Eisenkernkonkretionen aus dem Gezeitenbereich der Nordsee

Michael Fuchs



Zusammenfassung

Vom Nordoststrand Borkums werden Konkretionen beschrieben. Diese Konkretionen enthalten Kerne aus Eisen bzw. Stahl. Das Volumenverhältnis zwischen Eisenkern und Konkretion liegt bei 1:1 bis 1:2. Die als Eisenkernkonkretionen bezeichneten Gesteine bilden sich synsedimentär unter natürlichen Bedingungen um künstliche Kerne, die zumeist militärischen Ursprungs sind (Munitions- und Geschosshülsen). Die in-situ-Bildung der Eisenkernkonkretionen im Bereich der Gezeiten-Strandzone mit dem Korrosionsmedium Salzwasser und dem Redoxpotenzial wird beschrieben und diskutiert.

Summary

From the Northeast beach of the island of Borkum concretions are described. The concretions contain cores of iron or steel. The volume ratio between iron core and concretion amounts to 1:1 and 1:2. The rocks called as iron-core-concretions, are formed synsedimentary under natural conditions around artificial nuclei of mostly military origin (ammunition and cartridge cases). The in situ formation of the iron-core-concretions in the tidal beach zone with the corrosive medium salt water and the redox potential is described and discussed.

Einleitung

Das Wattenmeer mit den vorgelagerten ostfriesischen Inseln stellt aus geologischer Sicht einen einmaligen Sedimentationsraum dar. Hier werden die quarzreichen Sedimente aus aufgearbeiteten eiszeitlichen Schichten abgelagert. Entlang der weiten und breiten Nordstrände der Hochenergieküste sind es Fein- bis Mittelsande, die durch Wasser und Wind ab- und umgelagert werden. Im Gezeitenbereich sind die Sande oberflächlich durch kleinere Priele, Wellenrippeln und abrasive Windmuster gekennzeichnet (Abb. 1). Größere Objekte, die am Strand den Blick auf sich ziehen, sind nicht häufig. Diese Objekte sind meist biogenen Ursprungs. Dazu gehören Anreicherungen von Muschelschalen, Schulpe der Tintenfische, Algenballungen, abgerundete Torfbrocken oder Holz. Seltener findet sich auch der Hochofenbims. Zwangsläufig schaut der Strandwanderer auf alle diese größeren Objekte, bilden sie doch rechte Auffälligkeiten in der sonst so monotonen Sandablagerung. Verwundert, da unerwartet, wird er auf Gesteinsbrocken blicken (Abb. 2).

Am Nordstrand der Insel Borkum finden sich finger- bis handtellergroße Konkretionen. Diese Konkretionen treten vor allem am Strand nördlich des Ostlandes und weiter in Richtung Osten auf (Abb. 3). Sie sind nicht selten, von ihrer Häufigkeit

Abb. 1 Nordoststrand auf Borkum bei Niedrigwasserstand



in etwa mit den ebenfalls am Strand zu findenden angespülten Torfstücken aus den heute vom Meer überdeckten Torflagern vergleichbar. Sie besitzen eine unregelmäßig knollige bis nierenartige Form (Abb. 2, 5). Die Farbnuancen variieren zwischen ocker- und dunkelbraun. Das Sediment der Hochenergieküste, der feinsandige Mittelsand – nahezu ausschließlich Quarz – und die Muschelschalen sind durch Eisenoxid zementiert.

Konkretionen können hauptsächlich während des Sedimentationsprozesses im Stadium der Frühdiagenese entstehen. Sie bilden sich, wenn die gelösten Stoffe um einen Kern ausfällen. Die Konkretion wächst hierbei von innen nach außen. Die gelösten Stoffe werden durch zirkulierende Porenwässer herangeführt (Kurze et al. 1985). Besonders gut untersucht ist dieser Prozess für die Feuersteine der obersenonen Schreibkreide (Nestler 2002). Der Bildungsmechanismus wird folgendermaßen beschrieben: In tieferen Teilen des frisch gebildeten Sediments wird unter reduzierenden Bedingungen und bei alkalischer Reaktion der Porenlösung – vornehmlich durch frei werdendes Ammoniak aus dem Fäulnisprozess – Kieselsäure aus den Schalen der Mikroorganismen gelöst. Durch Überlagerungsdruck entsteht ein aufwärts gerichteter Porenwasserstrom. Beim Kontakt mit der Oxydationszone wird ein beträchtlicher Teil der gelösten Kieselsäure wieder ausgeschieden.

Abb. 2 Eisenkernkonkretion mit Schalen der rezenten Herz-, Tell- und Miesmuschel vom Nordoststrand Borkums.



Eisenkonkretionen sind in verschiedenen Sedimenten aufgrund der Häufigkeit des Elements Eisen, dessen Löslichkeit und Reaktionsfreudigkeit sowie der anorganischen oder unter Beteiligung von Bakterien möglichen Ausfällung ein häufig auftretender Bestandteil. Die bekannteste Art solcher Konkretionen, die gelegentlich auch horizontale Bänke bilden, ist wohl der Raseneisenstein, der im Bereich schwankenden, flach unter der Oberfläche anstehenden Grundwassers unter Redoxbedingungen entsteht. Die im Grundwasser gelösten Eisen- und Mangansalze fallen bei Kontakt mit Sauerstoff als oxidische/hydroxidische Eisen- und Manganverbindungen aus (Graupner 1982).

Konkretionen entstehen durch Zuführung von gelösten Stoffen über einen mehr oder minder langen Transportweg. Die Ausfällung der gelösten Stoffe erfolgt bei Änderung des chemischen Milieus. Die in diesem Artikel beschriebenen Konkretionen unterscheiden sich bezüglich der Quelle und des Transports der gelösten Stoffe. Während per Definition ein Kern als Kristallisationspunkt die Ablagerung initiiert und zum Wachstum der Konkretion führt, der zugeführte Stoff somit ausfällt und kristallisiert, verhält es sich im Fall der Borkumer Eisenkonkretionen etwas anders, der Kern ist Keim und Träger des Wachstums und gleichzeitig Lieferant des gelösten Stoffes.

Kleine Konkretionen, die sich um verrostete Metallobjekte bilden, werden erstmals durch van Straaten (1957) von den Stränden der Zeelandprovinz in den Niederlanden beschrieben. Im Zuge der Aktivitäten zur Erfassung von Rüstungsaltlasten (Kulturtechnik 1990) wurden diverse Funde von Eisenkonkretionen in Sedimenten im Gezeitenbereich der Nordsee getätigt und durch Liebezeit et al. (2003) publiziert. Die Konkretionen enthalten Eisenkerne, die zumeist Munitionshülsen waren. Die Munition stammt aus der Zeit des 1. und 2. Weltkriegs. Die Konkretionen wachsen unter dem stetigen Wechsel des oxidierenden und reduzierenden Milieus schnell synsedimentär durch Zementation der das Objekt umgebenden Sande mit Eisenoxid.

Eine Eisenkernkonkretion von musealem Interesse wird im Borkumer Inselmagazin vorgestellt (Das Inselmagazin 2013). Die Eisenkonkretion im Fundgebiet (Abb. 3), im Jahr 2005 entdeckt, fiel wohl durch ihre ungewöhnliche Form auf. Die Restaurierung förderte eine Steinschlosspistole aus dem 18. Jahrhundert zutage.

Tab. 1 Charakteristika des Korrosionsmediums Nordseewasser (Busch 1988).
* Der Sauerstoffgehalt hängt von der Temperatur, aber auch gerade im Bereich des Flachwassers, stark von der Turbulenz des Wassers ab.

	Wertespanne	Ionenart	Gehalt [mg/l]
Salzgehalt	3,0–3,5 %	Na^+	11000
Gelöster Sauerstoff*	2–14 mg/l	K^+	400
pH Wert	8,5–9,0	Ca^{2+}	400
		Mg^{2+}	1300
		Cl^-	19000
		SO_4^{2-}	2800

Ablagerungsmilieu und Konkretionsbildung

Das Fundgebiet (Abb. 3) umfasst nach Meynen et al. (1961) den Streifen des Gezeitenbereichs zwischen dem trockenen Strand mit der Treibselmarke des letzten Hochwasserstandes und dem nassen Strand mit Strandprielen, Sandriffs und Niedrigwasserbrandung (Abb. 1). Das Sediment im Fundgebiet besteht aus Fein- bis Mittelsanden (63–630 µm). Zumeist sind es jedoch gut sortierte Mittelsande im Korngrößenspektrum 200–300 µm mit dem Hauptmineralbestandteil Quarz (Figge 1981, NIBIS Kartenserver 2015). Die Lagerungsdichte der Sande beträgt ~ 1,6 g/cm^3. Das gesamte Hohlraumvolumen (Porenvolumen) des Sandes liegt zwischen 34 und 37 Vol-%. Darin beträgt die hydraulische Durchlässigkeit bei voller Sättigung des Porenraums durch Wasser ~ 100 cm/d (Hennings 2002, Janssen et al. 2005). Je nach Gezeitenstand wird der Porenraum des oberflächennahen Sandes im Fundgebiet vorrangig entweder durch Wasser oder Luft gefüllt.

In der Geschichte Borkums sind für die letzten 100 Jahre vielfältige militärische Aktivitäten verzeichnet (Seefestung Borkum 2015). Somit ist es auch nicht verwunderlich, dass im Fundgebiet (Abb. 3) ausreichend viele Metallteile als Kerne für Stofflieferung und Kristallisationskeim für die Konkretionsbildung vorhanden sind.

Aus einem Fundstück vom Borkumer Nordoststrand wurden der stark korrodierte Eisenkern und die zementierten Schichten separat analysiert (Abb. 4, Tab. 2). Die

Abb. 3 Die Insel Borkum und die Lage des Fundgebiets der Eisenkernkonkretionen.



Tab. 2 ICP-OES Analysen (Königswasseraufschluss) in mg/kg

Element	Eisenkern	Konkretion
Eisen	897487,0	52440,0
Aluminium	2468,0	1103,0
Titan	44,0	114,0
Magnesium	97,0	727,0
Kalzium	233,0	1689,0
Natrium	560,0	1288,0
Arsen	541,0	23,0
Barium	17,0	54,0
Kobalt	243,0	4,0
Cäsium	1,6	7,0
Chrom	906,0	27,0
Kupfer	2390,0	55,0
Mangan	6664,0	157,0
Molybdän	125,0	12,0
Niob	0,8	0,6
Nickel	823,0	13,0
Blei	17,0	34,0
Rubidium	1,2	6,0
Strontium	9,0	19,0
Thorium	0,9	1,2
Uran	0,4	1,7
Vanadium	26,0	17,0
Yttrium	0,4	2,5
Zink	23	85,0
Zirkon	1,8	3,6

Analyse des Kerns weist das Eisen als eine Niedriglegierung des Stahls mit leicht erhöhten Werten für Aluminium, Kupfer und Mangan aus. In Liebezeit et al. (2003) wird auf Seite 150 in eine Konkretion im Anschnitt abgebildet, die im Kern eine Munitionshülse enthält. Munitionshülsen werden für das Militär aus Kostengründen aus Stahl hergestellt (Wikipedia 2015).

Die untersuchten Konkretionen besitzen eine Dichte von 2,7 – 2,9 g/cm^3. Der Wert liegt etwas über der Dichte von Quarz (2,65 g/cm^3) ist aber nahezu doppelt so hoch wie die Lagerungsdichte der umgebenden Sande.

Die Analysen zeigen neben der Herkunft des Konkretionskerns als sehr wahrscheinlichen Teil einer Stahlgeschosshülle, dass die eigentliche Konkretion – der durch Eisenoxid zementierte Bereich – deutlich durch die Elemente Magnesium, Kalzium und Natrium aus dem Meerwasser beeinflusst ist und die Elemente der Eisenlegierung Kupfer, Aluminium und Mangan klar in ihrer Konzentration abnehmen. Während der Kern der Konkretion aus korrodiertem Eisen besteht, liegt der Gehalt an Eisen in der Konkretion nur noch bei ~ 5 %.

Die Konkretionen wachsen um den Eisenkern, wobei hellere und dunklere Bereiche in der Zementation sichtbar werden (Abb. 4 a,b; Abb. 5 a). Die Farbe variiert zwischen einem hellen und einem dunklen rötlichen Braun, im Munsell-Farbsystem durch die Farbwerte 2.5YR 5/8, 2.5YR 4/8 und 2.5YR 3/6 gekennzeichnet. Diese auf das wechselnde Potenzial zurückzuführende Färbung tritt nicht ausschließlich gebändert auf. Es ist eher von einem unregelmäßig verteilten Mikroenvironment auszugehen, indem reduzierende und oxidierende Bedingungen engräumig wechseln.

Die nahe der Sedimentoberfläche





Abb. 4a (oben) Anschliff mit korrodiertem Eisenkern (Rechteck)
Abb. 4b (rechts) frischer Anbruch im zementierten Bereich einer Eisenkernkonkretion

eingebetteten Eisenteile werden durch das Korrosionsmedium Wasser angegriffen. Die gelösten Salze des Wassers wirken dabei stark korrosiv. Die Korrosion führt zu einer Anodenreaktion, wobei das unedle Metall – hier Eisen – Elektronen freisetzt. Im basischen Milieu (Tab. 1) reagiert Wasser mit diesen freigesetzten Elektronen zu Hydroxid. In Anwesenheit von Sauerstoff wird die doppelte Anzahl von Hydroxidionen gebildet. Das gelöste Eisen reagiert und fällt in Hydroxid-Bindung unmittelbar um den Kern, der Lieferant und jetzt auch den Kristallisationskeim darstellt, wieder aus.

Abb. 5a Farbnuancen einer Eisenkernkonkretion vom Borkumer Nordoststrand

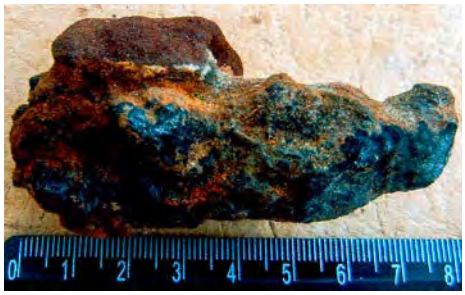
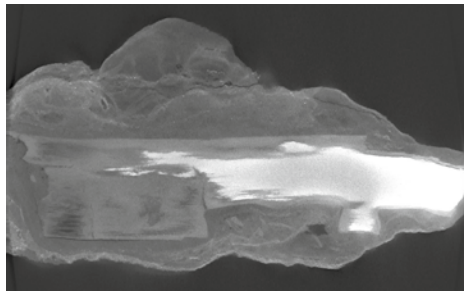


Abb. 5b Aufnahme der gleichen Konkretion mit erkennbarem Geschossmantelrest im Längsschnitt unter Magnetresonanztomografie (MRT, Aufnahme M. Halisch, LIAG)")



Diskussion

Zur Herkunft des Eisens in der Konkretion postulieren Liebezeit et al. (2003) neben der Lieferung aus dem Eisenkern auch die Anlieferung aus dem umgebenden Sediment. Diese Annahme beruhte vor allem auf dem guten Erhaltungszustand der Munitionshülsen im Kern der Konkretion. Weiterhin kann in den durch Liebezeit et al. (2003) beschriebenen Fundgebieten des Watts mit den feinkörnigen Ablagerungen wie im Jadebusen die Zirkulation und Ausfällung von Eisen, z. T. unter biologischer Aktivität, beobachtet werden.

Eisenreiche Ablagerungen finden sich auch in den strömungsreichen Rinnen der Außensande, dort wo eiszeitliche Ablagerungen angeschnitten sind. In den als „Rote Sande" bekannten Gebieten besitzen die Muschelbänke einen rostbraunen Farbton (Meynen et al. 1961). Die Gebiete liegen jedoch in Wassertiefen von 10 bis 20 m unter der Wassersäule und bieten nicht die notwendigen Bedingungen zur Konkretionsbildung. Im Borkumer Fundgebiet besitzen die Sande keine Eisenoxid/-hydroxid angereicherten Schichten oder pedogene Horizonte, die als Lieferant in Frage kommen könnten. Lieferant für die Konkretionsbildung bleibt einzig und allein der Eisenmetallkern, wenn man die in-situ-Entstehung annimmt. Dafür sprechen folgende Beobachtungen:

- die eingebetteten Muschelschalen sind abgerieben oder zerbrochen,
- die eingebetteten Muschelschalen gehören zu Arten, die sowohl im als auch auf dem Sediment leben,
- typischer Strand-Zerrieb wie gebleichte Pflanzenhäcksel und Stücke von Ambulakralplatten des Herzigels sind in der Konkretion einzementiert,
- der zementierte Sand besitzt das gleiche enge Körnungsspektrum wie der umgebende Sand des Strandes,
- die Konkretionen mit der nahezu doppelten Dichte des Sandes sind verhältnismäßig schwer für weite Verlagerung.

Der Anteil an Eisen in Form von ausfällendem Eisenoxid/-hydroxid ist in der eigentlichen Konkretion gering. Er reicht dennoch aus, um die Sandkörner zu zementieren. Bei der Annahme eines Volumenverhältnisses von 1:1 zwischen Eisenkern und Konkretion beträgt dabei der Substanzverlust durch Korrosion im Eisenkern nur ~ 5 %. Die Form des künstlichen Kerns kann somit lange erhalten bleiben.

Da die Munition nachweislich aus den letzten Weltkriegen stammt, ist das schnelle synsedimentäre Wachstum der Konkretionen in wenigen Jahrzehnten anzunehmen.

Die Kerne der Konkretionen sind verhältnismäßig groß (Abb. 4 a, 5 b). Je dicker jedoch die zementierte Konkretionsummantelung wird, umso weniger kann das Korrosionsmedium Salzwasser Elektronen aus dem Eisenkern mobilisieren. Das Wachstum der Konkretion verlangsamt sich und könnte möglicherweise ganz aufhören.

Einige der Eisenkernkonkretionen sind Fundstücke mit gewisser wahrnehmbarer Schönheit (Abb. 2), die als Sammlerstücke, auch gerade im Wissen der besonderen Entstehungsbedingungen, ihren Wert erhalten.

Glossar

Abrasion abtragende Tätigkeit und fortschreitende Veränderung an Küsten durch Gezeiten und Wettereinflüsse wie Wind und Regen.

Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit hier in Zentimeter pro Tag angegeben [cm/d] – ist das auf den Einheitsquerschnitt bezogene Wasservolumen, das pro Zeiteinheit und bei einem hydraulischen Gradienten von 1 cm/cm geleitet wird.

Hochenergieküste bezeichnet an der Nordsee den küstenparallelen Versatz der Ablagerungen. Der Sand ist permanent in Bewegung.

Hochofenbims Nebenerzeugnis aus der Schlacke der Eisenverhüttung. Er wurde seit den 30er-Jahren des letzten Jahrhunderts produziert und gerade im Nordseeraum für Bauzwecke verschifft und eingesetzt. Aufgrund seiner geringen Dichte kann das Material über weite Strecken im Meer verlagert werden.

ICP-OES steht für „inductively coupled plasma optical emission spectrometry". Die Methode wird zur quantitativen und qualitativen Analyse von Proben eingesetzt.

In-situ-Bildung Begriff für die unmittelbare Entstehung am Ort.

Königswasser Gemisch aus konzentrierter Salzsäure und konzentrierter Salpetersäure im Verhältnis 3:1, es dient dem Aufschluss von Mineral- und Bodenproben.

Konkretion unregelmäßig gestaltetes Mineral-Aggregat, das in einem anders gearteten feinkörnigen Sediment aus einer wässrigen, zirkulierenden Lösung entsteht.

Mikroenvironment Begriff, der in Biologie, Ökologie und Ökonomie eingesetzt, einen kleinen Bereich, in dem bestimmte Bedingungen für Organismen oder ökonomische Entwicklungen bestehen, bezeichnet.

Munsell-Farbsystem vollständiges Farbsystem zur Erfassung von Materialfarben. Es wird in der Bodenkunde zur Beschreibung und eindeutigen Zuordnung der Bodenfarbe eingesetzt.

Obersenon geologische chronostratigrafische Stufe, die auch als Maastrichtium bezeichnet wird. Die Schreibkreide entstand während dieser Zeit.

Pedogene Horizonte entstehen, wenn amorphe und kristalline Fe-, Mn-, Al- und Si-Oxide und Hydroxide, die im Verlauf der Bodenentwicklung als Mineralneubildungen durch Verwitterung primärer Silikate entstanden sind, aus dem Sicker-, Hang- und Grundwasser durch Oxidation gefällt werden.

Raseneisenstein durch besonders hohe Eisengehalte gekennzeichnete Verfestigungen in rezenten und fossilen Grundwasserböden, die als Konkretionen oder bankartig als Bodenhorizonte auftreten.

Redoxpotenzial Wert für die oxidierenden (Redoxpotenzial hoch) oder reduzierenden Eigenschaften (Redoxpotenzial niedrig) eines Systems, dessen Spannung in Volt gemessen wird.

Steinschlosspistole Waffe mit Auslösemechanismus, der mit einem Feuerstein zündet und ab ca. 1700 bei nahezu allen Armeen zum Einsatz kam.

synsedimentär bezeichnet Vorgänge, die während der Ablagerung des Materials ablaufen.

Literatur

Busch, K.-F. (1988): Wasser. – BI-Taschenlexikon, VEB Bibliographisches Institut Leipzig.

Das Inselmagazin (2013): Die Pistole vom Strand – Interessanter Fund nach Restaurierung jetzt im Heimatmuseum. – Borkum Aktuell, August 2013: 96–97.

Figge, K. (1981): Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht. Maßstab 1:250000. – Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg.

Graupner, A. (1982): Raseneisenstein in Niedersachsen. Entstehung, Vorkommen, Zusammensetzung und Verwendung. – Forschungen zur niedersächsischen Landeskunde, 118: 180 S.; Göttingen.

Hennings, V. (2002): Methodendokumentation Bodenkunde – Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. – Sonderhefte Reihe G – Geologisches Jahrbuch, Heft 1; Hannover.

Janssen, F.; Huettel, M.; Witte, U. (2005): Pore-water advection and solute fluxes in permeable marine sediments (II): Benthic respiration at three sandy sites with different permeabilities (German Bight, North Sea). – Limnology Oceanography, 50, 3: 779–792.

Kulturtechnik (1990): Erfassung und Erkundung der Rüstungsaltlasten in der Nordsee. Bericht an den Niedersächsischen Umweltminister: 118. S.

Kurze, M.; Pfeiffer, L.; Mathe, G. (1985): Einführung in die Petrologie. – 2. Auflage, Akademie Verlag; Berlin.

Liebezeit, G.; Wehrmann, A.; Hamacher, S. (2003): Modern Concretions in Intertidal Flats of the Lower Saxony Wadden Sea, Southern North Sea. – Senckenbergiana maritime, 32, 1/2: 147–154.

Meynen, E.; Müller-Miny, H.; Schneider, S. (Hrsg.) (1961): Luftbild und Küstengeographie am Beispiel der deutschen Nordseeküste. – Schriftenfolge des Instituts für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung: 117 S.; Bad Godesberg.

Nestler, H. (2002): Die Fossilien der Rügener Schreibkreide. – 5. Auflage, Neue Brehm Bücherei; 486.

NIBIS Kartenserver (2015): Geologische Karte 1:25000. – https://nibis.lbeg.de/cardomap3/ (31.08.2015).

Seefestung Borkum (2015): http://www.schoenbeck-borkum.de/Geschichte%20Chronik/Geschichte%20Chronik%20Seefestung%20Borkum.html (10.09.2015).

Straaten, L.M.J.U. van (1957): Recent sandstones on the coasts of The Netherlands and of the Rhone delta. Geologie en Mijnbouw, 19: 196–213.

Wikipedia (2015): Patrone (Munition). https://de.wikipedia.org/wiki/Patrone_%28Munition%29 (10.09.2015).

Arbeit eingereicht: 15.09.2015
Arbeit angenommen: 29.11.2016

Anschrift des Verfassers:
Dr. Michael Fuchs
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover
E-Mail: michael.fuchs@bgr.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Naturhistorica - Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 2016/2017

Band/Volume: 158-159

Autor(en)/Author(s): Fuchs Michael

Artikel/Article: Eisenkernkonkretionen aus dem Gezeitenbereich der Nordsee 179-188