



Entwicklung der Makrophytenvegetation bei Helgoland vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie

Development of macrophyte vegetation off Helgoland against the background of the EU Water Framework Directive

INKA BARTSCH und RALPH KUHLENKAMP

Key Words: *Fucus*, Helgoland, macrophytes, monitoring, *Ulva*, Water Framework Directive

Zusammenfassung

Seit ungefähr 100 Jahren gibt es Feldforschung auf der Insel Helgoland (Nordsee), die sich mit der Vielfalt und der Entwicklung der Flora und Fauna befasst. Trotz allem gibt es erst seit dem Jahr 2003 regelmäßige quantitative Untersuchungen, die Bestandsveränderungen in Raum und Zeit sicher belegen können. Vor dem Hintergrund der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) müssen für alle deutschen Küsten- und Übergangsgewässer Qualitätskriterien formuliert werden, die helfen sollen, in Zukunft die Wasserqualität zu beurteilen. Biologische Qualitätskriterien sind dabei der Zustand des Makrophyto- und Makrozoobenthos sowie des Phytoplanktons. Da eine Beurteilung der Wasserqualität sowohl Informationen zum historischen, wenig belasteten Zustand als auch ein regelmäßiges Monitoring der Bestände heutzutage erfordern, wurde in den letzten Jahren ein eigenes Beurteilungskonzept für die Makrophyten Helgolands entwickelt. Dieses beinhaltet die Erfassung des Artenspektrums, der Ausbreitung des vieljährigen Brauntanges *Fucus serratus* und der Grünalge *Ulva lactuca* im Gezeitenbereich sowie die Beobachtung der Tiefenausbreitung ausgewählter Arten im Sublitoral. Alle Parameter zusammen fließen in einen Index ein, der ein Maß für die Wasserqualität ist. Nach diesem Index befindet sich der Wasserkörper N5 Helgoland in einem Zustand zwischen gut und mäßig. Eine endgültige Aussage hierzu wird erst in naher Zukunft möglich sein, wenn längere Datenreihen gesammelt wurden.

Summary

The diversity and development of marine flora and fauna at the island of Helgoland (Germany, North Sea) has been documented in detail for about 100 years now. Nevertheless, a regular quantitative assessment of macrophytobenthos allowing spatio-temporal changes of macroalgal species to be verified was started as late as 2003. Against the background of the European Water Framework Directive (WFD) for all coastal and transitional waters, quality criteria have to be defined which will allow an assessment of water quality. Biological quality criteria are the condition of macrophyto- and zoobenthos, and of phytoplankton. An assessment of water quality requires not only regular monitoring of the current status but also information about the historical, unpolluted state of the area. In order to meet these requirements, a specific index has been developed for the macrophytes of Helgoland. The index combines information about macroalgal species richness, spatial extent and cover of the serrated wrack *Fucus serratus* and of the green alga *Ulva lactuca* in the intertidal area and data on the depth limit of selected subtidal species. According to this macrophyte index, the waterbody N5 of Helgoland is in a moderate to good state. A final assessment will only be possible when more data are available.

Hintergrund

Die Analyse des historischen Zustandes der Makrophytenvegetation Helgolands, die nach dem Erlass der WRRL als Basis für eine Beurteilung des jetzigen und künftigen Zustandes der Wasserqualität bei Helgoland dienen soll, war schwierig, da nicht nur qualitative Informationen über das Arteninventar sondern auch quantitative Informationen über deren Anzahl, Bedeckungsgrad oder Biomasse mit in die Beschreibung der fünf Bewertungs-Klassen vom ‚sehr guten‘ über den ‚guten‘, ‚mäßigen‘, ‚unbefriedigenden‘ und ‚schlechten‘ Zustand einfließen müssen. Für den prä-eutrophierten, historischen Referenzzeitpunkt um 1900 gibt es nur qualitative Daten (z.B.: KUCKUCK [1897], Schmidt [1928], DAMMAN [1930], NIENBURG [1930]), die dem Experten aber eine Trendbeurteilung erlauben. Da der Wasserkörper um Helgoland durch seine Kleinräumigkeit keinen Gradienten in der Wasserqualität aufweist, z. B. durch punktuelle Einleitungen industrieller Abwässer, können neu entwickelte Indizes, die als wichtig für die Beurteilung der Wasserqualität angesehen werden, bei Helgoland nicht getestet werden. Deshalb wurde eine Adaptation lokaler Testparameter an internationale Verfahrensweisen entwickelt (KUHLENKAMP und BARTSCH [2008]).

Verschmutzungsgradient		
<i>Mytilus</i> -Vorkommen	→	Zunahme
Grünalgen	→	Zunahme an Arten und Menge
Braunalgen	←	Abnahme an Arten und Menge
Artenreichtum	←	Abnahme
Seltene Arten	←	Abnahme
Algentiefengrenzen	←	Abnahme

Tab.1: Allgemeine Verschmutzungseffekte und erwartete Entwicklung biotischer Komponenten entlang des Wasserqualitätsgradienten (nach BARTSCH und KUHLENKAMP [2004], verändert). Zusammengestellt nach BOROWITZKA [1972], BROWN et al. [1977], CHRYSOVERGIS and PANAYOTIDIS [1995], GESAMP [1989], HARDY et al. [1993], KANGAS et al. [1982], KAUTSKY et al. [1986, 1992], MIDDLEBOE and SAND-JENSEN [2000], MUNDA [1993], RODRIGUEZ-PRIETO and POLO [1996], SCHRAMM and NIENHUIS [1996], TEWARI and JOSHI [1988], VON STOSCH [1969]. Die Auswahl der Arbeiten ist nur ein Auszug aus der umfassenden Literatur zu diesem Thema und nicht abschließend.

Table 1: General pollution effects and the anticipated reaction pattern of biotic components along a water quality gradient (after BARTSCH and KUHLENKAMP [2004], modified). Assembled after BOROWITZKA [1972], BROWN et al. [1977], CHRYSOVERGIS and PANAYOTIDIS [1995], GESAMP [1989], HARDY et al. [1993], KANGAS et al. [1982], KAUTSKY et al. [1986, 1992], MIDDLEBOE and SAND-JENSEN [2000], MUNDA [1993], RODRIGUEZ-PRIETO and POLO [1996], SCHRAMM and NIENHUIS [1996], TEWARI and JOSHI [1988], VON STOSCH [1969]. The choice of publications is a selection from the extensive literature available and is not final.

Darstellung der Ergebnisse

Wasserverschmutzung und ihre Auswirkungen auf marine Makrophyten

Nach Analyse von Primärliteratur, die sich mit dem Einfluss von Verschmutzungsgradienten auf Makrophyten befasst (BARTSCH und KUHLENKAMP [2004]), ergeben sich folgende Trends, die entlang verschlechterter Wasserqualität auftreten (Tab. 1). Indizes zur Bewertung sollten also möglichst einen Teil dieser Parameter umfassen. Dies wurde bei der Entwicklung des von der WRRL geforderten Gewässergüteindex (Ecological Quality Ratio, EQR) für Helgoland berücksichtigt (KUHLENKAMP und BARTSCH [2008]).

Räumliche Verteilung der Makrophytenbestände bei Helgoland

Die Makrophytenbestände bei Helgoland sind limitiert auf den Bereich des Helgoländer Felssockels mit festem Untergrund aus Bundsandstein, Kreide oder Muschelkalk. Sand oder Geröllbereiche sind gar nicht oder nur wenig von Makroalgen besiedelt. Insgesamt befindet sich der Hauptanteil der Algenvegetation im Sublitoral. Brauntangwaldbestände mit Unterwuchs von Rotalgen kommen bis ca. 10 m Tiefe vor, buschige Rotalgen- und Krustenvegetation ist bis ca. 20 m Tiefe vorhanden (PEHLKE and BARTSCH [2008]). Der mit Makrophyten bewachsene Gezeitenbereich ist zwar prägnant, da dem Beobachter leicht zugänglich, stellt aber in seiner Ausdehnung nur ca. 1% der von Makrophyten dominierten Gesamtfläche des Helgoländer Felssockels dar (Abb. 1).

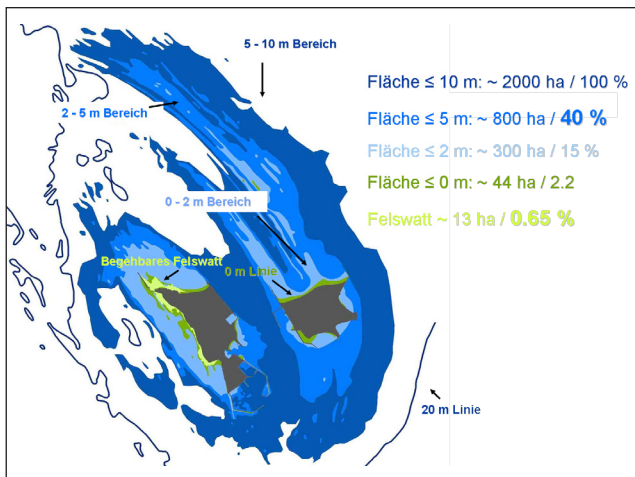


Abb. 1: Makrophyten dominierte Bereiche des Helgoländer Felssockels.

Oben: Nach LÜNING [1970] und PEHLKE and BARTSCH [2008] breitet sich der dichte Brauntangwald bis zu ca. 6 m Tiefe aus, darunter sind in der Tiefenabfolge eine Parkvegetation, Rotalgengemeinschaften und Krustenalgen bis zu einer Tiefe von mindestens 20 m zu finden (DE KLUIJVER [1991]). Die Fläche zwischen 0 und 10 m unter mittlerem Niedrigwasser wird von Makroalgen dominiert und wird deshalb überschlagsmäßig als 100% der von Makroalgen dominierten Siedlungsfläche angesehen.

Unten: Blick auf das algenbedeckte Eulitoral im Bereich des N-Wattes

Fig. 1: Macrophyte dominated areas off Helgoland.

Above: The dense kelp forests extend down to 6 m below mean low water springs (MLWS), followed by a kelp park vegetation, red algal communities and crustose algal communities (After LÜNING [1970], PEHLKE and BARTSCH [2008]). The latter extend down to at least 20 m below MLWS (DE KLUIJVER [1991]). The area between 0 and 10 m below MLWS is dominated by macroalgae and is thus considered to represent 100% of the macroalgal covered area.

Below: The northern intertidal area densely covered by seaweeds

Zeitliche Entwicklung der Makrophytenbestände bei Helgoland

Die letzten 100 Jahre

Die ersten publizierten Funde mariner Makroalgen bei Helgoland datieren aus der Mitte des 19ten Jahrhunderts. Seither wurden insgesamt 274 Makroalgenarten und eine Seegrasart bei Helgoland diagnostiziert (BARTSCH and KUHLENKAMP [2000]). Davon gehören 77 Arten zu den Grünalgen (Chlorophyta), 100 Arten zu den Braunalgen (Phaeophyta) und 97 Arten zu den Rotalgen (Rhodophyta). Durch eine umfassende Analyse alter und neuer Literatur sowie des auf Helgoland geführten Herbariums, in dem ab 1846 gepresste Algen aufbewahrt werden, war es möglich, die Veränderungen der Makrophytenvegetation bei Helgoland in den letzten 100 Jahren aufzuzeigen. Folgende Veränderungen haben statt gefunden:

- Einige Arten, die bereits um 1900 selten waren, sind mittlerweile ganz verschwunden: Braunalgen: *Arthrocladia villosa*, *Corynophlea crispa*, *Cutleria multifida*, *Eudemse virescens*, *Mesogloia vermiculata*, *Sporochnus pedunculatus*, Rotalgen: *Antithamnion cruciatum*, *Apoglossum ruscifolium*, *Chondria dasyphylla*, *Helmintora divaricata*, *Jania rubens*, *Osmundea ramosissima*, Seegräser: *Zostera marina* (BARTSCH and KUHLENKAMP [2000], BARTSCH and TITTLLEY [2004])
- manche Arten sind nur noch in Mikrostadien vorhanden: die beiden Sommerrotalgen *Helmintocladia calvadosii* und *Scinaia furcellata* (KORNMANN und SAHLING [1980])
- wieder andere Arten sind invasiv oder wurden ausgesetzt: die Grünalge *Codium fragile*, die Rotalgen *Bonnemaisonia hamifera* und *Mastocarpus stellatus*, und die Braunalge *Sargassum muticum* (KORNMANN und SAHLING [1994])
- im Jahr 2007 wurden 2 Neuzugänge von Rotalgen beobachtet, die normalerweise eine südlichere Verbreitung haben: *Callithamnion tetragonum* und *Halurus flosculosus* (WAGNER, pers. Mittlg.)
- manche Arten waren zwischenzeitlich für einige Jahrzehnte verschwunden und sind seit ca. 1999 wieder aufgetreten: die Braunalgen *Dictyota dichotoma* und *Leathesia difformis* (Bartsch and KUHLENKAMP [2000])
- für manche Arten wurden deutliche Bestandsveränderungen nachgewiesen: die beiden sublitoralen Brauntange *Laminaria hyperborea* und *Saccharina latissima* (PEHLKE and BARTSCH [2008])

Bei einem Vergleich des Artenreichtums bis 1935 (Prä-Eutrophierungszustand), ab 1959 bis 1998 (Eutrophierungsphase) und über den gesamten Zeitraum hinweg wird deutlich, dass sich zwar die Artenmenge nicht wirklich verändert hat, aber doch die Artenzusammensetzung. Besonders deutlich wird der Anstieg der Grünalgenarten und die Abnahme der Braunalgenarten (Abb. 2), beides Kriterien, die auf eine verschlechterte Wasserqualität nach Tabelle 1 hinweisen.

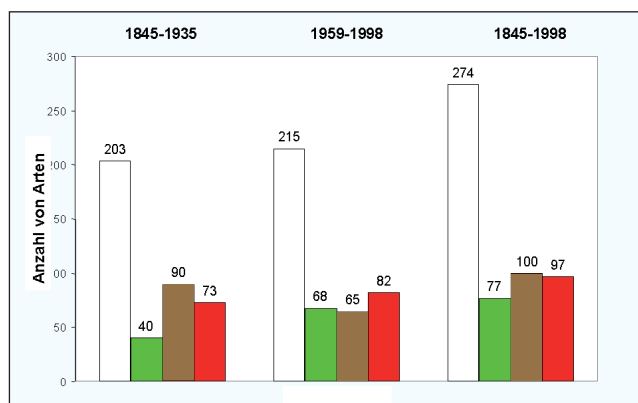


Abb. 2: Entwicklung des Makroalgen-Artenreichtums von Helgoland zwischen 1845 und 1998. Weiß: Anzahl aller registrierten Arten, Grün: Anzahl Grünalgenarten, Braun: Anzahl Braunalgenarten, Rot: Anzahl Rotalgenarten (nach BARTSCH and KUHLENKAMP [2000])

Fig. 2: Development of macroalgal species richness at Helgoland between 1845 and 1998. White bars: number of all registered species; green, brown, red bars: number of green, brown or red algal species, respectively (according to BARTSCH and KUHLENKAMP [2000])

Veränderungen und Bewertung

Die letzten 5 Jahre

Quantitative, großräumige Bestandsaufnahmen der Makrophytenvegetation von Helgoland im Gezeitenbereich werden erst seit 2003 durchgeführt. Zwischen 1999 und 2002 gab es zusätzlich punktuelle quantitative Aufnahmen zur Charakterisierung der vorhandenen Biotope (BARTSCH and TITTLE [2004]). Die Analyse dieser noch sehr kleinen Zeitserie zeigt interessante Ergebnisse. So kann erstmalig die inter- und intra-annuelle Fluktuation aller Makroalgenarten, die im Untersuchungsgebiet vorkommen, raum-zeitlich quantifiziert und visualisiert werden. Als Beispiel für die Fluktuationen werden hier die Bedeckung mit dem Säge tang *Fucus serratus* und die Ausbreitung der Grünalgenzone im oberen Litoral näher beschrieben.

Die prägnante Grünalgenzone im oberen Litoral hat sich seit 1999 in ihrer seewärtigen Ausbreitung nicht wesentlich verändert, zeigt aber eine saisonale Dynamik, wie an Hand von Boden-Kartierungsarbeiten und ausgewerteten Luftbildszenen festgestellt werden konnte (Abb. 3).

Bei dieser dichten Grünalgenvegetation des oberen Litorals, deren Bedeutung lange nicht eingeordnet werden konnte, wird mittlerweile davon ausgegangen, dass es sich nicht um die Folge von Eutrophierung handelt, sondern sich hier auf Grund von regelmäßiger mechanischer Störung durch Abrieb oder Detritus-Ablagerung nur Pioniergesellschaften etablieren können, die vor allem aus Grünalgen der Gattung *Ulva* und anderen schnell-wüchsigen Arten bestehen. Anders sind jedoch die häufigen, dichten Vorkommen diverser Grünalgenarten im mittleren Eulitoral zu bewerten (KUHLENKAMP and BARTSCH [2008]). Hier werden Eutrophierungsercheinungen vermutet. Die Abundanzen des Meer-salates *Ulva lactuca*, die über den gesamten eulitoral-ralen Bereich vorkommen kann, gehen deshalb in den Index zur Wasserbewertung für die WRRL mit ein (KUHLENKAMP and BARTSCH [2008]).

Die Säge tang- (*Fucus serratus*) Bestände im N-Watt zeigen ebenfalls eine deutliche Fluktuation ihres Bedeckungsgrades (BARTSCH et al. [2008]), was bei dieser mehrjährigen Art nicht erwartet wurde. Besonders im Winter 2006/2007 erlitt die durch *Fucus serratus* gebildete Makroalgendeck-schicht einen so starken Einbruch (Abb. 4), wie er seit 1999 nicht beobachtet wurde. Da dieser Winter keine Frostperioden aufwies, wird vermutet, dass ungewöhnliche, intensive Sturmtätigkeit aus nörd-lichen Windsektoren zu einem mechanischen Ab-riß geführt haben könnten (BARTSCH, pers. Mittlg.). Analysen auch experimenteller Daten zeigen, dass Abundanz und Spektrum der Unterwuchsflora durch den Wegfall von *Fucus serratus* kurzfristig nicht beeinträchtigt werden (VALDIVIA, pers. Mittlg.). In der zweiten Wachstumssaison haben sich die Be-stände noch nicht vollständig erholt (BARTSCH et al. [2008]), so dass zur Abschätzung der Regeneration weitere regelmäßige Beobachtungen nötig sind.

Da die Brauntangbestände der Gattung *Fucus* eine Klimaxvegetation darstellen und ihre Degradation im Allgemein als Anzeichen verschlechterter Was-serqualität gewertet wird (z.B.: KANGAS et al. [1982], KAUTSKY et al. [1986]), geht die Ausbreitung der *Fucus serratus* Flächen mit in den Index für die

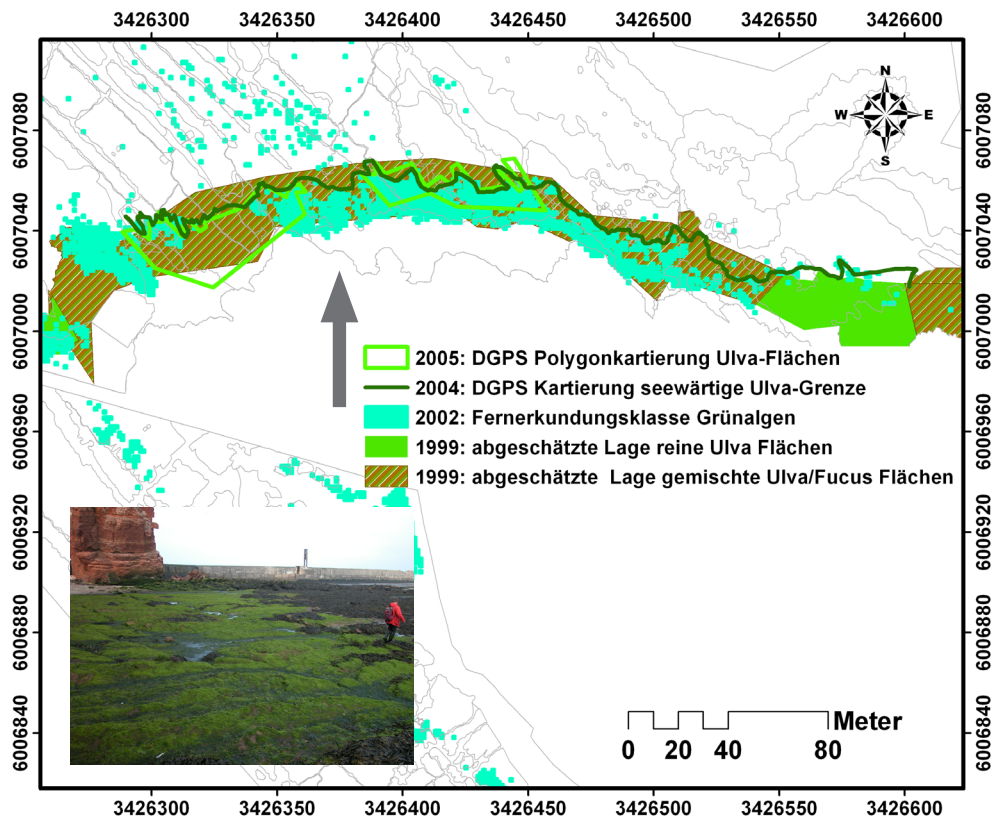


Abb. 3. Variation der dichten *Ulva* (*Enteromorpha*)-Bestände zwischen 1999 und 2005 im oberen Litoral des Helgoländer N-Watts. Der Vergleich verschiedener Untersuchungen zeigt die relativ konstante, ähnliche Lage der seawärtigen Grenze (1999 und 2004: BARTSCH und TITILEY, unpubliziert; 2002: THIEMANN and BARTSCH [2005]; 2005: BARTSCH et al. [2005]).

Fig. 3: Variation of dense *Ulva* (*Enteromorpha*) stands between 1999 and 2005 in the upper intertidal at Helgoland. The comparison of different investigations shows a relatively constant seaward extension (1999 und 2004: BARTSCH und TITILEY, unpublished; 2002: THIEMANN and BARTSCH [2005]; 2005: BARTSCH et al. [2005]).



Abb. 4: *Fucus serratus* Deckschicht im Helgoländer N-Watt. Links: Dichte Bedeckung im Sommer 2006. Rechts: ‚Kahlschlag‘ im Winter 2006/2007. Fotos: (Aus: SCHUBERT et al. [2007]).

Fig. 4: *Fucus serratus* cover in the northern intertidal of Helgoland. Left: dense coverage during summer 2006. Right: ‚clear-cutting‘ during winter 2006/2007. Photos from SCHUBERT et al. [2007]

WRRL ein (KUHLENKAMP und BARTSCH [2008]). Ein Vergleich der heutigen dichten *Fucus*-Flächen im N-Watt mit modellierten historischen Flächen lässt die Vermutung zu, dass sich die dichten Bestände, besonders durch die Abnahme des Blasentang *Fucus vesiculosus* im mittleren Eulitoral, sehr verringert haben (BARTSCH und KUHLENKAMP [2004]). Da die Gründe für den Rückgang des Blasentangs unbekannt sind, wird für den WRRL-Index nur die Ausbreitung der Sägetangfläche verwendet, die relativ stabil geblieben ist, abgesehen von dem wahrscheinlich kurzfristigen Einbruch im Jahr 2006/2007.

Ausblick

Bei Berücksichtigung aller Parameter, die in den Index zur Makrophytenbewertung Helgolands einfließen (Artenreichtum, Ausbreitung *Fucus serratus*, Abundanz *Ulva lactuca*, Algentiefengrenzen (für Details siehe KUHLENKAMP und BARTSCH [2008]) ergibt sich für Helgoland trotz der vielfältigen aufgetretenen Veränderungen, die seit Mitte des 19ten Jahrhunderts registriert wurden, eine Wasserqualität, die im Grenzbereich zwischen der ‚guten‘ und ‚mäßigen‘ Klasse liegt. Da die Datenlage noch dünn ist, sollte erst nach einigen Jahren Monitoring ein abschließendes Urteil gefällt werden.

Danksagung

Ein großer Teil der Arbeiten, die in diesen Bericht eingeflossen sind, wurde mit freundlicher Unterstützung des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU), durchgeführt.

Literatur

- BARTSCH, I. and R. KUHLENKAMP, 2000: The marine macroalgae of Helgoland (North Sea): An annotated list of records between 1845 and 1999. *Helgoland marine Research*, 54, 160-189.
- BARTSCH, I. und R. KUHLENKAMP, 2004: WRRL-Klassifizierungssystem WK Helgoland. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek, Deutschland, 113 Seiten.
- BARTSCH, I. and I. TITTELY, 2004: The rocky intertidal biotopes of Helgoland: present and past. *Helgoland marine Research*, 58, 289-302.
- BARTSCH, I., KUHLENKAMP, R., BOOS, K. und C. GEHLING, 2005: Praxistest für das Makrophyten- und Miesmuschel-Monitoring bei Helgoland im Rahmen der WRRL: Küstengewässertyp Helgoland (N5). Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt, Flintbek, Deutschland, 71 Seiten.
- BARTSCH, I., KUHLENKAMP, R., SCHUBERT, P. and R. KAREZ, 2008: Influence of physical perturbation on *Fucus* cover and restoration in the rocky intertidal of Helgoland (North Sea) and its significance for monitoring under the water framework directive (WFD). Abstractbook 43rd European Marine Biology Symposium, 8 -12 Sept. 2008, Ponta Delgada, Sao Miguel, Azores, p. 17.
- BOROWITZKA, M.A., 1972: Intertidal algal species diversity and the effect of pollution. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 23, 73-84.
- BROWN, V., DUCKER, S.C. and K.S. ROWAN, 1977: The effect of orthophosphate concentration on the growth of articulated coralline algae (Rhodophyta). *Phycologia*, 16, 125-131.
- CHRYSOVERGIS, F. and P. PANAYOTIDIS, 1995: Communities of macrophytobenthos along an eutrophication gradient (Maliakos Gulf, Aegean Sea, Greece). *Oceanologica Acta*, 18, 649-658.
- DAMMAN, H., 1930: Entwicklungsgeschichtliche und zytologische Untersuchungen an Helgoländer Meeresalgen. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, Abt. Helgoland, 18, 1-37.
- KLUIJVER, M.J. DE, 1991: Sublittoral hard substrate communities off Helgoland. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 45, 317-344.
- GESAMP (IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution), 1989: Long-term consequences of low-level marine contamination. An

- analytical approach. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 14 Seiten.
- HARDY, F.G., EVANS, S.M. and M.A. TREMAYNE, 1993: Long-term changes in the marine macroalgae of three polluted estuaries in North-East England. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 172, 81-92.
- KANGAS, P., AUTIO, H., HAELLFORS, G., LUTHER, H., NIEMI, A., and H. SALEMAA, 1982: A general model of the decline of *Fucus vesiculosus* at Tvaerminne, south coast of Finland in 1977-81. *Acta Botanica Fennica*, 118, 1-27.
- KAUTSKY, N., KAUTSKY, H., KAUTSKY, U. and M. WAERN, 1986: Decreased depth penetration of *Fucus vesiculosus* (L.) since the 1940's indicates eutrophication of the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 28, 1-8.
- KAUTSKY, H., KAUTSKY, L., KAUTSKY, N., KAUTSKY, U., and C. Lindblad 1992: Studies on the *Fucus vesiculosus* community in the Baltic Sea. *Acta Phytogeographica Suecica*, 78, 33-48.
- KORNMAN, P. und H.P. SAHLING, 1980: Kalkbohrende Mikrothalli bei Helminthocladia und Scinaia (Nemalionales, Rhodophyta). *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 34, 31-40.
- KORNMAN, P. und H.P. SAHLING, 1994: Meeresalgen von Helgoland: Zweite Ergänzung. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 48, 365-406.
- KUHLENKAMP, R. und I. BARTSCH, 2008: Marines Monitoring Helgoland. Benthosuntersuchungen gemäß Wasserrahmenrichtlinie. Handlungsanweisung Makrophytobenthos. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt, Flintbek, Deutschland, 50 Seiten.
- KUCKUCK, P., 1897: Über marine Vegetationsbilder. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 15, 441-448.
- Lüning, K., 1970: Tauchuntersuchungen zur Vertikalverteilung der sublitoralen Helgoländer Algenvegetation. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 21, 271-291.
- MIDDELBOE, A.L. and K. SAND-JENSEN, 2000: Long-term changes in macroalgal communities in a Danish estuary. *Phycologia*, 39, 245-257.
- MUNDA, I.M., 1993: Changes and degradation of seaweed stands in the northern Adriatic. *Hydrobiologia*, 260/261, 239-253.
- NIENBURG, W., 1930: Die Besiedelung des Felsstrandes und der Klippen von Helgoland. II. Die Algen. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 15, 1-15.
- PEHLKE, C. and I. BARTSCH, 2008: Changes in depth distribution and biomass of sublittoral seaweeds at Helgoland (North Sea) between 1970 and 2005. *Climate research*, in press.
- RODRIGUEZ-PRieto, C. and L. POLO, 1996: Effects of sewage pollution in the structure and dynamics of the community of *Cystoseira mediterranea* (Fucales, Phaeophyceae). *Scientia Marina*, 60, 253-263.
- SCHMIDT, O.C., 1928: Die Algenvegetation Helgolands. In: Karsten, G. (Hrsg.): Vegetationsbilder. Jena: Fischer, 25-30.
- SCHRAMM, W. and P.-H. NIENHUIS, 1996: Marine benthic vegetation. Berlin: Springer.
- SCHUBERT, P., KUHLENKAMP, R. und I. BARTSCH, 2007: Ergebnisse einer quantitativen Winterkartierung des Eulitorals auf Helgoland und Vergleich bisheriger Untersuchungen im jahreszeitlichen Verlauf. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt, Flintbek, Deutschland, 33 Seiten.
- STOSCH, H.A. VON, 1969: Observations on *Corallina*, *Jania* and other red algae in culture. Proceedings International Seaweed Symposium, 6, 389-399.
- THIEMANN, S. and I. BARTSCH, 2005: Biotope mapping of the intertidal zone of Heligoland (North Sea) using hyperspectral remote sensing images. Proceedings / 8th International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, 17.-19. Mai 2005, Halifax, Nova Scotia, Canada. (1 CD-ROM), 1-9.
- TEWARI, A. and H.V. JOSHI, 1988: Effect of domestic sewage and industrial effluents on biomass and species diversity of seaweeds. *Botanica Marina*, 3, 389-397.

Autoren dieses Berichts:

Dr. Inka Bartsch
 Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
 Am Handelshafen 12
 27570 Bremerhaven
 E-Mail: inka.bartsch@awi.de

Dr. Ralph Kuhlenkamp
 Phycomarin
 Bredenbergschweg 1
 21149 Hamburg
 E-Mail: ralph.kuhlenkamp@phycomarin.de

Impressum

Herausgegeben vom
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Sekretariat Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (BLMP)
Bernhard-Nocht-Straße 78
20359 Hamburg

www.blmp-online.de

Zu zitieren als: Meeresumwelt Aktuell Nord- und Ostsee, 2009 / 1
© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
Hamburg und Rostock 2009

Ein Glossar zur Reihe findet sich auf der oben genannten Webseite.

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des BSH reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.