in die ufernahen Meeresbereiche folgern, da es sich hierbei nach (DUPHORN, et al. 1995) um eine ehemalige „Hauptabflußrinne glazialer Schmelzwässer“ handelt. Im Vergleich zu den flachmarinen Sedimenten nach obigem Zitat sind die litoralen Sedimente Usedom mit Werten von min. 0,26, FM_Ostsee2017-12 von der Peenehalbinsel, bis max. 0,65, FM_Ostsee2018-2, Vordüne am Streckelsberg, etwas besser sortiert. Dies liegt an Wellenenergie und stetigem Gezeitenwechsel, die zur Abfuhr der Feinfraktion im Litoral führen.

Die Kornrundung ist ein Maß für die Oberflächenrauigkeit der Körner. Nach vielen Korn-Korn-Zusammenstößen werden hervorspringende Ecken abplatzen. Bei hoher Strömungsenergie werden Körner zerbrechen entlang ihrer Spalt- oder Bruchflächen. Die Kornrundung wird um so höher, je länger der Transportweg ist (KOENSLER 1989). Für die Grade der Kornrundung gilt, mit einer gegenüber (PETTIJOHN, et al. 1973) ergänzten Klasse 6

nach (STOW 2008): 0 sehr angular, 1 angular, 2 subangular, 3 angerundet, 4 gerundet, 5 gut gerundet, 6 sehr gut gerundet; da nur sehr wenige Körner den Rundungsgrad 6 aufweisen, wären die Ergebnisse mit nach (PETTIJOHN, et al. 1973) bestimmten aber gut vergleichbar. Bei zerbrochenen Körnern wurde aus z.B. 5, überwiegende Partikeloberfläche, und 1, Bruchfläche, zu Rundungsgrad 3 gemittelt. Die Rundung wurde in Binokular-Fotos ausschließlich durch Vergleich mit Schätzbildern bestimmt, jeweils insgesamt für die NMF und für die MF, nur für erstere erfolgte außerdem ebenfalls im Vergleich mit den Schätzbildern eine Rundungsgrad-Bestimmung an mindestens 200 einzelnen Körnern. Ein Vergleich des Rundungsgrades geschätzt für die NMF und nach Einzelkorn-Bestimmung der NMF gemittelt ergab eine maximale Abweichung von 0,9, im Mittel sind die Werte mit 3,33, nach mindestens 3 Fotos für den Bildbereich geschätzt, zu 3,38, aus mindestens 200 Einzelkörnern bestimmt, aber sehr gut vergleichbar. Für die MF liegt der Wert der geschätzten Rundung ähnlich mit im Mittel 3,44. Probe FM_Ostsee2017-6, Strandwall nördlich Swinemünde, fällt auf durch relativ eckige ferrimagnetische Partikel. Die Verwendung von Schätzbildern ist sicher nicht besonders exakt aber relativ üblich und andere Methoden zur Beschreibung der Rundung wären mit erheblichem Aufwand verbunden; hier läge ein weiterer Vorteil der digitalen Bildanalyse.

Insgesamt ist die Rundung der NMF für Dünensande Usedom, aus Einzelkörnern bestimmt, mit im Mittel 3,38 ähnlich wie für die Proben vom Strandwall mit 3,32, eine Probe aus der Swine hat mit 2,47 eine deutlich schlechtere Rundung als die übrigen Proben. Damit ist ein bedeutender Eintrag von heutigen litoralen Sanden landwärts in die Swine sehr unwahrscheinlich! Nach (REINECK 1994) werden eckige Körner aus dem trockenen Strand leichter ausgeweht als runde, daher sollten äolische Ablagerungen bei kurzem Transportweg, wie z.B. zu den vordersten Küstendünen, eine schlechtere Rundung aufweisen als die Ablagerungen des Strandwalls. Tatsächlich ist aber für die untersuchten Proben kein signifikanter Unterschied zwischen der Rundung von Dünensanden und Sanden des Strandwalls feststellbar!

Die Kugeligkeit bzw. Sphärizität ist materialabhängig, d.h. Liefergesteine mit Bruchflächen, z.B. Schieferung, Foliation, Klüftung, und Minerale mit einer guten Spaltbarkeit werden eher plattige Körner bereitstellen, homogene Gesteine und Minerale mit drei guten Spaltbarkeiten, z.B. Calcit, oder keiner Spaltbarkeit, vor allem Quarz, resultieren nach Transport und Aufarbeitung in isometrischen, d.h. in allen Raumrichtungen ähnlich langen, stärker kugeligen Körnern (TUCKER 1985). Für die Sphärizität gilt nach (STOW 2008): 0,99-0,8 hohe, 0,79-0,6 mittlere, 0,59-0,4 geringe Sphärizität; dies wurde neben einer Schätzung der Binokular-Photos für die gesamte NMF bzw. MF zusätzlich für beide Fraktionen durch das Verhältnis der in der Ebene der Kornauflagefläche ausgemessenen sichtbaren kürzesten zu der sichtbaren längsten Achse der Körner bestimmt; dies entspricht nicht ganz der Methode der Beschreibung der Kornform mit längster, a, mittlerer, b und kürzester Achse, c, in einem orthogonalen Achsensystem nach (TUCKER 1985); da man aus Gründen einer stabilen Gleichgewichtslage aber annehmen kann, dass die Achse c eines Korns normalerweise senkrecht zur Kornauflagefläche orientiert ist und damit in der Regel die Achsen a und b auf Fotos parallel zur Auflagefläche orientiert sind, wird hier die Kugeligkeit näherungsweise als Verhältnis von b zu a berechnet. Geschätzte und berechnete Sphärizität betragen für die NMF im Mittel 0,72 bzw. 0,76, für die MF wurde die Sphärizität nur geschätzt mit im Mittel 0,69, sie liegt also nur etwas niedriger. Die Mittelwerte der Sphärizität der NMF für Dünensande und für den Strandwall sind mit jeweils 0,76 nahezu identisch. Dies deutet auf ein relativ einheitliches Ausgangsmaterial mit relativ geringem Anteil niedrigmetamorpher Gesteinsbruchstücke, wie z.B. Tonschiefer, und hohem Anteil hochgradiger Metamorphite, wie Gneise oder Granulite, und von Plutoniten oder reifen Sedimentiten hin.

Die Kornverteilungskurven sind bis auf eine Probe eingipflig bzw. unimodal, siehe [Abb. 5.12-9](#). Unimodale Kornverteilungskurven weisen auf nur ein dominierendes Transportregime bzw. eine dominierende Strömungsdynamik hin. Dies dürfte für Proben vom Strandwall springender Transport im Wassersaum auslaufender Wellen bzw. bei Dünen das „Hinaufspringen“ auf der Luvseite sein. Lediglich die Probe FM_Ostsee2017-4, Grobsand vom Strandwall bei Ahlbeck, zeigt eine zweigipflige Kornverteilungskurve. Hier waren offensichtlich springender Transport unter schießender Strömung der im Schwallbereich auflaufenden Wellen mit gröberer Fraktion einerseits und der rollende Transport der feineren Fraktion am nassen Strand andererseits von Bedeutung.

Als generelle Transportprozesse im seewärtigen Litoral Usedom's können angenommen werden: 1. fluviatiler Strömungstransport durch die Swine, 2. küstenparalleler Strömungstransport nach NW, 3. Brandungsaufarbeitung am nassen Strand, 4. äolischer Transport vom nassen Strand zur vordersten Dünenkette, 5. nach Abrasion von Dünen erneut die vorgenannten Prozesse. Weitere Kornverteilungskurven sind in [Abb 5.12-10](#) zu sehen.

Nach (TUCKER 1985) ist die Schiefe ein Maß für die Symmetrie der Korngrößenverteilung. Eine negative bzw. grobkörnige Schiefe bedeutet, dass der Mittelwert zu größeren Korngrößen verschoben ist gegenüber dem Median, es zeigt sich ein „Schwanz“ im groben Bereich. Strandsande besitzen meist eine negative Schiefe, da Kornfraktionen geringer Größe durch die permanente Wellenaktivität in Suspension gehalten und ausgewaschen werden, jedoch ein geringer Anteil an Grobfraction-Körnern als „Roller“ bewegt wird. Eine positive oder feinkörnige Schiefe bedeutet, dass der Mittelwert zu feineren Korngrößen verschoben ist gegenüber dem Median, der „Schwanz“ liegt im feinkörnigen Bereich. Hierzu gehören typischerweise distale Flusssande mit weitem Transportweg und Dünensande. In beiden Fällen erfolgt durch Korn-Korn-Kollisionen mit Abrieb die Bildung einer Silt- und/oder Tonfraktion, die Strömungsdynamik reicht aber nicht zum Transport größerer Körner, siehe z.B. auch eine Zusammenfassung von HEUBECK unter <https://wikis.fu-berlin.de/pages/viewpage.action?pageId=26313278>; zu Korngrößenparametern siehe z.B. auch http://www.sediment.uni-goettingen.de/staff/karius/skripte/Auswertung_KG.pdf. Plots für mittlere Korngröße bzw. Schiefe gegen Sortierung mit den Faziesbereichen fluviatil, Dünen, Strand für Lagunenablagerungen der östlichen Ostsee zeigt z.B. (KALINSKA-NARTISA, et al. 2018). Nach FOLK & WARD in (TUCKER 1985) wird der Schwankungsbereich $<-0,10$ als negative Schiefe, $-0,10$ bis $+0,10$ als beinahe symmetrische Verteilung, und $>+0,10$ als positive Schiefe bezeichnet.

In dieser Arbeit wurde die Schiefe nach graphischem Ablesen der Korngrößen bei Kornsummenwerten [mm], beginnend mit $10\ \mu\text{m}$ und endend bei $10\ \text{mm}$, von 5, 16, 50, 84 und 95 Korn-%, hiernach in phi-Einheiten umgerechnet, mit der Formel nach FOLK & WARD berechnet, was zu gleichen Ergebnissen führte wie Berechnungen nach PETTIJOHN oder WARREN in (TUCKER 1985). Da die Kornsummenkurven hierbei nach zunehmenden Millimetern logarithmisch aufgetragen wurden, mußten die Schiefewerte noch mit -1 multipliziert werden, da die sonst verwendeten Kornsummenkurven für phi-Einheiten die %-Werte von Grob zu Fein bestimmen, siehe (TUCKER 1985). Die Schiefe wurde für alle 17 Proben der NMF und für 6 Proben der MF, mit mindestens 200 ausgemessenen Körnern, bestimmt.

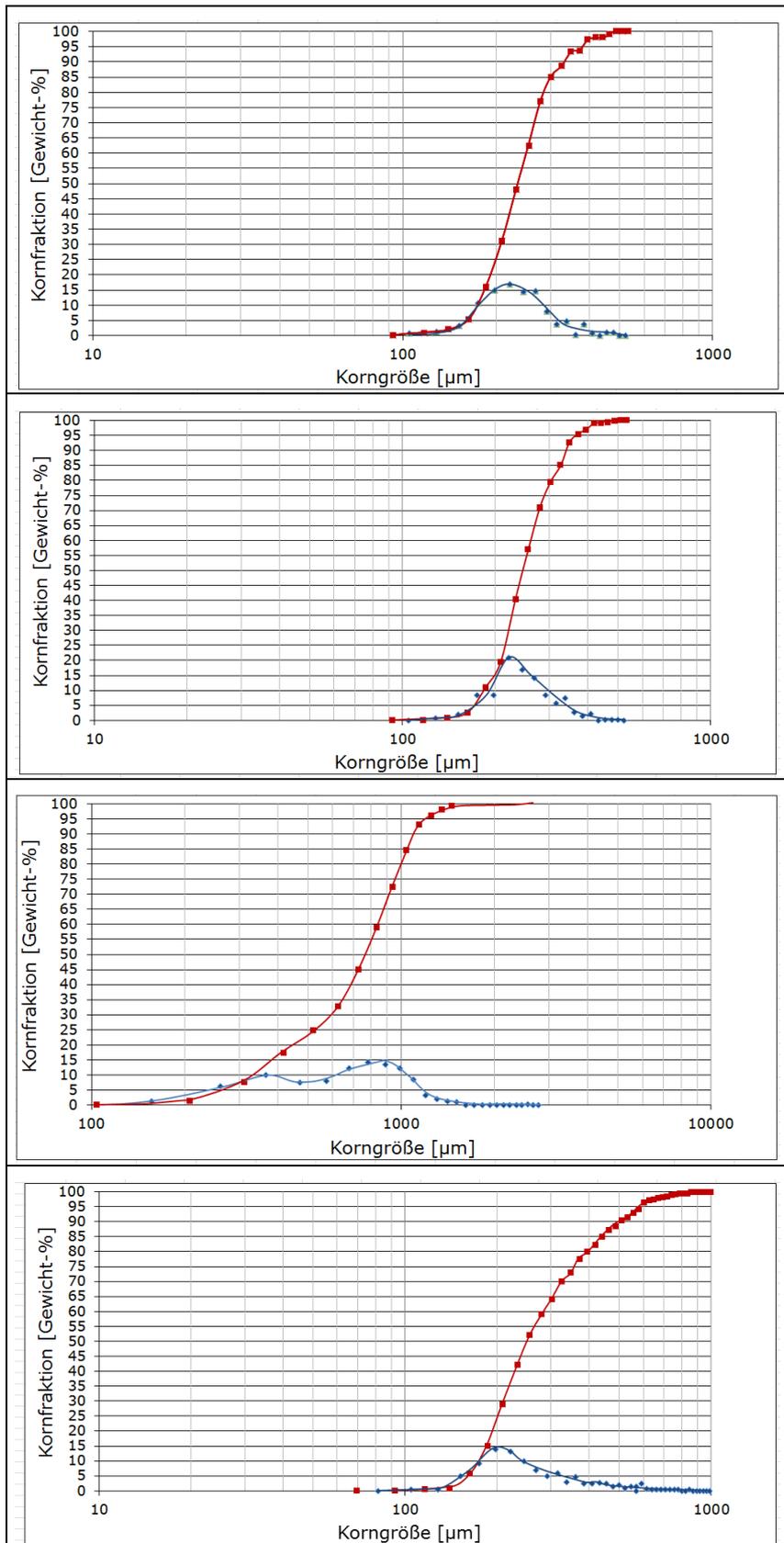


Abb. 5.12-9: Kornsummenkurven in rot und Kornverteilungskurven in blau der nichtmagnetischen Fraktion; oben FM_Ostsee2017-5, Weißdüne, symmetrische Verteilung, zweite von oben FM_Ostsee2017-11, Mittelsand vom Strandwall, ebenfalls symmetrische Verteilung, dritte von oben FM_Ostsee2017-4, Grobsand vom Strandwall mit zweigipfliger Verteilungskurve, unten FM_Ostsee2017-6, Mittelsand vom Strandwall, einzige NMF Probe

mit negativer bzw. grobkörniger Schiefe. Die Kornverteilungskurven wurden zwischen zwei im Abstand von 23 μm für Mittel- und 100 μm für Grobsande benachbarten Kornfraktionen manuell interpoliert.

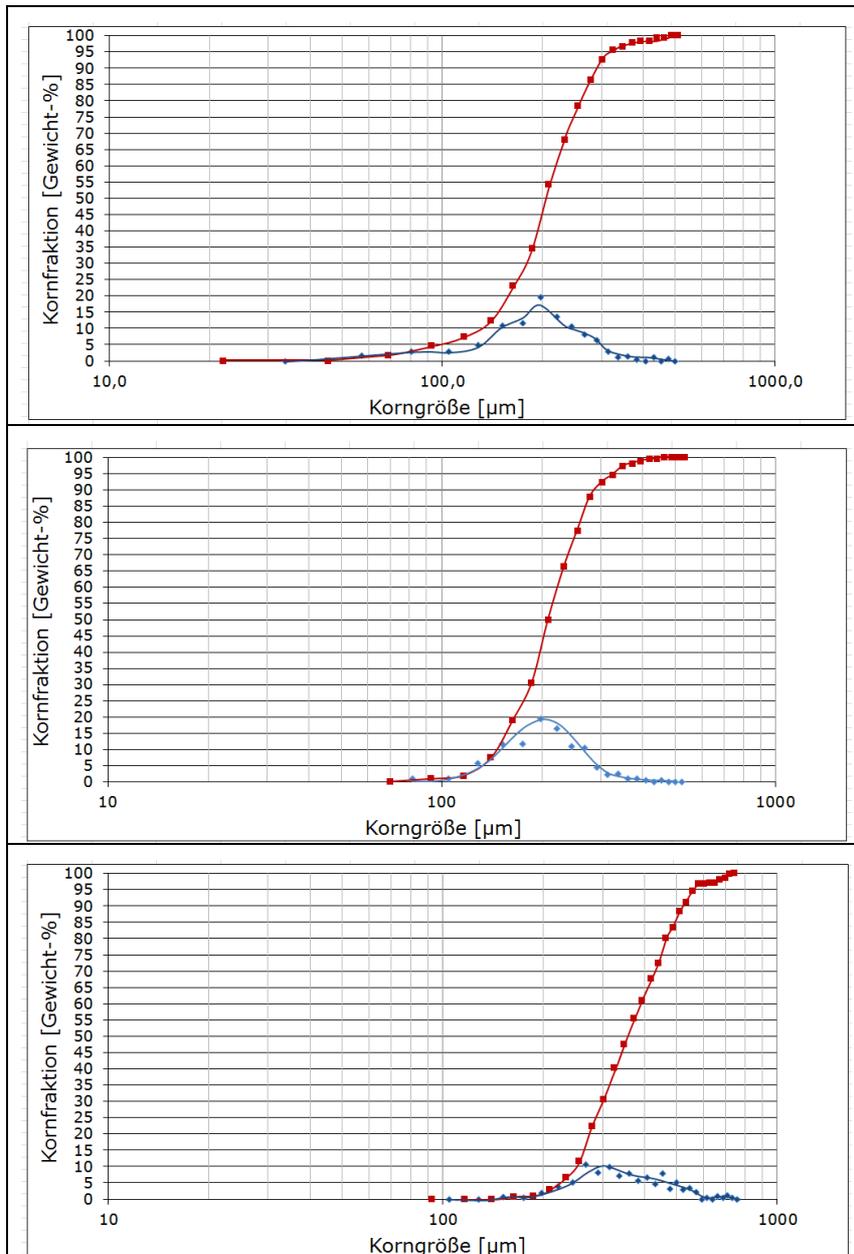


Abb. 5.12-10: Weitere Kornsummen- und Kornverteilungskurven der NMF mit symmetrischer Kornverteilung oder positiver Schiefe; oben FM_Ostsee2018-3, Gelbdüne, mitte FM_Swine2017-1, fluviatil-ästuarin, mit der schlechtesten Kornrundung aller untersuchten Proben, unten FM_Sackkanal2017-1, fluviatil-litoral, mit Dominanz umgelagerter Dünenande und nur geringem Anteil einer litoralen Grobfraction, offenbar durch Einspülen von litoralen Sanden in die Öffnung des kanalisierten Mündungsbereiches.

Bei der NMF haben bis auf eine Probe, FM_Ostsee2017-6 vom Strandwall nördlich Swinemünde mit einer Schiefe von $-0,33$, alle übrigen Proben eine nahezu symmetrische Verteilung oder eine positive Schiefe, die Probe mit der positivsten Schiefe ist FM_Ostsee2017-4 mit $+0,47$, ebenfalls vom Strandwall. Das weitgehende Fehlen der für Strandsande typischen negativen Schiefe in der NMF zeigt an, dass das Material offenbar durch fluviatile und/oder äolische Prozesse vorgeprägt ist. Die untersuchten Dünenande

liegen im Mittel bei +0,28, die vom Strandwall, ohne die genannte Probe mit negativer Schiefe, im Mittel bei +0,17. Trotz des kurzen Transportwegs von nur wenigen 10er Metern vom Ufer bis zur vordersten Düne sind zumindest einige Dünen-Proben gegenüber dem Strandwallmaterial bereits an einer gröberen Fraktion verarmt. Diese Schiefe-Daten deuten auf ein- bis mehrmalige Abrasion von Dünensanden und Umlagerung am Strandwall hin. Bei der MF haben zwei Proben vom Strandwall eine Schiefe von +0,12, zwei Proben aus Weiß- bzw. Gelbdünen eine Schiefe von im Mittel -0,30, die Probe aus dem Sackkanal von -0,42. Die Schiefe der MF von Dünensanden und Strandwall-Sanden entspricht also nicht den für diese Faziesbereiche zu erwartenden Werten: aus Dünen werden feine ferrimagnetische Partikel tendentiell entweder gelöst oder ausgeweht, auf dem Strandwall durch mechanische Beanspruchung entstehen feinere ferrimagnetische Partikel durch Abrieb. Für belastbare Aussagen liegen aber zu wenige Daten vor.

[Zurück zur Übersicht](#)

5.12.7. Zusammenfassung

Auf der vorliegenden Datenbasis von 17 Proben lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Probe FM_Ostsee2017-7 mit dem höchsten Wert der masse-spezifischen magnetischen Suszeptibilität der Gesamtfraktion von 3433 [$10^{-9} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$] ist eine mittelsandige Schwermineralseife vom Strandwall vor dem Kliff bei Stubbenfelde. Diese Probe zeichnet sich durch den höchsten Anteil der ferrimagnetischen Fraktion an der Gesamtprobe, das Fehlen von Lithoklasten in der ferrimagnetischen Fraktion, höchsten Granat- und Schwermineral-Gehalt, geringste Variabilität der Sphärizität, geringste Sortierung der ferrimagnetischen Fraktion sowie höchste geschätzte Rundung der ferrimagnetischen Fraktion aus. Ursprung der Magnetminerale dürften die Schmelzwassersande des Kliffs sein, die bei Flut durch einige 10er Minuten lang über den Strandwall schwappende Wellen bei relativ hoher Strömungsgeschwindigkeit und wenige Millimeter hoher Wassersäule aufgrund ihrer hohen Dichte aufkonzentriert werden, während Quarzkörner und Schalen in den angrenzenden Priel gespült werden.
- Den geringsten Wert der magnetischen Suszeptibilität von 7 [$10^{-9} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$] weist eine Feinsand-Probe aus dem Ästuar der Swine auf. Diese Probe fällt durch den niedrigsten Gehalt an ferrimagnetischen Partikeln, das Fehlen von Granat und Hornblende, die geringste Sphärizität und Rundung der nichtmagnetischen Fraktion, die größte Variation bei der Sphärizität der nichtmagnetischen Fraktion, sowie geringste Sphärizität der ferrimagnetischen Fraktion und die geringste Farbintensität auf. Das deutet für das seewärtige Litoral Usedom nicht auf einen Eintrag von siltig-tonigem magnetischem Material aus der Oder hin. Wahrscheinlicher ist, dass in der Swine vor allem Dünensande umgelagert wurden, die in der Swine-Niederung verbreitet sind.
- Mit 446 [$10^{-9} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$] deutlich erhöht ist die magnetische Suszeptibilität einer Mittelsand-Probe aus dem Mündungsbereich des Sackkanals, zwischen Heringsdorf und Bansin. Dieser Kanal entwässert den nördlichen Teil des Gothensees und fließt über eine Distanz von 1250 m durch die Ortslage Bansin, in der möglicherweise eine anthropogene Beeinflussung des Gewässers vorliegt. Eine 350 m NNW' davon entnommene Mittelsand-Probe vom Abrasionsbereich der Küstendüne wies mit 242 [$10^{-9} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$] den höchsten Wert der magnetischen Suszeptibilität für äolisches Material auf, der Grund hierfür ist nicht erkennbar.

- Die litoralen Fein- bis Grobsande zeigen keinen Trend zu höheren Werten der magnetischen Suszeptibilität für feinere mittlere Korngröße, die Probe mit dem höchsten MS Wert ist Mittelsand.
- Ferrimagnetisches Material, das auf industrielle Tätigkeit des Menschen hinweist, findet sich in Form von Kügelchen und Metallfragmenten an der Swine-Mündung, in Ahlbeck im südöstlichen Teil und bei Stubbenfelde im mittleren Teil des seewärtigen Litorals der Insel Usedom.
- Munitionsreste ließen sich in den vorliegenden Proben nicht eindeutig nachweisen.
- Die magnetische Suszeptibilität der Gesamtprobe ist auf Usedom alleine betrachtet kein Indiz für anthropogenen Einfluß, da sich Metallreste in Proben geringer bis mittlerer MS nachweisen lassen, nicht aber in den Proben mit der höchsten MS, deren Magnetominerale geogener Herkunft sind.
- Die ferrimagnetische Fraktion besteht, abgesehen von den Proben mit Metallresten, aus Ti-armen Titanomagnetiten sowie Lithoklasten unterschiedlichen Anteils.
- Auf den Ablagerungsraum bezogen unterscheiden sich die Proben von Dünen der vordersten Dünenkette vom Strandwall bei Korngröße und -form nicht wesentlich, da der Transportweg vom bei Ebbe trockenfallenden Strand bis zur ersten Küstendüne meist nur wenige 10er Meter beträgt.

Ein Manuskript zu den Untersuchungen im Litoral Usedom mit Fokus auf Metallfragmente, Schwerminerale, Sedimentdynamik und Statistik ist für die Einreichung bei der Zeitschrift Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge vorgesehen (PIRRUNG, et al. in Vorbereitung).

[Zurück zur Übersicht](#)

5.12.8. Zitierte Literatur

ANONYMOUS (2000): Munsell Soil Color Charts, 1. Aufl. - Munsell Color x-rite; Grand Rapids, MI.

ANONYMUS (2009): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern, Übersichtsheft: Grundlagen, Grundsätze, Standortbestimmung und Ausblick. - 1. Ed.; 102 pp.; Rostock (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern).

BACHOR, A. (2005): Nährstoff- und Schwermetallbilanzen der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimente. – Schriftenr. LA Umwelt Naturschutz Geol. Meckl.-Vorpommern, 2: 1-233.

BANCK, C. (2015): Usedom. - Dumont Reise-Taschenbuch, 2. Ed.; 292 pp.; Ostfildern

BAUER, J. & TVRZ, F. (1981): Der Kosmos-Mineralienführer - Mineralien, Gesteine, Edelsteine. - 5. Ed.; pp.; Stuttgart (Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde, Franckh'sche Verlagshandlung).

BECKER, S. & DIETZE, H.-J. (1986): Massenspektrographische Konzentrationsbestimmung der Seltenen-Erden-Elemente an Schwerimerafraktionen der Ostsee-Strandseifen. – Z. angew. Geol., 32: 299-301.

BILLER, T. (2016): Die mittelalterlichen Stadtbefestigungen, Band 1: systematischer Teil, Band 2: topographischer Teil. - 2, 1. Ed.; 359+360 pp.; Darmstadt (Philipp von Zabern Verlag, Wissenschaftliche Buchgesellschaft).

BLIESENER, A., HARFF, J., LEIPE, T., LEMKE, W., REIMER, C., TAUBER, F. & OLEA, R.A. (1997): Schlußbericht zum Projekt "Zusammenstellung und wissenschaftliche Interpretation von Daten über den Meeresboden der westlichen Ostsee aus den Jahren 1953 -1985". - Ed.; 192 pp.;

- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. - 16. Ed.; 570 pp.; Wiesbaden (Springer Spektrum).
- BOBERTZ, B. & HARFF, J. (2004): Sediment facies and hydrodynamic setting: a study in the south western Baltic Sea. – *Ocean Dyn.*, 54: 39-48.
- BODUNGEN, B.V., GRAEVE, M., KUBE, J., LASS, U., MEYER-HARMS, B., MUMM, N., NAGEL, K., POLLEHNE, F., POWILLEIT, M., RECKERMANN, M., SATTTLER, C., SIEGEL, H. & WODARG, D. (1995): Stoff-Flüsse am Grenzfluß -Transport- und Umsatz-Prozesse im Übergangsbereich zwischen Oderästuar und Pommerscher Bucht (TRUMP). – *Geowiss. uns. Zeit*, 13: 479-485.
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. - 1. Ed.; 158 pp.; Stuttgart (Enke Verlag).
- BORÓWKA, R.K., LATALOWA, M., OSADCZUK, A., SWIETA, J. & WITKOWSKI, A. (2002): Palaeogeography and palaeoecology of Szczecin Lagoon. – *Greifswalder geograph. Arb.*, 27: 107-113.
- BORÓWKA, R.K., OSADCZUK, A., WITKOWSKI, A., WAWRZYNIAK-WYDROWSKA, B. & DUDA, T. (2005): Late Glacial and Holocene depositional history in the eastern part of the Szczecin Lagoon (Great Lagoon) basin—NW Poland. – *Quatern. Intern.*, 130: 87-96.
- BÜLOW, K.V. (1952): Abriss der Geologie von Mecklenburg. - 1. Ed.; 72+11 Taf. pp.; Berlin (Volk und Wissen Volkseigener Verlag).
- COMMISSION, H.C.B.M.E.P. (2003): The Baltic Marine Environment 1999–2002. – *Baltic Sea Environment Proceedings*, 87: 1-48.
- DANN, T. & RATZKE, U. (2004): Böden. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): Geologie von Mecklenburg-Vorpommern: pp. 489-508; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- DANNENBERGER, D. & LERZ, A. (1999): Occurrence and Transport of Organic Micro-contaminants in Sediments of the Odra River Estuarine System. – *Acta hydrochim. hydrobiol.*, 27: 303-307.
- DEARING, J. (1994): Environmental magnetic susceptibility - using the Bartington MS2 system. - 1. Ed.; 104 pp.; Kenilworth, UK (Chi Publishing).
- DEARING, J.A., DANN, R.J.L., HAY, K., LEES, J.A., LOVELAND, P.J., MAHER, B.A. & O'GRADY, K. (1996): Frequency-dependant susceptibility measurements of environmental materials. – *Geophys. J. Intern.*, 124: 228-240.
- DENG, J., WU, J., ZHANG, W., DUDZINSKA-NOWAK, J. & HARFF, J. (2019): Characterising the relaxation distance of nearshore submarine morphology: A southern Baltic Sea case study. – *Geomorphology*, 327: 365-376.
- DENG, J., ZHANG, W., HARFF, J., SCHNEIDER, R., DUDZINSKA-NOWAK, J., TEREFENKO, P., GIZA, A. & FURMANCZYK, K. (2014): A numerical approach for approximating the historical morphology of wave-dominated coasts - A case study of the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea. – *Geomorphology*, 204: 425-443.
- DILL, H. (2007): Grain morphology of heavy minerals from marine and continental placer deposits, with special reference to Fe–Ti oxides. – *Sediment. Geol.*, 198: 1-27.
- DOBENECK, T.V., PETERSEN, N. & VALI, H. (1987): Bakterielle Mikrofossilien - palaeomagnetische und palaeontologische Spuren einer ungewöhnlichen Bakteriengruppe. – *Geowiss. uns. Zeit*, 5: 27-35.
- DUPHORN, K., KLIEWE, H., NIEDERMEYER, R.-O. & WERNER, F. (1995): Die deutsche Ostseeküste. - *Sammlg. geol. Fü.*, 88, 1. Ed.; 281 pp.; Berlin, Stuttgart (Gebrüder Bornträger).
- EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. - 1. Ed.; 358 pp.; Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag).
- EMEIS, K., CHRISTIANSEN, C., EDELVANG, K., JÄHMLICH, S., KOZUCH, J., LAIMA, M., LEIPE, T., LÖFFLER, A., LUND-HANSEN, L.C., MILTNER, A., PAZDRO, K., PEMPKOWIAK, J., POLLEHNE, F., SHIMMIELD, T., VOSS, M. & WITT, G. (2002): Material transport from the near shore to the

- basinal environment in the southern Baltic Sea II: Synthesis of data on origin and properties of materia. – *J. marine Systems*, 35: 151-168.
- EVANS, M.E. & HELLER, F. (2003): *Environmental magnetism - principles and applications of enviromagnetics*. - 1. Ed.; 299 pp.; Amsterdam, Boston etc. (Academic Press).
- FABIAN, K., SHCHERBAKOW, V.P. & MCENROE, S.A. (2013): Measuring the Curie temperature. – *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14: 947-961.
- FARR, R.S., HONOUR, V.C. & HOLNESS, M.B. (2017): Mean grain diameters from thin sections: matching the average to the problem. – *Mineralog. Mag.*, 81: 515-530.
- FENSKE, C., WESTPHAL, H., BACHOR, A., BREITENBACH, E., BUCHHOLZ, W., JÜLICH, W.-D. & HENSEL, P. (2001): The consequences of the Odra flood (summer 1997) for the Odra lagoon and the beaches of Usedom: What can be expected under extreme conditions? – *Int. J. Hygiene Environm. Health*, 203: 417-433.
- GARMIN (2008): *Deutschland Digital 25 - Topographische Karte 1:25 000, Rasterkarte auf DVD zur Tourenplanung auf PC und PDA*, 1. Aufl. - Garmin Deutschland GmbH; Gräfelfing.
- GRANITZKI, K. & KATZUNG, G. (2004): *Steine und Erden*. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 409-419; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- GRIGORESCU, D. & BALTRES, A. (1981): Magnetic spherules of possibly extraterrestrial origin in Vranconian-Lower Cenomanian shales (Black Shale Unit, East Carpathians). – *Rev. Roum. Géol. Géophys. Géogr.*, 23: 117-121.
- HAMBREY, M. (1994): *Glacial environments*. - 1. Ed.; 294 pp.; Boca Raton (CRC Press).
- HARFF, J., BOBERTZ, B., GRANITZKI, K., LEMKE, W. & WEHNER, K. (2004): Sand and gravel deposits in the south-western Baltic Sea, their utilization and sustainable development. – *Z. angew. Geol., Sonderheft 2*: 111-123.
- HELLER, F., STRZYSZCZ, Z. & MAGIERA, T. (1998): Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland – *J. Geophys. Res.*, 103: 17767-17774.
- HENGSTMANN, E., TAMMINGA, M., BRUCH, C.V. & FISCHER, E.K. (2018): Microplastic in beach sediments of the Isle of Rügen (Baltic Sea) - Implementing a novel glass elutriation column. – *Mar. Pollution Bull.*, 126: 263-274.
- HOFFMANN, G. (2002): The geological evolution of Usedom Island. – *Greifswalder geograph. Arb.*, 27: 89-94.
- HOFFMANN, G. (2012): Spätquartäre Landschaftsentwicklung der Ostseeinsel Usedom (Exkursion I am 14. April 2012). – *Jahresber. Mitt. oberrhein. geolog. Ver.*, 94, Sonderheft *Geologische Exkursionen in die Region um Greifswald und weitere wissenschaftliche Beiträge*: 343-364.
- HOFFMANN, G. & LAMPE, R. (2007): Sediment budget calculation to estimate Holocene coastal changes on the southwest Baltic Sea (Germany). – *Mar. Geology*, 243: 143-156.
- HOFFMANN, G., LAMPE, R. & BARNASCH, J. (2005): Postglacial evolution of coastal barriers along the West Pomeranian coast, NE Germany. – *Quatern. Intern.*, 133-134: 47-59.
- HOFFMANN, G. & REICHERTER, K.R. (2012): Soft-sediment deformation of Late Pleistocene sediments along the southwestern coast of the Baltic Sea (NE Germany). – *Intern. J. Earth Sci.*, 101: 351-363.
- HOFFMANN, G., SCHMEDEMANN, N. & SCHAFMEISTER, M.-T. (2009): Relative sea-level curve for SE Rügen and Usedom Island (SW Baltic Sea coast, Germany) using decompacted profiles. – *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 160: 69-78.
- JANKE, W. (2002): The development of the river valleys from the Uecker to the Warnow. – *Greifswalder geograph. Arb.*, 27: 101-106.
- JORDANOVA, D., JORDANOVA, N. & HOFFMANN, V. (2006): Magnetic mineralogy and grain-size dependence of hysteresis parameters of single spherules from industrial waste products. – *Physics Earth Planet. Inter.*, 154: 255–265.

- KAISER, E. (2001): Fazies und Sequenzstratigraphie: Das Staßfurtkarbonat (Ca₂) am nördlichen Beckenrand des südlichen Zechsteinbeckens (NE-Deutschland). - 173 S.; Doktorarbeit, Universität Köln.
- KALINSKA-NARTISA, E., STIVRINS, N. & GRUDZINSKA, I. (2018): Quartz grains reveal sedimentary palaeoenvironment and past storm events: A case study from eastern Baltic. – *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 200: 359-370.
- KATZUNG, G. (2004): Kliff der Greifswalder Oie. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 325-327; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- KATZUNG, G. & MÜLLER, U. (2004): Quartär -In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 221-225; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- KLIEWE, H. (2004): Holozän im Küstenraum. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 251-265; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- KOENSLER, W. (1989): Sand und Kies - Mineralogie, Vorkommen, Eigenschaften, Einsatzmöglichkeiten. - 1. Ed.; 123 pp.; Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag).
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ, B. (2004): Quaternary amber-bearing deposits of the Polish coast. – *Z. angew. Geol., Sonderheft 2*: 73-84.
- KRAMARSKA, R., MASŁOWSKA, M., USCINOWICZ, S. & ZACHOWICZ, J. (2004): Review of marine sand and gravel resources in the Polish Exclusive Economic Zone of the Baltic Sea. – *Z. angew. Geol., Sonderheft 2*: 125-134.
- KRIENKE, H.-D. (2004): Usedom. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 327-332; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- KRIENKE, H.-D., SCHULZ, W., HAUPT, J. & VINNEMANN, C. (1981): Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000, Blatt CC 2342 Stralsund, 1. Aufl. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Hannover.
- KRIENKE, H.-D., SCHULZ, W., HAUPT, J. & VINNEMANN, C. (2001): Geologische Übersichtskarte 1 : 200 000, Blatt CC 2342 Stralsund, 1. Aufl. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Hannover.
- LABUZ, T.A. (2009): The increase of the coastal dune area of the Świna Gate Sandbar, West Polish coast. – *Z. dt. Ges. Geowiss.*, 160: 123-135.
- LABUZ, T.A. (2005): Present-day dune environment dynamics on the coast of the Swina Gate Sandbar (Polish West coast). – *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 62: 507-520.
- LAGERLUND, E., PERSSON, K.M., KRZYSZKOWSKI, D., JOHANSSON, P., DOBRACKA, E., DOBRACKI, R. & PANZIG, W.-A. (1995): Unexpected ice flow directions during the Late Weichselian deglaciation of the south Baltic area indicated by a new lithostratigraphy in NW Poland and NE Germany. – *Quatern. Intern.*, 28: 127-144.
- LAMCKE, K. (1938): Mineralogische und chemische Untersuchungen an Erzseifen der deutschen Nord- und Ostseeküsten. – *Geol. Rundschau*, 29: 301–306.
- LAMPE, E. (2002): Holocene Evolution of the South-Western Baltic Coast – Geological, Archaeological and Palaeo-environmental Aspects -Greifswalder geograph. Arb., 27, 1. Ed.; 207 pp.; Greifswald (Ernst-Moritz-Arndt Universität).
- LAMPE, R. (2005): Lateglacial and Holocene water-level variations along the NE German Baltic Sea coast: review and new results. – *Quatern. Intern.*, 133-134: 121-136.
- LANCASTER, N. (1993): Origins and sedimentary features of supersurfaces in the northwestern Gran Desierto Sand Sea. – *Int. Ass. Sediment. Spec. Publ.*, 16: 71-83.
- LASS, H.U., MOHRHOLZ, V. & SEIFERT, T. (2001): On the dynamics of the Pomeranian Bight. – *Contin. Shelf Res.*, 21: 1237-1261.
- LEIPE, T., EIDAM, J., LAMPE, R., MEYER, H., NEUMANN, T., A., O., JANKE, W., PUFF, T., BLANZ, T., GINGELE, F.X., DANNENBERGER, D. & WITT, G. (1998): *Das Oderhaff - Beiträge*

- zur Rekonstruktion der holozänen geologischen Entwicklung und anthropogenen Beeinflussung des Oder-Ästuars. – *Meereswissenschaftliche Berichte*, 28: 1-83.
- LEMKE, W. & NIEDERMEYER, R.-O. (2004): Sedimente der Ostsee und der Bodden. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 347-362; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- LUDWIG, C. (2016): *Climate Signals in Coastal Deposits*. - 104 S.; Doktorarbeit, Hamburg.
- MARCINKOWSKI, B. & MYCIELSKA-DOWGIALLO, E.M. (2013): Heavy-mineral analysis in Polish investigations of Quaternary deposits: a review. – *Geologos* 19: 5-23.
- MENG, S., BÖRNER, A., STRAHL, J. & THIEKE, H.U. (2009): Bio- und lithostratigraphische Untersuchungen an limnisch-fluvitilen Sedimenten aus dem Eem-Interglazial im unteren Peenetal (NE-Deutschland). – *Brandenburg. geowiss. Beitr.*, 16: 1-17.
- MEYER, H. & LAMPE, R. (1999): The restricted buffer capacity of a south Baltic estuary - the Oder Estuary. – *Limnologica*, 29: 242-248.
- NEUMANN, T., RAUSCH, N., LEIPE, T., DELLWIG, O., BERNER, Z. & BÖTTCHER, M.E. (2005): Intense pyrite formation under low-sulfate conditions in the Achterwasser lagoon, SW Baltic Sea. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69: 3619-3630.
- NIEDERMEYER, R.-O. (1980): Sedimentmarken an Flachuferküsten der südlichen Ostsee – Hercynia, N.F., 17: 322-332.
- NIEDERMEYER, R.-O. & SCHUMACHER, W. (2004): Gliederung, Vorgänge und Sedimente an der Küste. - In: KATZUNG, G. (Hrsg.): *Geologie von Mecklenburg-Vorpommern*: pp. 333-346; 1. Ed.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- ORDWAY, F.I.I., III, F.I.O., DAHM, W.K., DANNENBERG, K., HÄUSSERMANN, W., REISIG, G., STUHLINGER, E., TIESENHAUSEN, G.V. & WILLHITE, I. (2007): A memoir: From peenemünde to USA: A classic case of technology transfer. – *Acta Astronautica*, 60: 24-47.
- OSADCZUK, K. (2002): Evolution of the Świna barrier spit. – *Greifswalder geograph. Arb.*, 27: 119-126.
- PATTON, H., HUBBARD, A., ANDREASSEN, K., AURIAC, A., WHITEHOUSE, P.L., STROEVEN, A.P., SHACKLETON, C., WINSBORROW, M., HEYMAN, J. & HALL, A.M. (2017): Deglaciation of the Eurasian ice sheet complex. – *Quatern. Sci. Rev.*, 169: 148-172.
- PETERS, C. & DEKKERS, M.J. (2003): Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size. – *Phys. Chem. Earth*, 28: 659-667.
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1973): *Sand and sandstone*. - 1. Ed.; 618 pp.; Berlin Heidelberg New York (Springer Verlag).
- PFEIFFER, H. (1972): Schwermineralseifen, Küstendynamik und Sedimenthaushalt sandiger Flachküsten Mecklenburgs. – *Jahrbuch Geologie*, 4: 301-346.
- PIRRUNG, M., BÖHM, M., MERTEN, D. & KUNZ-PIRRUNG, M. (in Vorbereitung): Zur Petrographie und magnetischen Suszeptibilität rezenter litoraler Ablagerungen auf der Insel Usedom –Brandenburg. *geowiss. Beitr.*,
- POHL, C., HENNINGS, U., SIEGEL, H. & BACHOR, A. (2002): Trace metal impact into the Baltic Sea during the exceptional Oder flood in summer 1997. – *Mar. Chemistry*, 79: 101-111.
- POWILLEIT, M. & FORSTER, S. (2018): Continuous and High Transport of Particles and Solutes by Benthos in Coastal Eutrophic Sediments of the Pomeranian Bay. – *Frontiers mar. Sci.*,
- PUPIENIS, D., BUYNEVICH, I.V. & BITINAS, A. (2011): Distribution and significance of heavy-mineral concentrations along the southeast Baltic Sea coast. – *J. Coastal Res.*, SI 64: 1984-1988.
- PUSCH, M. & COAUTOREN (2009): Rivers of the Central European Highlands and Plains. - In: (Hrsg.): *Rivers of Europe*: pp. 525-576; 1. Ed.; Cambridge, Massachusetts (Academic Press).
- PYE, K. (1989): *Aeolian dust and dust deposits*. - 2. edition. Ed.; 1-334 pp.; London (Academic Press).
- REIMANN, T., TSUKAMOTO, S., HARFF, J., OSADCZUK, K. & FRECHEN, M. (2011): Reconstruction of Holocene coastal foredune progradation using luminescence dating — An

- example from the Świna barrier (southern Baltic Sea, NW Poland). – *Geomorphology*, 132: 1-16.
- REINECK, H.-E. (1994): *Landschaftsgeschichte und Geologie Ostfrieslands*. - Geologische Exkursionen, Band 1, 1. Ed.; 182 pp.; Köln (Verlag Sven von Loga).
- RÖBER, B., RUDOLPH, H., LAMPE, R. & HÖLITZ-MÖLLER, R. (2006): *Usedom - coastal development and implementation of geo information in a decision support frame*. – Geological Survey of Finland, Special Paper 41: 107-119.
- RÖSLER, H.J. (1984): *Lehrbuch der Mineralogie*. - 3. Ed.; 833 pp.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- SCHALLREUTER, R., VINX, R. & LIERL, H.J. (1984): *Geschiebe in Südostholstein*. - In: DEGENS, E.T., HILLMER, G. & SPAETH, C. (Hrsg.): *Exkursionsführer des Nordsee- und Ostseeraumes*: pp. 107-147; 1. Ed.; Hamburg (Selbstverlag des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Hamburg).
- SCHERNEWSKI, G., NEUMANN, T., PODSECHINE, V. & SIEGEL, H. (2001): *Spatial impact of the Oder river plume on water quality along the south-western Baltic coast*. – *Int. J. Hygiene Environm. Health*, 204: 143-155.
- SCHULZ, K., MIKHAILYUK, T., DREBLER, M., LEINWEBER, P. & KARSTEN, U. (2015): *Biological Soil Crusts from Coastal Dunes at the Baltic Sea: Cyanobacterial and Algal Biodiversity and Related Soil Properties*. – *Soil Microbiology*,
- SCHULZ, W. (1960): *Die natürliche Verbreitung des Ostseebernsteins und das Bernsteinvorkommen von Stubbenfelde (Usedom)*. – *Z. angew. Geol.*, 6: 610-614.
- SCHWARZER, K., DIESING, M., LARSON, M., NIEDERMAYER, R.-O., SCHUMACHER, W. & FURMANCZYK, K. (2003): *Coastline evolution at different time scales - examples from the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea*. – *Mar. Geology*, 194: 79-101.
- SCHWARZER, K., RICKLEFS, K., SCHUMACHER, W. & ATZLER, R. (1996): *Observations on nearshore dynamics, shore protection and impact of the storm event from 3/4.11.1995 on the Streckelsberg foreshore, Usedom Island*. – *Meyniana*, 48: 49-68.
- SCHWERTMANN, U. (2008): *Iron oxides*. - In: CHESWORTH, W. (Hrsg.): *Encyclopedia of soil science*: pp. 363-369; Ed.; Berlin, Hamburg, New York (Springer).
- SEIBOLD, E. (1963): *Geological investigation of nearshore sand-transport—examples of methods and problems from the Baltic and North Seas*. – *Progr. Oceanography*, 1: 3-70.
- SEIBOLD, E. & BERGER, W.H. (1996): *The seafloor - an introduction to marine geology*. - Ed.; 356 pp.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer-Verlag).
- SIEGEL, H. & GERTH, M. (2000): *Satellite-Based Studies of the 1997 Oder Flood Event in the Southern Baltic Sea*. – *Remote Sens. Environm.*, 73: 207-217.
- SIEVER, R. (1989): *Sand - ein Archiv der Erdgeschichte*. - Spektrum-Bibliothek, 22, 1. Ed.; pp.; Heidelberg (Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft).
- STOW, D.A.V. (2008): *Sedimentgesteine im Gelände - ein illustrierter Leitfaden*. - 1. Ed.; 320 pp.; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- STREIF, H. (1990): *Das ostfriesische Küstengebiet. Nordsee, Inseln, Watten und Marschen*. - Sammlg. geol. Fü., 57, 2. Ed.; 376 pp.; Berlin, Stuttgart (Gebrüder Bornträger).
- TAJAKUSUMA, I. (2004): *Investigations into the hydrography and dynamics of suspended particulate matter and sediments in the Oder Lagoon, southern Baltic Sea –IKZM-Oder Berichte*, 1: 1-153.
- TAUBER, F. & EMEIS, K.-C. (2005): *Sediment mobility in the Pomeranian Bight (Baltic Sea): A case study based on sidescan-sonar images and hydrodynamic modelling*. – *Geo-Mar. Lett.*, 25: 221-229.
- THOMPSON, R. & OLDFIELD, F. (1986): *Environmental magnetism*. - 1. Ed.; 227 pp.; London (Allen & Unwin).

- TRÖGER, W.E., BAMBAUER, H.U., TABORSZKY, F. & TROCHIM, H.D. (1982): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 1 Bestimmungstabellen. - 5. Ed.; 188 pp.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).
- TUCKER, M.E. (1985): Einführung in die Sedimentpetrographie. - 1. Ed.; 265 pp.; Stuttgart (Enke Verlag).
- VAN LOON, T. & PISARSKA-JAMRO, M. (2017): Changes in the heavy-mineral spectra on their way from various sources to joint sinks. - In: MUZUMDER, R. (Hrsg.): Sediment Provenance - influences on compositional change from source to sink: pp. 49-62; Ed.; Amsterdam (Elsevier).
- VIEHBERG, F.A., FRENZEL, P. & HOFFMANN, G. (2008): Succession of late Pleistocene and Holocene ostracode assemblages in a transgressive environment: A study at a coastal locality of the southern Baltic Sea (Germany). – *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 264: 318-329.
- VINX, R. (2005): Gesteinsbestimmung im Gelände. - 1. Ed.; 439 pp.; Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- WASMUND, E. (1938): Die Schwerminerallagerstätten der deutschen Küsten. – *Geol. Rundschau*, 29: 287-300.
- WIKSELL, S.D. (1925): The corpuscle problem, a mathematical study of a biometric problem. – *Biometrika*, 17: 84-99.
- WITT, G. & SIEGEL, H. (2000): The Consequences of the Oder Flood in 1997 on the Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Oder River Estuary. – *Mar. Pollution Bull.*, 40: 1124-1131.
- ZHANG, W., DENG, J., HARFF, J., SCHNEIDER, R. & DUDZINSKA-NOWAK, J. (2013): A coupled modeling scheme for longshore sediment transport of wave-dominated coasts - A case study from the southern Baltic Sea. – *Coastal Engineering*, 72: 39-55.