



Praxistest für das Makrophyten- und Miesmuschel- Monitoring bei Helgoland im Rahmen der WRRL: Küstengewässertyp Helgoland (N5)

Auftraggeber:

Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek (LANU)

Auftragnehmer:

Alfred-Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27515 Bremerhaven (AWI)

I. Bartsch, R. Kuhlenkamp, K. Boos, C. Gehling

unter weiterer Mitarbeit von R. Karez und P. Schubert

Dezember 2005

Inhalt

I EINLEITUNG	4
II METHODEN	5
2.1 Eulitoral: Punkt- und Flächenkartierungen	5
2.1.1 Punktkartierungen	7
2.1.2 Flächenaufnahmen	9
2.2 Eulitoral: Transektaufnahmen im N-Watt	10
2.3 Sublitoral: Vegetationszonen und Algentiefengrenzen	13
2.3.1 Qualitative und semi-quantitative Analyse des Vertikalgradienten des Makrophytobenthos	16
2.3.2 Quantitative Analyse des Vertikalgradienten des Makrophytobenthos in den unter 2.3.1 definierten Zonen	19
III ERGEBNISSE UND DISKUSSION	20
3.1 Praxistest der Makrophytenklassifizierung.....	20
3.1.1 <i>Fucus serratus</i>	20
3.1.2 <i>Mytilus edulis</i>	25
3.1.3 <i>Ulva</i> und <i>Enteromorpha</i>	31
3.1.4 <i>Laminaria</i> und Algentiefengrenzen	39
3.1.5 Floristische Diversität.....	45
3.1.6 Dauertransekt des LANU	45
3.2 Adaptierte Klassifizierung WK Helgoland (N5)	46
3.2.1 Variable 1. Fucetum.....	46
3.2.2 Variable 2. <i>Mytilus edulis</i>	49
3.2.3 Variable 3. Grünalgen	50
3.2.4 Variable 5. Algentiefengrenzen.....	51
3.3 Gewässergüte WK Helgoland (N5)	54
3.3.1 Variable 1. Fucetum.....	54
3.3.2 Variable 2. <i>Mytilus edulis</i>	54
3.3.3 Variable 3. Grünalgen	55
3.3.4 Variable 5. Algentiefengrenzen.....	58
3.3.5 Übersichtsmatrix	59
3.4 Bemerkungen zur praktischen Durchführung des Monitoring	60

3.4.1 Zuverlässigkeit der Erfassung ausgewählter Bestände mittels der Polygonmethode.....	60
3.4.2 Stützpunktmessung vs. Kontinuierliche Messung	61
3.4.3 Genauigkeit der Flächenerfassung	62
3.4.3 Vergleich Raster-Meßquadrate vs. Polygonmessungen	63
3.4.4 Zeitaufwand	63
3.4.5 GPS-Messungen	64
3.4.6 Ausführung der Freilandmessungen	64
3.4.7 <i>Mytilus</i> -Bestände.....	65
IV ZUSAMMENFASSUNG	65
V LITERATUR	67
VI ANHANG	70

I Einleitung

In der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EU-WRRL) ist laut Kapitel I, Absatz 19, das angestrebte Ziel der Erhalt und die Verbesserung der aquatischen Umwelt mit Schwerpunkt auf der Güte der betreffenden Gewässer. Bis Ende 2004 wurden hierfür landesweit Gutachten zur Gewässerqualität verschiedener Gewässertypen anhand unterschiedlicher biologischer, hydromorphologischer und chemisch-physikalischer Qualitätskomponenten erstellt. Einen wesentlichen Bestandteil dieser Gutachten stellten Vorschläge für ein zukünftiges, praktikables und effizientes Monitoring zur regelmäßigen Kontrolle und Überprüfung der Gütezustände dar.

Im Rahmen eines Auftrages des LANU Schleswig-Holsteins wurde für den Gewässertyp Helgoland (N5) ein historisches Leitbild der Makrophyten erstellt und eine mögliche Makrophytenklassifizierung vorgestellt, die sich an der nur mäßig zur Verfügung stehenden historischen Datenlage orientierte und nicht praktisch auf ihre Verwendbarkeit geprüft werden konnte (Bartsch & Kuhlenkamp 2004). Diese Klassifizierung stellte 8 Variablen auf, von denen in diesem Praxistest fünf Variablen einer Prüfung auf praktische Anwendbarkeit im Feld, Zeitaufwand und nachfolgender Klassifizierungsmöglichkeit unterzogen wurden. Da bereits 2006 ein einsatzreifes Überwachungsprogramm starten soll, werden Empfehlungen ausgesprochen, inwieweit die Klassifizierung nach Bartsch & Kuhlenkamp (2004) anwendbar ist. Im Einzelnen lag der Fokus der Feldarbeiten auf folgenden Aspekten:

- Kartierung der *Fucus serratus* und dominanten Grünalgenbestände im N-Watt Helgolands: ein Vergleich von Rasterkartierung mittels Zählrahmen (Auflösung: ca. 20 m) und Polygonkartierung mittels D-GPS (AWI)
- Grundkartierung der wichtigsten Miesmuschel (*Mytilus edulis*) Bestände um Helgoland (AWI)
- Transektkartierung im N-Watt Helgolands (LANU-SH)
- Kartierung eines sublitoralen Transektes im Norden der Insel zur Ermittlung der Algentiefengrenzen (AWI)

Zur leichteren Unterscheidung der Arten werden im vorliegenden Bericht die *Ulva*-Arten, die vor der kürzlich erfolgten Zusammenführung der Gattungen *Ulva* und *Enteromorpha* noch zur Gattung *Enteromorpha* gehörten, weiterhin unter dem Gattungsnamen *Enteromorpha* geführt.

II Methoden

2.1 Eulitoral: Punkt- und Flächenkartierungen

Untersuchungszeit und Untersuchungsgebiet. Die Freilanduntersuchungen erfolgten zwischen Juni und Mitte Oktober 2005 während günstiger Niedrigwasserphasen. Die begutachteten Gebiete des Eulitoral Helgolands sind in Abb. 1 aufgezeigt.

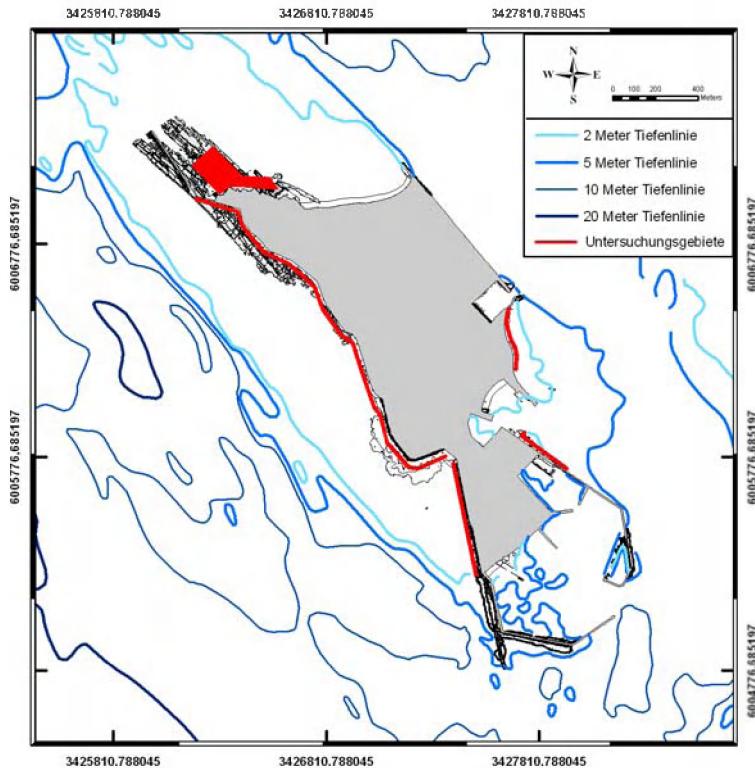


Abb. 1. Untersuchungsgebiete im Eulitoral Helgolands, die für vorliegende Arbeiten beprobt wurden (N-Watt, Westseite, zu Fuß zugängliche äußere Molenanalgen).

Die Begehung des W-Watts bzw. der Westseite der Insel erstreckte sich vom ersten Knick der Molenwand unterhalb der Nordwestmole, ungefähr auf Höhe der „Langen Anna“, bis zum Kringel und weiter entlang der Tetrapoden der Westmole (Wellensturzbecken) bis zum Beginn des Trockendocks im Helgoländer Vorhafen. Da die Tetrapoden im Bereich der Westmole nur von der Mole aus (d.h. von oben) und nicht wie am Kringel durch das Felswatt begehbar waren - und dies auch nur unter riskantem Klettereinsatz - konnten dort nur sporadisch Aufnahmen durchgeführt werden. Weiterhin wurde der Felswattbereich der Ostkaje von der Augustahafenmole bis zur Höhe der Nordkaje des Helgoländer Südhafens untersucht. Da der übrige Außenbereich der Ostkaje unzugänglich war, wurde dieser Standort, ebenso wie die schwer oder nicht zugänglichen Außenseiten der Ost- und Süd mole am Helgoländer Vorhafen sowie die Schwimmbadmole, ausgespart. Nur ein kleines Stück entlang der Mole zwischen NO-Hafen und Landungsbrücke konnte abgesucht werden (s. Abb. 1).

Das Hauptuntersuchungsgebiet N-Watt erstreckte sich über die gesamte Abrasionsterasse entlang der Schichtköpfe und -flächen aus Buntsandstein von der oberen *Enteromorpha*-Zone (exklusive der *Enteromorpha*-Rasen am steil aufragenden Buntsandstein-Felsen) bis hin zur *Laminaria*-Zone im unteren Eulitoral (Abb. 2).

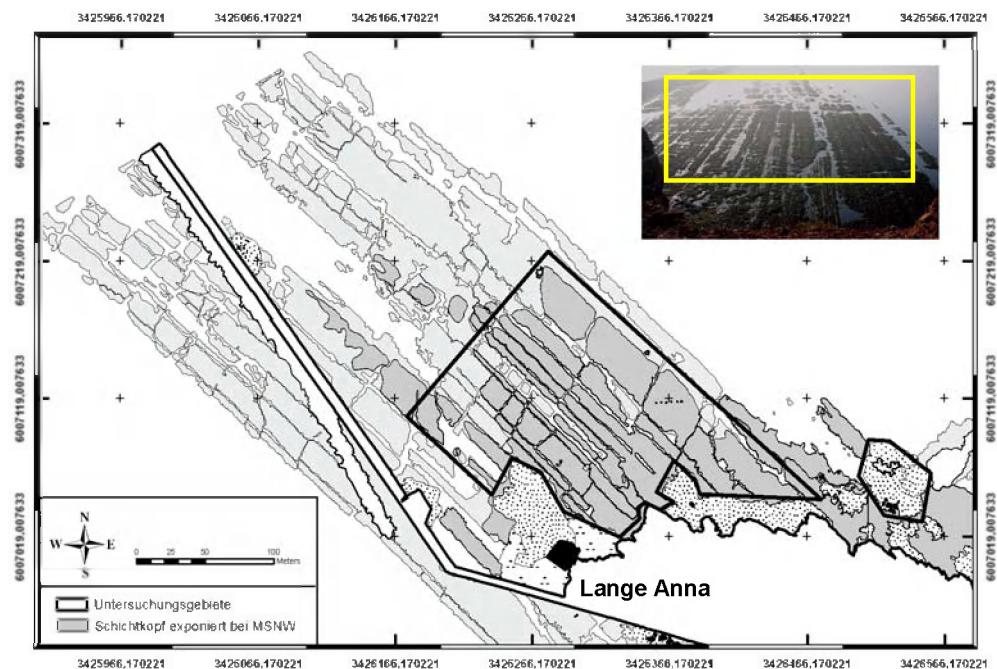


Abb. 2. Hauptuntersuchungsgebiet N-Watt von Helgoland. Digitalisierte Umrisse der bei Niedrigwasser freigefallenen Buntsandstein-

Abrasionsterassen (dunkelgrau) und höher gelegenen Schotter- und Steinbereiche (gepunktet). Die Untersuchungsgebiete sind schwarz bzw. gelb (kleines Bild) umrandet. Karte aus Bartsch & Tittley (2004), verändert; Foto I. Bartsch.

Westlich begrenzten die parallel zur Nordwestmole verlaufenden Schichtköpfe, die sich auf Höhe des Geröllfeldes nördlich der „Langen Anna“ befinden, das Gebiet. Generell begrenzte die mittlere Niedrigwasserlinie (MNW) das zu untersuchende Gebiet. Weiterhin wurden die Bunkertrümmer östlich der Abrasionsterasse untersucht. Dieses Gebiet birgt vornehmlich Betontrümmer der ehemaligen Bunkeranlagen, aber auch loses Geröllgestein aus Granit, Basalt und Buntsandstein.

2.1.1 Punktkartierungen

Bei der Punktkartierung wurde in einem 20 m Raster parallel zu den Schichtköpfen und Prielen im N-Watt innerhalb des unter Abb. 2 markierten Bereiches der Vegetationsbestand aufgenommen (Abb. 3). Je nach Bedarf, z.B. an verschiedenen auffälligen Grünalgen-Flecken, wurde diese Auflösung erhöht. Die geographischen Koordinaten jedes Punktes wurden per D-GPS ermittelt (Trimble GeoXT; Genauigkeit 0.5 bis 1.5 m, siehe dazu Hennig 2004) und zusammen mit den Feldinformationen in einer Datenbank abgespeichert.

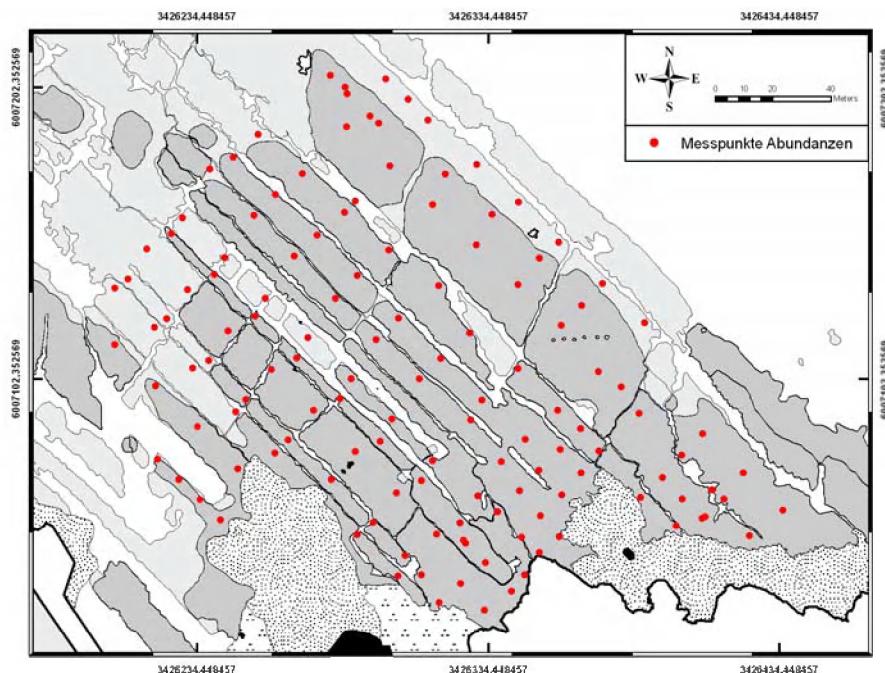


Abb. 3. N-Watt: Messpunkte für die Abundanzbestimmung aller Makrophytenarten und des dominanten Makrozoobenthos.

Zur zusätzlichen Orientierung im Feld wurde für jeden Wattgang eine georeferenzierte Karte des N-Watts ausgedruckt, in der die zu bearbeitenden Stationen per Hand eingetragen wurden. Mittels eines Protokollblattes wurden folgende Parameter aufgenommen:

- Allgemeine Angaben: Datum, Uhrzeit, ID-Nummer, Foto-ID, Stationsnummer
- Angaben zu Topographie, Substratum und zu umgebenden Habitaten
- Alle Algenarten mit Bedeckungsgrad (1. und 2. Vegetationsschicht)
- Makrozoobenthos wie *Mytilus*, *Littorina*- und *Gibbula*-Arten mit Deckungsgrad bzw. Individuen / 0.25 m²

An jedem Punkt wurde die prozentuale Bedeckung aller Makrophyten in der 1. und 2. Vegetationsschicht sowie die Individuen ausgewählter Makrozoobenthosarten in einem Zählrahmen von 0,5 x 0,5 m Kantenlänge bestimmt. Jedes Quadrat wurde mit und ohne Bedeckungsvegetation fotografiert (Abb. 4). Diese Methode wurde dadurch erleichtert, dass die zu untersuchende Fläche des Messquadrates in 25 gleich große Quadrate unterteilt war, deren Einzelflächen jeweils 4 % der Gesamtfläche ausmachten. Bis auf die Krustenrotalgen, die in der Regel nur als Gesamtheit und nicht nach Art geschätzt wurden, erfolgte die Bestimmung bis auf das Artniveau. War eine eindeutige Identifikation im Feld nicht möglich, wurden Proben genommen und im Labor nachbestimmt.



Abb. 4. Station 3 am 15.06.05 mit Messquadrat vor und nach Beiseitelegen der 1. Vegetationsschicht.

Für eine spätere Zuordnung der Fotos wurden alle Stationen, die pro Wattgang bearbeitet wurden, separat und jedes Mal erneut durchnummieriert. Sämtliche Fotos, die an einer Station aufgenommen wurden, erhielten die entsprechende Stationsnummer. Hierfür wurden kleine bezifferte Kunststoffplättchen verwendet, die jeweils neben das Quadrat gelegt wurden (Abb. 4).

2.1.2 Flächenaufnahmen

Die Aufnahme von Flächen (=Polygon) wurde ebenfalls mit einem D-GPS mit gekoppelten GIS Funktionen (Trimble GeoXT) durchgeführt. Polygone wurden auf zwei verschiedene Weisen eingemessen: (1) mit einem **kontinuierlichen Messmodus** führte das GPS pro Sekunde eine Messung durch, während gleichzeitig die zu bestimmende Fläche umgangen und aufgenommen wurde; (2) bei einer **Stützpunktmessung** wurden an Eckpunkten der aufzunehmenden Fläche GPS-Koordinaten aufgrund von Punktmessungen erzeugt, die dann später zu einer Fläche verbunden wurden. Aufgrund eines Tests mit beiden Methoden wurde für die Ermittlung der Polygone der Stützpunktmodus mit 50 Messungen pro Eckpunkt angewandt. Die über das GPS erzeugten Daten wurden in einem GIS kompatiblen Format (.shp: shape Datei) ausgelesen zur schnellen Visualisierung der Lage im Geographischen Informationssystem (GIS) (ArcInfo, Esri, Deutschland) eingelesen. So wurde nach jedem Wattgang die Lage der Daten kontrolliert.

Grenzziehung der Flächen. Die Grenzen der jeweiligen Flächen wurden gemäß den vorgegebenen prozentualen Bedeckungsgrenzen in gemeinsamer Entscheidung festgelegt. Anschließend wurde die aufzunehmende Fläche sukzessive umgangen, teilweise vergleichend im kontinuierlichen Messmodus und dem Stützpunktmodus. Folgende Flächen geschlossener Bestände einzelner Lebensgemeinschaften wurden bestimmt:

- **Enteromorpha sp.** Im oberen Eulitoral des N-Wattes wurden für Vergleichszwecke reine *Enteromorpha*-Polygone ($\geq 95\%$ Bedeckung), aber auch solche mit eingestreuten *Fucus* spp.-Flecken aufgenommen.
- **Andere Grünalgenflächen.** Im Eulitoral des N-Watts wurden zusätzlich kleine, aber auffällige fleckenhafte Bestände in den *Fucus*-Zonen erfasst, die von Grünalgen bedeckt waren.
- ***Fucus serratus*.** Auf der Abrasionsterasse im N-Watt wurden Bestände verschiedener Dichten aufgenommen, und zwar **dichter**

Fucus' mit einer Bedeckung von $\geq 90\%$ oder ,**degradierter Fucus'** mit einer Bedeckung von $< 90\%$.

- **Mytilus edulis.** Die Polygonaufnahmen mit einer Bedeckung $> 15\%$ waren auf die Stationen des Rasters im N-Watt beschränkt.
- In den übrigen Untersuchungsgebieten entlang der Westseite und der Molen waren die Bestände oftmals sehr sporadisch innerhalb eines größeren Gebietes angesiedelt und wurden daher als größere Bereiche zusammengefasst.

Der nordwestliche Bereich des W-Watts war für die Aufnahme der *Mytilus*-Bestände vergleichsweise gut begehbar. Aus diesem Grund konnten hier auch relativ leicht Polygone aufgenommen werden. In den Bereichen des südlichen W-Watts bzw. des Kringels und des Wellensturzbeckens ist das Untersuchungsgebiet (in der Regel Molenstandorte mit vorgelagerten Tetrapodenwällen) dagegen deutlich schwerer zugänglich und teilweise nicht ohne Gefahr begehbar. Aus diesem Grund wurde das Gebiet so gut wie möglich - zum Teil aber nur stichprobenartig- auf *Mytilus*-Vorkommen untersucht. Hierbei wurden die sporadisch auftretenden Bestände entlang längerer Strecke oft zusammengefasst und die Abundanzen qualitativ abgeschätzt.

2.2 Eulitoral: Transektaufnahmen im N-Watt

Im nördlichen Felswatt wurde der vom LANU im Jahr 2003 festgelegte Transekt (Abb. 5) im Zeitraum 2. Juli - 18. Juli 2005 während der Niedrigwasserzeiten beprobt und die Makrophyten und das auffällige Makrozoobenthos quantifiziert.

Auswahl des Transektes: Der Transekt wurde dahingehend ausgesucht, möglichst langfristig zugänglich zu sein und einen gleichmäßigen, kontinuierlichen Gradienten vom oberen Eulitoral zum Sublitoral zu umfassen. Er sollte ferner möglichst viele Lebensgemeinschaften umfassen. Da die Schichtköpfe eine Neigung von West nach Ost aufweisen, was innerhalb von kurzen Abständen zu einer deutlichen Veränderung von Vegetation und Makrozoobenthos führen kann, wurden an jedem Abschnitt drei parallele Dauerquadrate installiert, die sowohl den oberen, mittleren und unteren Schichtkopfbereich umfassen. Damit handelt es sich bei den Dauerquadranten eigentlich um drei nah bei einander gelegte parallele Transekten. Die 2 m Aufnahmen (s.u.) wurden nur entlang der Transektenlinie in einem Höhenhorizont aufgenommen. Abb. 5 zeigt Lage und Bezeichnung der Transekten. Die Koordinaten der Transektpunkte wurden mittels D-GPS (trimble GeoXT) eingemessen. Koordinaten und Bezeichnungen befinden sich im Anhang (Tab. 18).

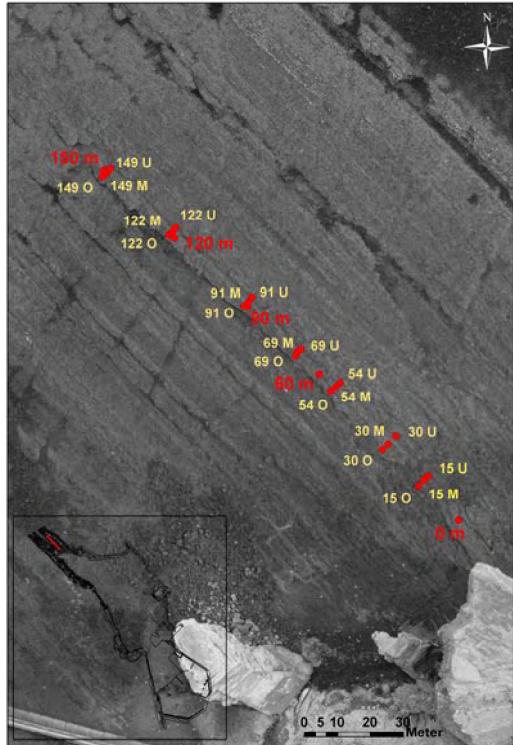


Abb. 5. Lage des durch das LANU Schleswig-Holstein eingerichteten Transektes im N-Watt von Helgoland und Position der fixierten Dauerquadrate. An allen Punkten sind Markierungen in den Buntsandstein eingelassen. Rote Zahlen: markieren die größeren Abstände des Transektes und setzen die Bezüge für die 2 m-Aufnahmen. Gelbe Zahlen: fixierte Dauerquadrate, O: oberes Quadrat, M: mittleres Quadrat, U: unteres Quadrat. Die Zahlen benennen die seewärtigen Abstände in Bezug zur 0 m Marke.

Entlang des Transektes werden durch das LANU Schleswig-Holstein jährlich folgende Aufnahmen durchgeführt:

Kontinuierliche Beprobung des Transektes alle 2 m: Zwischen jeweils durch Schrauben markierten 30 m Punkten entlang des Transekts wurde ein Maßband gespannt. Auf dieses wurde bei jedem geraden Meter (0, 2, 4 etc.) mittig ein 50x50 cm Rahmen mit 25 Unterquadranten ($\approx 4\%$) gelegt. Zunächst wurde dann ein bildfüllendes Digitalphoto des Quadrats gemacht und die Bedeckung der obersten Algenschicht (ggf. meist *Fucus spp.*) so genau wie schnell möglich prozentual abgeschätzt. Anschließend wurden die obersten Bedecker vorsichtig, soweit es ging, aus dem Rahmen gelegt und die prozentuale Bedeckung des Unterwuchses abgeschätzt. Die Abschätzung erfolgte für alle Makroalgen, (semi-) sessile Tiere (z.B. *Mytilus*) und vagilen Mesograzer (*Littorina spp.*, *Gibbula*). Für die Tiere (außer Koloniebildner) wurden Abundanzen ermittelt (bei sehr großen Zahlen eher geschätzt), diese wurden bei den Arten unterschätzt, bei denen sich auch Individuen auf *Fucus spp.* befinden (z.B. *Littorina obtusata/mariae*), da dessen Thalli nicht systematisch abgesucht wurden.

Vom Unterwuchs wurde ein weiteres Digitalphoto gemacht. Wenn nötig wurden zur Artbestimmung Proben mit ins Labor genommen. Nach einiger Übung beinhaltete die Abschätzung seit 2005 auch verkalkte und unverkalkte Krustenalgen. Um die Photos später einer Position entlang des Transekts eindeutig zuordnen zu können, wurde auf den Rahmenrand jeweils die Bezeichnung in Form von umklappbaren Bezeichner-Digits gelegt und mit photographiert (Abb. 6).



Abb. 6. Umklappbare Bezeichner-Digits zur leichteren systematischen Zuordnung von digitalen Feldphotos zu Aufnahmefeldquadraten.

Dieses Verfahren hat sich hervorragend bewährt und ist gegenüber einer jeweils neuen Beschriftung sehr zeitsparend. Dennoch kam es manchmal

zu Reflektionen, die es ratsam machen, die Bilder im Labor anschließend sofort über den Dateinamen eindeutig zu bezeichnen. Zusätzlich wurden auf den Datenblättern Randbedingungen wie Wind, Wetter, Bewölkungsgrad, Uhrzeit, Niedrigwasserzeit und Datum vermerkt.

Quantifizierung von fixierten Dauerquadraten: Entlang des Transektes wurden zusätzlich Dauerquadrate eingerichtet, die eine Verfolgung von eventuellen Veränderungen auf exakt denselben Flächen über die Jahre ermöglichen sollen (s. Abb. 5). Die Dauerquadrate bestehen dabei stets aus Dreiergruppen von Quadranten, wobei sich eines am obersten Schichtkopf (Kennzeichnung O, Abb. 5), eines in der Mitte eines Schichtrückens (Kennzeichnung M, Abb. 5) und eines am unteren Rand nahe des ostwärtigen Priels befindet (Kennzeichnung U, Abb. 5). Die geographischen Positionen der Dauerquadrate sind im Anhang, Tab. 18 abgelegt. Die Datenaufnahme erfolgte wie oben für den Transekt beschrieben. Es wurden lediglich vom Unterwuchs noch weitere Detailphotos der 4 Quadranten des Rahmens gemacht.

2.3 Sublitoral: Vegetationszonen und Algentiefengrenzen (nach Gehling 2006, verändert)

Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeit. Die Erfassung der Algentiefengrenzen wurde auf einem Tauchprofil von insgesamt 1800 m Länge im Norden der Insel untersucht (Abb. 7). Das Profil T05-1 überquerte 1300 m weit den Buntsandsteinsockel der Hauptinsel in nordwestlicher Richtung (Kurs 320°) und setzte sich nach einer Unterbrechung von etwa 220 m erneut für 280 m auf den Kreidefelsen des „Repulsegrundes“ fort. Zwischen dem 21.04. und dem 23.06.2005 wurden 15 Tauchgänge entlang des Transektes durchgeführt. Diese Transektlage wurde gewählt, weil es hier zum einen Vergleichsuntersuchungen aus dem Jahr 1965-67 gibt (Lüning 1970) und ferner am häufigsten günstige Tauchbedingungen vorliegen. Die Bereiche nördlich der Düne oder westlich der Hauptinsel sind wesentlich häufiger exponierten Wind- und Wellenbedingungen ausgesetzt und können so weniger regelmäßig angefahren werden.

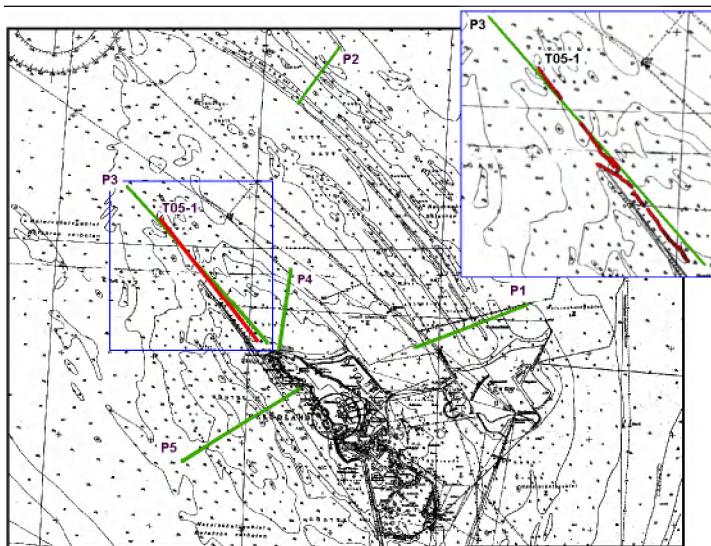


Abb. 7.
Sublitoraler
Transekt; rote
Linie und Punkte
(vorliegende
Untersuchung),
grüne Linien P1-
P5 gemäß Lüning
(1970) (Aus
Gehling 2006).

Positionsaufnahme und Bestimmung der Tiefenwerte. Getaucht wurde nach den Vorschriften der ZH 1/540 für Forschungstaucher. Für die Ausfahrten wurden sowohl das Tauchboot MB „Diker“ als auch das Schlauchboot der Tauchgruppe der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) verwendet. Die jeweiligen Startpunkte des Transektes wurden mithilfe des D-GPS des MB „Diker“ (Shipmate RS 5400 GPS-Plotter; Shipmate, Støvring, Dänemark; Genauigkeit: $\pm 0,5$ m) oder des GPS des Schlauchbootes (Magellan GPS 320; Magellan Corporation, San Dimas, Kalifornien, USA; Genauigkeit: ± 25 m) angefahren. An den Stellen, an denen für Unterwasserstandorte GPS-Koordinaten aufgenommen werden sollten, wurde vom Taucher mithilfe einer mit ihm verbundenen Schwimmboje („Blub“) ein Signal gegeben. Daraufhin fuhr das jeweilige Boot so nah wie möglich an diese Stelle heran und nahm die Koordinaten auf. Diese wurden in den Programmen ArcView 3.2 und ArcGIS 9.1 (ESRI, Germany) weiterverarbeitet. Falls nötig wurden die Koordinaten mittels der Software TRANSDAT Coordinate Transformations 10.01 (C. Killet Softwareentwicklung, Kempen, Germany; <http://www.killetsoft.de/transdat.htm>) in Hoch- und Rechtswerte der Gauß-Krüger-Projektion umgewandelt. Unterwasser erfolgte die Peilung unter Verwendung eines Kompasses und eines 2 m-Längenmaßes. Zur Tiefenbestimmung wurde ein digitaler Tiefenmesser verwendet. In Verbindung mit der gleichzeitig aufgenommenen, genauen Uhrzeit wurden alle Tiefenmessungen mithilfe der Aufzeichnungen der Pegelstelle „Helgoland Südhafen“ (Daten vom Wasser- und Schifffahrtsamt Tönning, Außenstelle Helgoland) gemäß Tabelle 1 korrigiert.

Tab. 1. Korrektur der unter Wasser gemessenen Tiefen auf mittleres Springtidenniedrigwasser (MSTNW) (Aus Gehling 2006).

gemessene Tiefe [cm]	Pegelstand [cm PN]	MSTNW [cm PN]	korrigierte Tiefe [cm]	korrigierte Tiefe gerundet [cm]
160	607	358	-89	-90
500	618	358	240	240
1410	410	358	1358	1360

$$\text{gemessene Tiefe} - (\text{Pegelstand} - \text{MSTNW}) = \text{korrigierte Tiefe}$$

Das MSTNW bei Helgoland schwankt zwischen 350 und 360 cm über Pegelnnull (cm PN). Im Jahr 2005 betrug es etwa 358 cm PN (Angaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie). Der digitale

Tiefenmesser misst bis auf ± 40 cm genau (Werksangaben). Beim Runden der Tiefenangaben kann zudem ein Fehler von ± 10 cm auftreten, so dass bei der Tiefenberechnung ein Gesamtfehler von ± 50 cm einkalkuliert werden muss.

2.3.1 Qualitative und semi-quantitative Analyse des Vertikalgradienten des Makrophytobenthos

Erfassung der Tiefenverteilung der vegetationsbestimmenden Braunalgen.

Braunalgen. Der Transekt wurde in 5 m-Abständen auf das Vorkommen und den Bedeckungsgrad der vegetationsbestimmenden Brauntange *Fucus serratus*, *Sargassum muticum*, *Laminaria digitata*, *L. saccharina* und *L. hyperborea* in einem Korridor von jeweils 3-5 m (je nach Sicht) links und rechts des Längenmaßes untersucht (Kautsky 1995). Alle 5 m wurde die Ab- oder Anwesenheit (Werte 0 und 1) dieser Arten sowie ihre semi-quantitative Bedeckung an Hand einer modifizierten Kautsky-Skala abgeschätzt (Tab. 2) (Kautsky 1995).

Tab. 2. Semi-quantitative Skala zur Abschätzung des Deckungsgrades der bestandsbildenden Braunalgen (nach Kautsky, 1995; verändert). Die Skala beinhaltet sechs Klassen, dessen angegebener Wert jeweils die Mitte der Klasse widerspiegelt (Ausnahmen: 0, 100) (Aus Gehling 2006).

Klasse	Bedeckung [%]	Beschreibung
0	0	nicht vorhanden
5	1-10	ein bis wenige Individuen sind vorhanden, die einen geringen Teil des Substrates bedecken
25	11-40	klar weniger als die Hälfte des Substrates ist bedeckt, aber die Art ist häufig vorhanden
50	41-60	etwa die Hälfte des Substrates ist bedeckt
75	61-90	Substrat ist nicht komplett bedeckt, aber deutlich über 50 %
100	91-100	gesamtes Substrat bedeckt, nur einige kleine Lücken können im Phylloiddach auftreten

Ferner wurden alle 5 m die Tiefe, Uhrzeit und Art des Substrates sowie die vorherrschende Topographie festgehalten. Das Substrat wurde in Buntsandstein, Muschelkalk und Kreide unterschieden, die Topographie in „anstehendem Fels“, Steine, Kies und (Muschel-)Schill.

Einteilung des Transektes in Zonen. Um die nachfolgende quantitative Beprobung zu strukturieren, die Anzahl der benötigten Tauchgänge zu optimieren und die Vergleichbarkeit zu der einzig verfügbaren Vergleichsuntersuchung von Lüning (1970) herzustellen, wurde das Transekt nach der Bestandsaufnahme der vegetationsbildenden Arten in Zonen aufgeteilt und zwar gemäß folgender Kriterien:

1. Alle Bereiche, die nur durch jeweils eine Brauntangart mit einem Deckungsgrad von 50-100 % bestimmt werden, werden als eigene Zone angesehen.

2. Bereiche, in denen der Deckungsgrad eines Brauntanges unter 50 % fällt und nicht durch andere Brauntangarten ersetzt wird, wird ebenfalls als eigene Klasse abgegrenzt.
3. Bereiche, die durch zwei oder mehr Brauntangarten in mehr oder weniger gleichen Anteilen charakterisiert werden, werden eigenständig als Übergangszenen klassifiziert.

Aus der Analyse der oben beschriebenen Transektdaten ergaben sich folgende sieben Zonen (%Werte nach Kautsky-Skala):

- 1. *Fucus serratus*-Zone:** Diese Zone war durch *F. serratus* mit einer Bedeckung von mindestens 75 % gekennzeichnet.
- 2. Übergangszone zwischen *Fucus serratus* und *Laminaria digitata*:** Diese Zone wurde dadurch charakterisiert, dass beide Arten jeweils Deckungsgrade zwischen 25 und 75 % aufwiesen, wobei sie abwechselnd vegetationsbestimmend waren: *F. serratus* war in 50 % aller Abschnitte, vor allem im Anfangsbereich, und *L. digitata* in 25 % aller Abschnitte, vor allem im Endbereich, dominant. An den restlichen 25 % der Abschnitte kamen die beiden Arten zu gleichen Anteilen vor.
- 3. *Laminaria digitata*-Zone:** Diese Zone wurde fast ausschließlich durch *L. digitata* dominiert mit Deckungsgraden von mindestens 75 %. Auch wenn *L. digitata* teilweise nur weniger als 50 % ausmachte, wurden solche Abschnitte dieser Zone zugeordnet, falls keine weitere *Laminaria*-Art abundant vorkam oder die Gesamtbedeckung nur bei 25-50 % lag (offene Vegetation, instabiles Substrat).
- 4. Übergangszone zwischen *Laminaria digitata* und *Laminaria hyperborea*:** Diese Zone wurde durch eine Mischung dieser beiden Arten charakterisiert. Sie kamen hier jeweils mit Deckungsgraden von 25 und 75 % vor und waren abwechselnd vegetationsbestimmend. *L. digitata* war an 38% der Abschnitte und *L. hyperborea* an 24% der Abschnitte dominant. In allen anderen Abschnitten kamen sie zu gleichen Anteilen vor.
- 5. *Laminaria hyperborea*-Wald:** Diese Zone war durch *L. hyperborea* mit Deckungsgraden von mindestens 50 % charakterisiert.
- 6. *Laminaria hyperborea* Park:** Diese Zone wurde durch die geringere Besiedelung durch *L. hyperborea* (5-25 % Bedeckung) als Park (Kitching, 1941) vom *L. hyperborea*-Wald abgegrenzt.
- 7. Blättrige Rotalgenzone:** Unterhalb des *L. hyperborea*-Parkes gediehen keine mehrjährige Laminarien mehr (*L. hyperborea* mit 0 % Bedeckung). Diese Zone wurde demnach durch Krustenrotaalgen und blättrige Rotalgen dominiert.

2.3.2 Quantitative Analyse des Vertikalgradienten des Makrophytobenthos in den unter 2.3.1 definierten Zonen

Die oben definierten Zonen wurden quantitativ mit 1 m² Quadraten (Zählrahmen) beprobt, um die gesamte Artenvielfalt im *Laminaria*-Unterwuchs zu erfassen. Dabei wurden pro Zone drei (in Zone 5, auf Grund ihrer Breite, sechs) Quadrate ausgezählt. Die zu beprobenden Stellen wurden durch Erstellung von Zufallszahlen ermittelt, die auf die in den Zonen vorhandenen 5 m-Abschnitte angewandt wurden. Eine Ausnahme bildete Zone 1. Da sie im Ganzen nur etwa 10 m lang war, wurde hier die Abschnittsgröße von 1 m gewählt. Danach wurden mittels D-GPS auf dem MB „Diker“ die zuvor auf der Karte bestimmten Orte aufgesucht, und dann die Stellen unter Wasser beprobt, die beim direkten Hinabtauchen als erstes erreicht wurden. Innerhalb des Quadrates wurde sowohl die „lokale Frequenz“ (Greig-Smith 1983) als auch die prozentuale Bedeckung jeder einzelnen Art geschätzt. Die prozentuale Bedeckung wurde als der Anteil des Bodens definiert, der bei senkrechter Projektion von Pflanzenteilen bedeckt wurde. Bei den Laminarien wurde dabei nicht beachtet, ob diese auch in dem beprobten Quadrat wurzelten oder nicht. Die Unterwuchsalgen, die nicht im entsprechenden Quadrat wurzelten, dieses aber bedeckten, wurden hingegen erst aus dem Quadrat entfernt, bevor sie auf ihre prozentuale Bedeckung und lokale Frequenz untersucht wurden. Für die lokale Frequenz wurde der Rahmen in 16 kleinere Unterflächen unterteilt und die An- und Abwesenheit der Art in jedem Unterquadrat

registriert („rooted frequency“). In Abb. 8 sind die Lage der 5 m-Abschnitte, der quantitativen Probenquadrate und der Zonen zusammenfassend dargestellt.

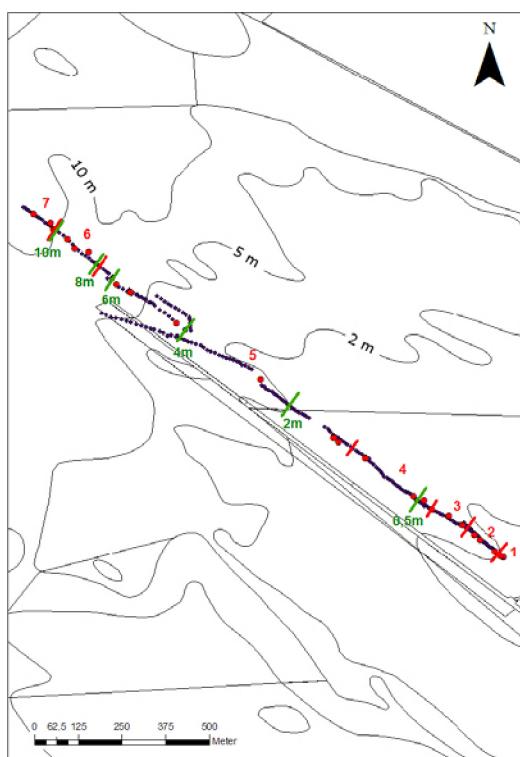


Abb. 8. Untersuchungstransekt T05-1 (dunkle Punkte = untersuchte 5m-Abschnitte, rote Punkte = Positionen der 24 ausgezählten Quadrate, rote Linien = Begrenzungen der in 2.3.1 definierten Zonen 1-7, grüne Linien = Quertransekte an definierten Tiefenstufen

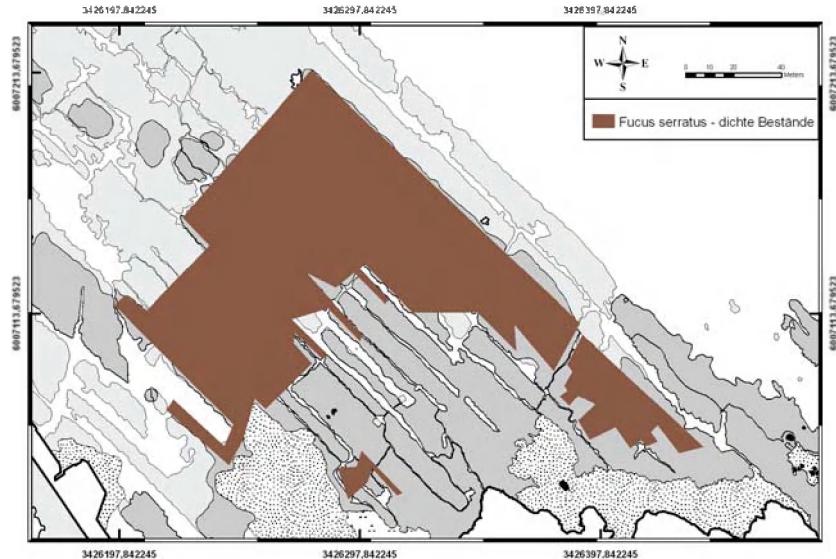
III Ergebnisse und Diskussion

3.1 Praxistest der Makrophytenklassifizierung

Allgemeines. Für den Praxistest des Klassifizierungsansatzes nach Bartsch & Kuhlenkamp (2004) wurde eine kombinierte Untersuchung von quantitativen Transektbeprobungen im Eu- und Sublitoral Helgolands an den empfohlenen, bestzugänglichen und damit langfristig beprobaren Standorten vorgenommen. Im Folgenden werden die Ergebnisse, gegliedert nach den für die Makrophytenklassifizierung empfohlenen Variablen (Bartsch & Kuhlenkamp 2004), beschrieben und diskutiert. Da nur ein gezieltes Monitoring von *Fucus serratus*, *Mytilus edulis* und *Ulva* sp. Teil des vorliegenden Auftrages waren, werden nur diese Variablen ausführlich behandelt.

3.1.1 *Fucus serratus*

Polygonmessungen. Es zeigte sich, dass im unteren Eulitoral ein relativ großer Bereich einheitlich von dichtem *F. serratus* besiedelt war (Deckungsgrad $\geq 90\%$) und sich relativ leicht von Flächen mit geringerer *Fucus* Vegetation (degraderter *Fucus*) abgrenzen ließen (Abb. 9). Die Fläche beträgt 13120 m².



**Abb. 9. Ausbreitung der ‚*Fucus serratus* –dicht‘ Bestände im N-Watt
Helgolands im Sommer 2005.**

Abb. 10 zeigt beispielhaft einen Bereich mit dichtem *F. serratus*, ein dazugehöriges Quadrat und die diverse Unterwuchsflora.



Abb. 10. Dichte *Fucus serratus* Bestände im östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes N-Watt. Ansammlungen von *Laminaria*-Drift in Senken (hellbraune Flecken). Oben rechts: Station ID 1139 22.06.05: dichter *F. serratus*-Bewuchs; unten rechts: relativ artenreicher Unterwuchs auf mit Krustenrotalgen bewachsenem Bundsandstein.

Landwärts schloss sich im mittleren Eulitoral ein ebenfalls großer Bereich mit „degradierter“ *F. serratus* an (Abb. 11) mit einer Fläche von 7039 m².

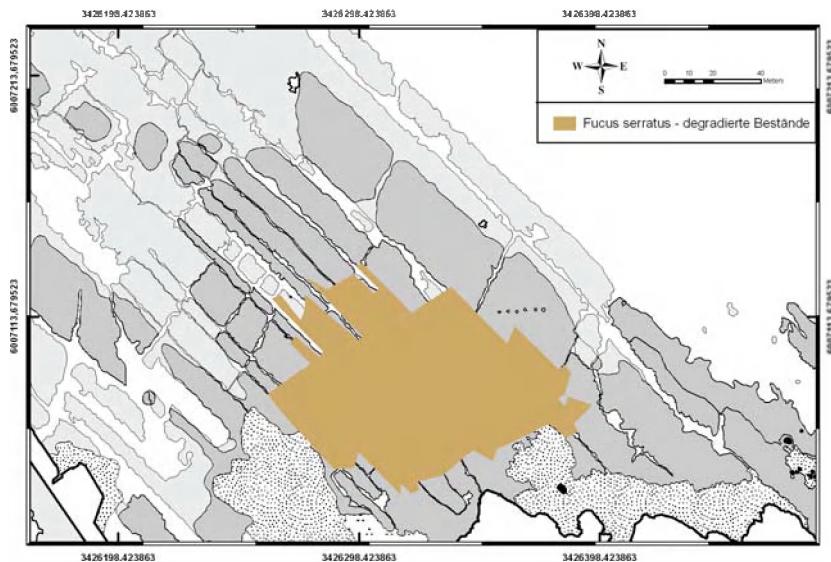


Abb. 11. Ausbreitung der „*Fucus serratus* –degradiert“ Bestände im N-Watt Helgolands im Sommer 2005.

Dieses Gebiet war durch die gänzliche Abwesenheit oder das nur sporadische Auftreten von *Fucus serratus* und *F. vesiculosus* gekennzeichnet und ist beispielhaft in Abb. 12 gezeigt.



Abb. 12. Links: Nördlicher Bereich des degradierten *Fucus serratus* Bestandes umgeben von dichtem *F. serratus* (dunkelbraune Flächen im Hintergrund). Rechts unten: Typisches Bild des degradierten *F. serratus*-Bereiches; recht oben: Station ID 1128 22.06.05 dichter Überzug von *Rhizoclonium tortuosum* als flottierende Watten im Bereich des degradierten *Fucus*.

Einzelne Pflanzen oder inselartige Ansammlungen von *Fucus* im Bereich des ‚degradierten *Fucus*‘ zeigten normale Größen und Form der Pflanzen teilweise auch 100% Deckungsgrade für *F. serratus*. Dieses Gebiet wird insbesondere im Sommer durch Massenvorkommen von ephemeren Grünalgen beeinflusst. In den Priellbereichen kommt häufig *Cladophora* sp. zur Massenentwicklung, während sich die langen fädigen *Rhizocloium tortuosum*-Watten über große Flächen ausbreiten können (Abb. 12).

Punktmessungen und Flächeninterpolation. Die Punktmessungen ergaben teilweise ein leicht anderes Bild der *Fucus serratus* Verbreitung. Die hohen Abundanzen (80-100%) des Punkterasters stimmten im Wesentlichen mit den Polygonmessungen des dichten *F. serratus* überein; in einigen Teilen zeigten sich aber auch deutliche Differenzen, in denen hohe Abundanzen von *F. serratus* im Südwesten des Feldes außerhalb des Polygons ‚dichter *F. serratus*‘ lagen (Abb. 13). Die Unterschiede erklären sich dahingehend, dass in diesen Bereichen *F. serratus* zwar noch relativ dicht vorkam, aber keinen großräumig geschlossenen Bestand mehr bildete.

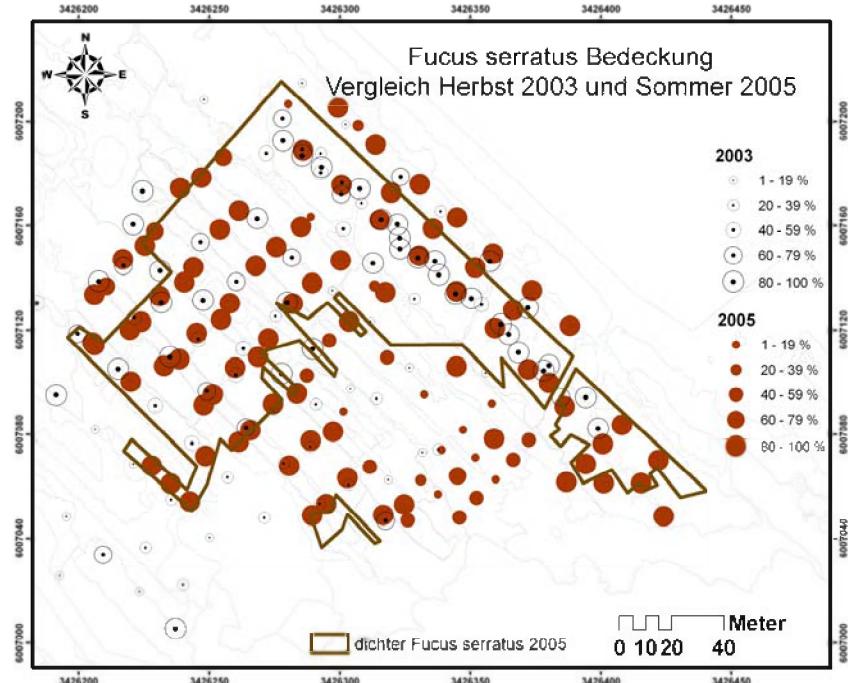


Abb. 13. *Fucus serratus* Ausbreitung im N-Watt: Vergleich von Punkt- und Flächenkartierung und interannuelle Effekte. Daten 2003: Gehling & Eschmann (2004).

Der Vergleich von Punktdaten aus dem Herbst 2003 und Sommer 2005 zeigte außerdem die interannuelle Variation der *Fucus*-Bestände, ebenfalls wieder besonders deutlich im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes erkennlich, wo im Herbst 2003 deutlich weniger *F. serratus* vorhanden war als im Sommer 2005 (Abb. 13).

Die Interpolation dieser Punktdaten über Inverse Distance Weighting (IDW) im GIS ermöglicht eine Kalkulation der Flächen aus den Punktmessungen, die in Abb. 14 dargestellt ist. Es wird deutlich, dass große Bereiche der Polygonmessungen und der Interpolationsflächen übereinstimmen, die Interpolationsflächen aber besonders im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes, die dortigen partiell geringeren Werte und geringe Dicht der Punkte berücksichtigen und auch inselartige dichte Bestände wiedergeben. Da auch die Polygonmessungen dahingehend mit Fehlern behaftet sind, dass im Feld kleine Inseln nicht berücksichtigt werden, ist diesbezüglich keiner Methode der Vorzug zu geben.

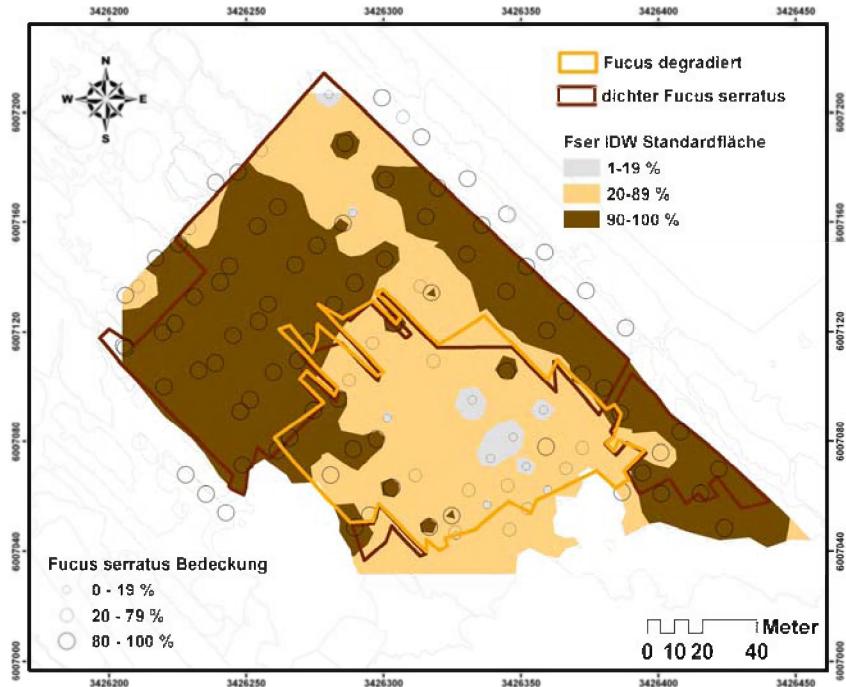


Abb. 14. *Fucus serratus* Ausbreitung im N-Watt: Vergleich von Punktdaten, IDW Flächeninterpolation der Punktdaten von 2005 und gemessenen Polygonen. *F. serratus* dicht: Bedeckung $\geq 90\%$, *F. serratus* degradiert: Bedeckung $< 90\%$.

3.1.2 *Mytilus edulis*

Polygonmessungen und Punktmessungen im N-Watt. Neben einer großen, zentral gelegenen Fläche im degradierten *Fucus*-Bestand ergaben sich kleine Flächen, in denen *Mytilus* mit mehr als 15 Ind./m² vorkam und die parallel zu den Schichtköpfen verliefen. Die *Mytilus*-Bestände waren schwierig zu überblicken, da sie oft inselartig, als vereinzelte Gruppen vorkamen oder teilweise ganz von *Fucus* bedeckt waren. Die freiliegenden Individuen waren gut auszumachen, während die von *Fucus* bedeckten Bestände fast nur mittels Messungen durch Messquadrate erfasst wurden. Das Haupt-*Mytilus*-Feld lag im Gebiet des „degradierten *Fucus serratus*-Bestandes“ und zeigte sehr geringe Abundanzen (Abb. 15) mit einem mittleren Bedeckungsgrad von 12% und maximal 69 Individuen / 0.25 m².

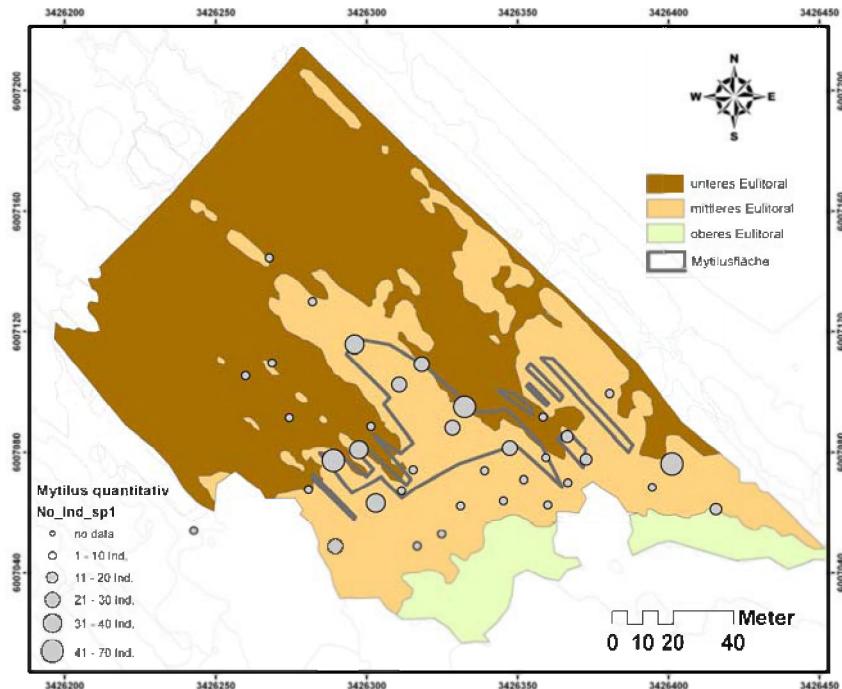


Abb. 15. Von *Mytilus edulis* beeinflusste Flächen und die Abundanzen von *Mytilus* (Individuen / 0.25 m²) aus den Punktmessungen.

Ein Vergleich von Punkt- und Polygonmessungen zeigte hier, dass zwar die Ausbreitung des Hauptfeldes mittels Polygon erfasst wurde, das Vorkommen und die Abundanzen aber nur durch Punktaufnahmen gewährleistet waren und diese Daten eine wichtige Zusatzinformation lieferten. Noch vor einigen Jahren war die Dichte von *M. edulis* im Hauptverbreitungsgebiet sehr viel höher, während sich die *Mytilus*-Felder jedoch an ähnlichen Standorten befanden (Bartsch, unpubliziert). Die Abnahme der Dichte innerhalb der letzten Jahre wird mit fehlendem Larvenfall durch zu warme Winter erklärt (Nehls et al. 2005) und ist deshalb nur in Zeiten guter Fortpflanzungsbedingungen eine aussagekräftige Messgröße für die Klassifizierung.

Teilweise gab es fast kahle Flächen, auf denen *M. edulis* mit alten Individuen siedelte (Abb. 16), was im Gegensatz zu der Situation 1986 steht, wo eine sehr dichte Besiedlung durch Miesmuscheln vorlag (Janke 1990, darin Abb. 6). In diesem Gebiet waren ebenfalls Massenvorkommen von ephemeren Grünalgen zu verzeichnen (Abb. 16), wie schon für das gesamte Gebiet des degradierten *F. serratus* beschrieben.



Abb. 16. *Mytilus*-Polygon. *Mytilus*-Individuen an relativ kahlen Stellen (nur Krustenalgen) auf Bundsandstein (links) und mit Ansammlungen von Grünalgen (rechts).

Weitere Standorte von *Mytilus edulis*. Die erstmalige Kartierung aller *Mytilus*-Bestände um die äußere Hauptinsel herum zeigte, dass *Mytilus* auch an anderen Stellen der Insel vorkommt, aber nie in bedeutsamem Ausmaß und häufig nur kleinere, inselartige Areale einnahm. Damit gewinnt das *Mytilus*-Feld im Norden an relativer Bedeutung.

Mytilus-Feld Bunkertrümmer N-Watt. Das sogenannte „Bunkertrümmerfeld“ im Zugangsbereich des N-Wattes lag noch 1986 als reines *Mytilus*-Feld vor (Janke 1986). Heute ist dieser Bereich von *Mastocarpus stellatus* und etwas *Fucus vesiculosus* dominiert (Bartsch & Tittley 2004), beherbergt im Unterwuchs aber weiterhin *Mytilus* mit (1)10-37 Individuen/0.25 m². *Mytilus* kommt in diesem Bereich meistens in Spalten im gefestigten Geröll, an den Kanten von Steinen und bedeckt von Algen vor (Abb. 17). Auffällig war der starke Befall von *Mastocarpus* und *Fucus* mit *Ulva*-Planzen im Untersuchungszeitraum im nördlichen, tiefliegenden Bereich des *Mastocarpus*-Gebietes.

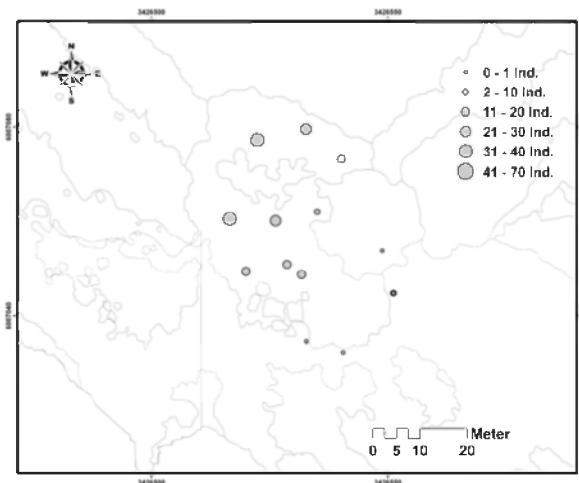


Abb. 17.
Bunkertrümmerfeld im
Norden mit
***Mytilus*-**
Vorkommen.
Die
Individuenzahl

bezieht sich auf 0.25 m².

Mytilus-Bestände W-Watt. Die Lage der *Mytilus*-Bestände entlang der Westseite ist in Abb. 18 zusammengefasst.

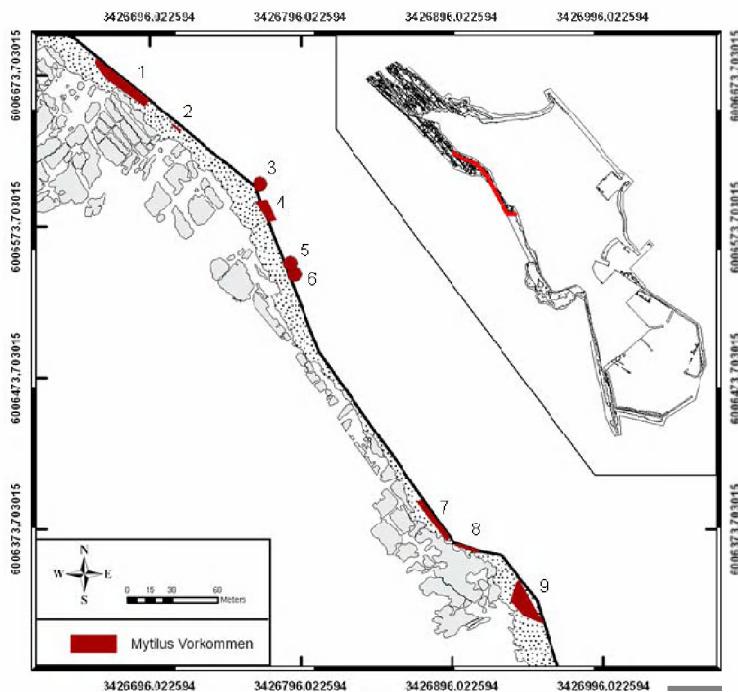


Abb. 18. Westseite: Standorte von *Mytilus edulis*-Beständen. Die Nummern bezeichnen einzelne Bestände, die in Tab. 3 eingehender dargestellt werden. Die 3 Punkte und ein Polygon liegen in der Abbildung auf der Mole, anstatt westlich davon im Eulitoral. Dies ist auf Ungenauigkeiten der GPS-Messungen und Georeferenzierung der Karte zurückzuführen.

Mytilus-Bestände Kringel im Südwesten. Weitere *Mytilus*-Bereiche lagen in den Tetrapodenwällen der Molen und in vorgelagerten, flachen Bundesandsteinflächen im Bereich des Kringel (Abb. 19). *Mytilus* wurde innerhalb der Tetrapoden in schmalen, geschützten Zwischenräumen gefunden, die durch das Aufeinanderliegen der Tetrapoden zustande kommen. Innerhalb der horizontalen Fläche im Kringel (Punkt 11 in Abb. 19) waren die Ansammlungen von *Mytilus* sehr sporadisch und mit wenigen Individuen über ein Areal von etwa 10 x 10 m verstreut.

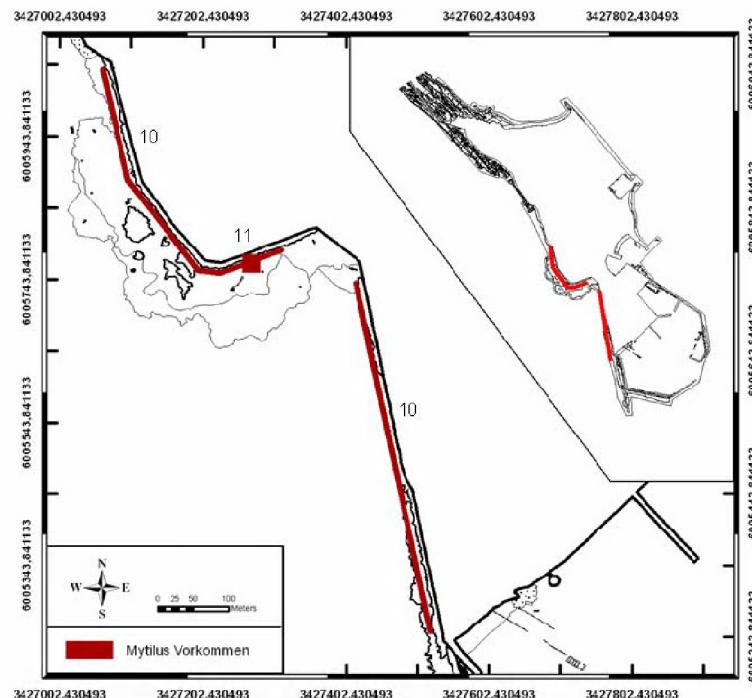


Abb. 19. Kringel und W-Mole: Standorte von *Mytilus edulis*-Beständen. Die Nummern bezeichnen einzelne Bestände, die in Tab. 3 eingehender dargestellt werden.

Im Bereich der Ostmole zwischen NO-Hafen und Landungsbrücke wurden keine Miesmuscheln gefunden. Im Bereich der Augustahafenmole befanden sich junge Individuen entlang der Ostmole angrenzend an die Augustahafenmole. Da hier allerdings oft Abfall aus der BAH ins Meer gegeben wird, ist hier mit einer unnatürlichen Bestandsveränderung zu rechnen und da sie von den wissenschaftlichen Aktivitäten abhängt, nicht für ein Monitoring geeignet.

Tab. 3. Einzeldarstellung der *Mytilus*-Bestände von Abb. 18 und 19. Die Nummern beziehen sich auf die Nummern in den Abbildungen.

Nr.	ID-Nr. Felddaten	Foto	Daten aus Feldprotokoll	Bemerkungen
1	1284		<i>Mytilus</i> -Polygon im Westwatt, am Molenfuß beginnend über einen etwa 3 m breiten Streifen entlang der Mole Substratum: festliegendes Geröll und grober Sand zwischen Basaltsteinen Mittlere bis große Individuen sporadisch verteilt, teilweise in Gruppen, nicht freiliegend; oft von <i>Fucus</i> bedeckt	Polygon
2	1285	-	<i>Mytilus</i> -Polygon im Westwatt, kleines Gebiet am Molenfuß; Substratum: festliegendes Geröll und grober Sand zwischen Basaltsteinen Wenige mittlere bis große Individuen sporadisch verteilt, nicht freiliegend; oft von <i>Fucus</i> bedeckt oder unter Steinüberhängen	Polygon
3	1287	-	Westwatt am Molenfuß; auf Beton mit unregelmäßiger, abgestufter Oberfläche; einige mittlere bis große Individuen, nicht freiliegend	Punktaufnahme einer 1 x 2 m Fläche
4	1286		Westwatt nahe Mole; auf Betonquader mit Geröll dazwischen; Einige mittlere und große Individuen sporadisch verteilt, nicht freiliegend; oft von <i>Fucus</i> bedeckt	Polygon
5	1289	-	Westwatt am Molenfuß auf Buntsandstein in Spalte/ Rinne; Substratum leicht geneigt; mittlere und große Individuen sporadisch verteilt, kaum freiliegend; mit <i>Fucus serratus</i> und <i>Cladophora rupestris</i>	Punktaufnahme einer 1 x 2 m Fläche
6	1288		Westwatt nahe Mole; horizontale Oberfläche eines großen Betonblocks; dichter <i>Mytilus</i> -besatz (80%) als Unterwuchs; Deckschicht: <i>Fucus serratus</i> und <i>Mastocarpus stellatus</i>	Punktaufnahme einer 80 x 80 cm Fläche
7	1290		Westwatt nahe Mole; große und kleine Basaltsteine, <i>Mytilus</i> -Besatz in kleinen Gruppen verteilt, oft in Spalten und Ritzen	Polygon, mehrere kleine Gruppen zusammengefasst

Fortsetzung von Tab. 3. Einzelergebnisse der *Mytilus*-Bestände von Abb. 18 und 19.

8	1291	-	Westwatt nahe Mole; große und kleine Basaltsteine, <i>Mytilus</i> -Besatz sporadisch, oft in Spalten und Ritzen	Polygon, mehrere kleine Gruppen zusammengefasst
9	1292	-	Westwatt nahe Mole; große und kleine Basaltsteine, Betonrümmer und Sandablagerungen; <i>Mytilus</i> sporadisch	Polygon, mehrere kleine Gruppen zusammengefasst
10	1293		Westseite am Kringel, Beginn der Tetrapoden, flaches Geröllfeld aus Buntsandstein (Geröllstücke bis Kiesgröße). Einige <i>Mytilus</i> , sehr sporadisch verteilt; Zusätzlich: <i>Fucus serratus</i> (wenig) und <i>Mastocarpus stellatus</i> , viele <i>Littorina littorea</i>	Punktaufnahme sporadisch verteilter <i>Mytilus</i> im Umkreis von ca. 10 m
11	1294		Westseite am Kringel, entlang der Tetrapoden bis zum Beginn des Westwatts und Außenseite der Westmole des Südhafens; Betonrümmer, Geröll und Buntsandstein; Mittlere bis große <i>Mytilus</i> zwischen den Tetrapoden, vereinzelt bis ins obere Eulitoral; Zusätzlich: <i>Mastocarpus stellatus</i>	Gesamter Bereich als Linie entlang der Mole zusammengefasst

3.1.3 *Ulva* und *Enteromorpha*

Im Folgenden wird der Status Quo der *Enteromorpha* und *Ulva* Bestände 2005 im N-Watt sowie anderer Grünalgenbestände, die sich aus der Rasterkartierung ableiten ließen, beschrieben. Die *Ulva*-Bestände im mittleren und unteren Eulitoral wurden erstmalig kartiert, die Flächenaufnahme der Enteromorphen im oberen Litoral wurde mit Datensätzen seit 1999 verglichen.

Enteromorpha-Bestände 2005. Das obere Eulitoral war geprägt von dichten *Enteromorpha*-Beständen. Dieses Areal zerfiel in zwei Bereiche, wobei der westlich gelegene an die vertikalen Felskanten grenzte (Abb. 20). Das andere Gebiet grenzte im Süden an ein Areal mit großen Buntsandsteinblöcken, die durch Erosion der Steilkante entstanden sind. Beide Zonen sind deutlich als *Enteromorpha*-Bereiche (Abb. 21) vom angrenzenden *Fucus*-Bereich unterschieden. Die Grenze war oft sehr ausgeprägt und abrupt (Abb. 22). Große Flächen bestanden oft aus reinen *Enteromorpha*-Beständen. Kleinere, leicht höher gelegene *Fucus*-Flächen in diesen *Enteromorpha*-Bereichen wurden nicht kartiert (Abb. 23). Die Gesamtfläche dieses Gebietes betrug 2057 m².

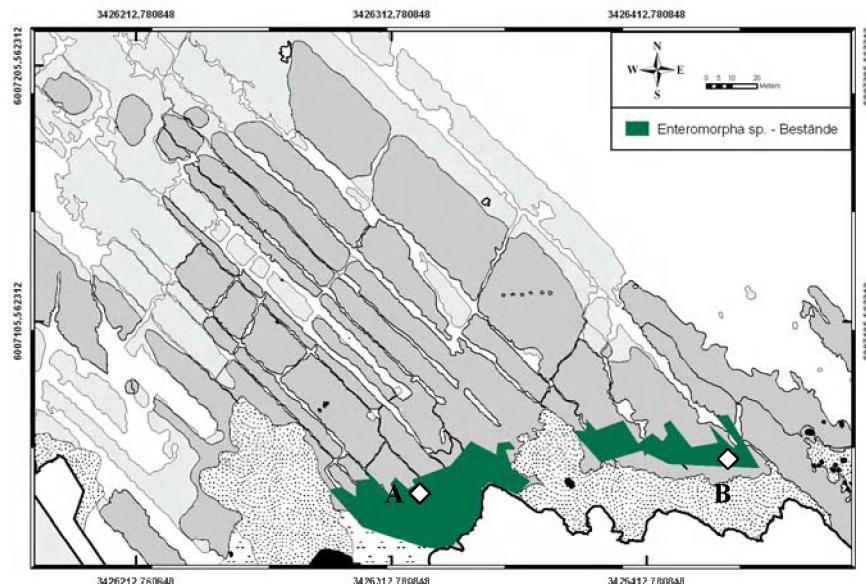


Abb. 20. Dichte *Enteromorpha* sp. – Bestände im oberen Eulitoral des N-Wattes. A: Standort Abb. 21, B: Standort Abb. 22.



Abb. 21. Oberste Zone von *Enteromorpha* sp.: Bewuchs reicht bis an die senkrechte Felskante.

Formatiert: Schriftart: Fett



Abb. 22. Abrupte Übergangszone von *Enteromorpha* sp. zur Fläche mit voller *Fucus serratus*-Bedeckung. Typische Verzahnung der beiden Flächen in einer unregelmäßigen Linie, anscheinend aufgrund der unterschiedlichen Topographie (*Enteromorpha*-Bereiche liegen tiefer als die *Fucus*-Bestände im selben Bereich).

Formatiert: Schriftart: Fett



Abb. 23. Übergangszone von *Enteromorpha* sp. zur Fläche mit degradiertem *Fucus*-Bewuchs. Im *Enteromorpha*-Bereich erhöhte Inseln aus Buntsandstein, die mit *Fucus* bewachsen sind.

Formatiert: Schriftart: Fett

Im Verlaufe des Jahres kommt es in diesem *Enteromorpha*-Gebiet je nach Wetter-/Windlage zu starkem Anwurf von Driftalgen, wobei *Laminaria* den größten Teil ausmacht. Diese Ansammlung von Drift und Detritus kann sich über Wochen und Monate hinziehen (beispielsweise im Frühjahr/Sommer 2005) und den darunterliegenden Bewuchs an *Enteromorpha* zerstören. Dieser Störfaktor ist sicher der Abrasion durch Schotter und Steine, die insbesondere bei Wintersturmlagen (N-Wind) erfolgt, gleich zu setzen. Für das Monitoring ergibt sich daraus, dass diese Flächen nur zu Hauptentwicklungszeiten im Sommer kartiert werden können und dürfen.

Vergleich der *Enteromorpha*-Bestände 2005 mit Vorjahren. Im Laufe verschiedener Untersuchungen wurden die *Enteromorpha*-Flächen des oberen Eulitorals bereits seit 1999 mit verschiedenen Methoden (GPS- und Maßbandmessungen, Fernerkundungsklassifizierung) kartiert (Bartsch, Tittley, Thiemann unveröffentlicht). Es zeigte sich seit 1999 eine relative Lage- und Flächenkonstanz dieser Bereiche (Abb. 24). Genaue Flächenvergleiche lassen sich nicht anstellen, da die Kartierungen mit verschiedenen Methoden durchgeführt wurden.

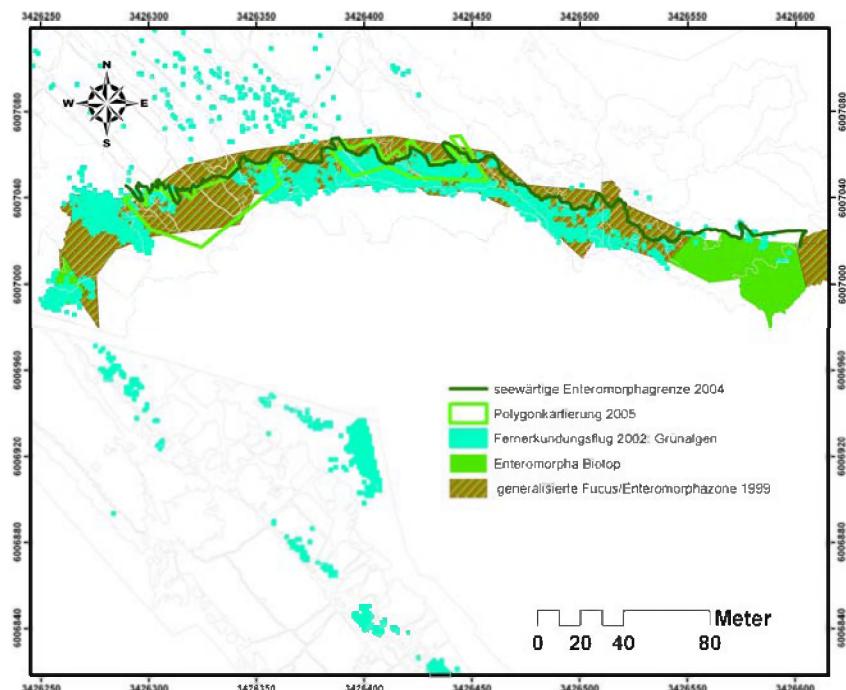
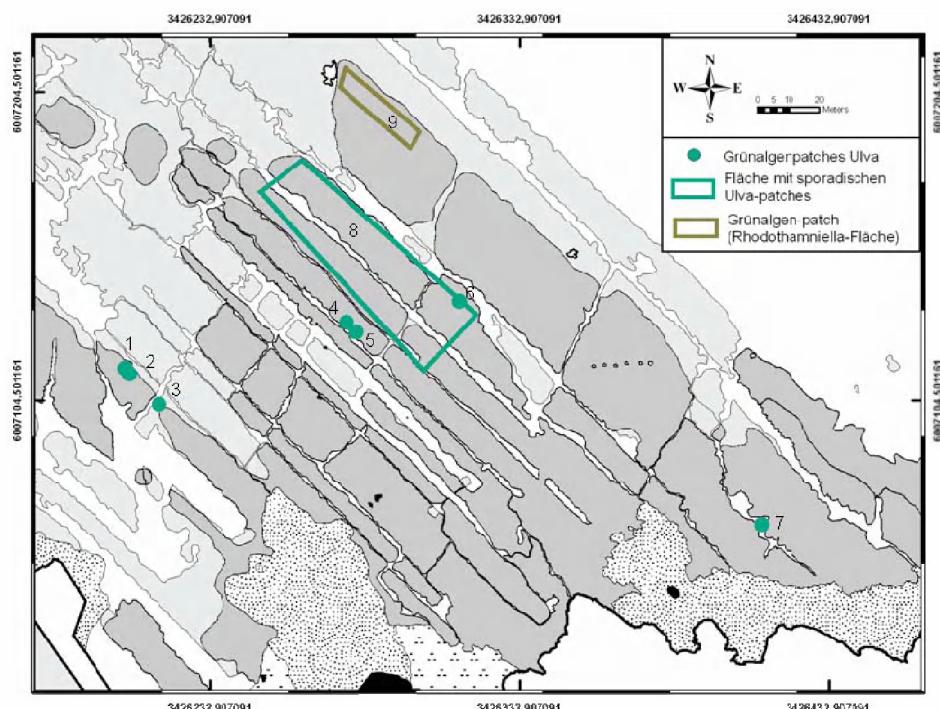


Abb. 24. Variation der dichten *Enteromorpha*-Bestände zwischen 1999 und 2005. Der Vergleich verschiedener Untersuchungen zeigt die relativ konstante, ähnliche Lage der seewärtigen Grenze. 1999 *Enteromorpha*-Biotop und Fuc/Ent-Fläche und seewärtige *Enteromorpha*-Grenze 2004

(Bartsch & Tittley, unpubliziert); Fernerkundungsklasse 2002 (Bartsch & Thiemann unpubliziert); Polygonkartierung 2005: diese Untersuchung.

Auch Reichert (2003) geht davon aus, dass sich die *Enteromorpha*-Felder des oberen Eulitorals zwischen 1986 (Janke 1986) und 2002 nicht wesentlich verändert haben. Dies unterstützt die Annahme von Bartsch & Kuhlenkamp (2004), dass der *Enteromorpha*-Gürtel der oberen Gezeitenzone im N-Watt natürlicherweise besteht und ein Zeichen des dauerhaft mechanisch gestörten Habitats ist und keine zwingende Folge der Eutrophierung und sich deshalb nicht zwingend als Variable für das Gewässergütemonitoring eignet.

Grünalgenflecke außerhalb der *Enteromorpha*-Zone. Es wurden einige kleine Flächen, die mit *Enteromorpha* bzw. *Ulva* bewachsen waren im Bereich des dichten *Fucus*-Bestandes registriert (Punkte 1-7, 9 als Grünalgenflecke in Abb. 25). Diese Flächen waren sonst frei von *Fucus*. Weiterhin gab es einen Bereich, in dem kleine *Ulva*-Ansammlungen vorkamen, die über eine relativ große Fläche sporadisch und epiphytisch auf *Fucus serratus* auftraten (Fläche 8 mit sporadischen *Ulva*-Flecken in Abb. 25). Das *Rhodothamniella*-Gebiet, ein eigener *Fucus*-freier Biotop (Nr.



9, Abb. 25), war ebenfalls dicht mit *Enteromorpha* und *Ulva* bewachsen.

Abb. 25. N-Watt: Grünalgenflecke. Die Nummern bezeichnen einzelne Bestände, die in Tab. 4 eingehender dargestellt werden.

Tab. 4. Einzelergebnisse der Grünalgenflecke aus Abb. 25:

Nr.	ID-Nr. Felddate n	Foto	Daten Feldprotokoll	Bemerkungen
1	1207	wie Nr. 2 u. 3	Schichtkopf im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; <i>Ulva lactuca</i>	Punktaufnahme einer 1,5 m x 3,0 cm Fläche
2	1208		Schichtkopf im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; Auf 3 m Länge ungefähr 3 – 4 <i>Ulva lactuca</i> Flecken	mehrere Flecken in einem Punkt erfasst (pro Fleck ca. 40 x 40 cm)
3	1209		Schichtkopf im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; <i>Ulva lactuca</i>	Punktaufnahme einer 40 x 60 cm Fläche
4	1261		Schichtkopf (oberes Plateau) im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; Sandablagerungen vorhanden; <i>Enteromorpha</i> (80%) / <i>Ulva</i> (10%) – Flecken; Zusätzlich: 50% <i>Enteromorpha linza</i>	Mehrere Flecken in einem Punkt erfasst
5	1262		Schichtkopf (oberes Plateau) im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; Sandablagerungen vorhanden; <i>Enteromorpha</i> (<i>Ulva</i>) – Fleck (60%); Zusätzlich: <i>Enteromorpha linza</i> 80%, <i>Fucus serratus</i> < 1% mit Jungpflanzen bis 4 cm	Punktaufnahme
6	1264	wie Nr. 5	Schichtkopf (z.T. unter Wasser) im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; Sedimentablagerungen vorhanden; <i>Ulva lactuca</i> 50%; von Priell umgeben	Punktaufnahme
7	1247		Tieferliegendes Plateau als umgebende <i>Fucus</i> -Bereiche auf Buntsandstein mit Geröll und Muschelsand; <i>Enteromorpha</i> und <i>Ulva</i> – Fleck, mit unregelmäßigem Bewuchs; Drift vorhanden	Punktaufnahme einer 2 x 2 m Fläche

Fortsetzung Tab. 4. Einzelergebnisse der Grünalgenflecken aus Abb. 25.

8	1263		Schichtköpfe im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; Priele vorhanden; <i>Ulva</i> – Flecken als epiphytische <i>Ulva</i> Pflanzen auf <i>Fucus serratus</i>	vereinzelte kleine Flecken rel. nahe bei einander in einem Polygon zusammengefasst
9	1230 (Punkte 1225- 1229)		<i>Rhodothamniella floridula</i> Polygon (ID: 1230) z.T. von <i>Ulva lactuca</i> überlagert; Punkte ID: 1225-1229 innerhalb des Polygons: Schichtkopf nach Osten abfallend im <i>Fucus</i> -Feld auf Buntsandstein; Sedimentablagerungen vorhanden; z.T. stehendes Wasser weitere Arten: <i>Acrosiphonia</i> sp. <i>Acrosiphonia arcta</i> <i>Ceramium virgatum</i> <i>Chondrus crispus</i> <i>Cladophora rupestris</i> <i>Cladophora sericea</i> <i>Cladostephus spongiosus</i> <i>Corallina officinalis</i> <i>Enteromorpha</i> sp./ <i>Ulva lactuca</i> <i>Sargassum muticum</i>	Punkte in einem Polygon (ID 1230) zusammengefasst

Gesamtdarstellung der Grünalgenverteilung im N-Watt. Wie Punkt- und Flächenkartierungen zeigen, ist das gesamte N-Watt von Grünalgen geprägt, aber jede Art hat ihre ausgeprägten Verteilungsmuster (Abb. 26).

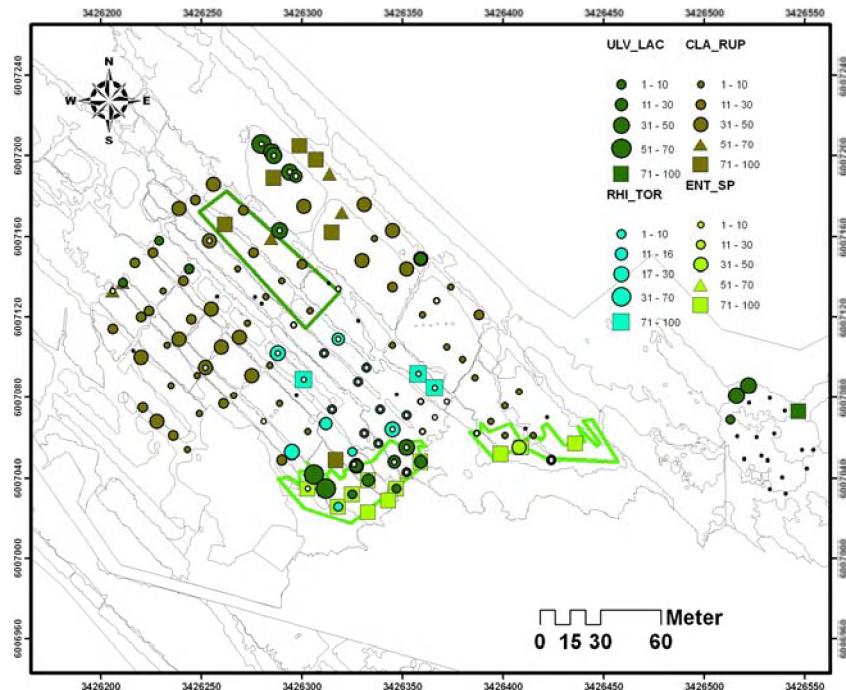


Abb. 26. Menge und Verteilung der dominanten Grünalgen des Eulitorals im Sommer 2005. Cla_rup: *Cladophora rupestris*, Rhi_tor: *Rhizoclonium tortuosum*, Ulv_lac: *Ulva lactuca*, Ent_sp: *Enteromorpha* spp., hellgraue Punkte: Monitoringpunkte, hellgrüne Punkte: diverse andere Grünalgen (*Acrosiphonia*, *Cladophora*), dunkelgrünes Polygon: Gebiet diverser *Ulva*-Flecken, hellgrüne Polygone: *Enteromorpha*-Gürtel.

Während sich *Enteromorpha* vor allem auf den *Enteromorpha*-Gürtel im oberen Eulitoral beschränkte mit Deckungsgraden bis zu 100%, war *Cladophora rupestris* im gesamten unteren Eulitoral, vor allem als Unterwuchs der Fucaceen vorhanden. Die Art war regelmäßig vorhanden mit Deckungsgraden bis max. 100%, aber im Mittel nur 24%. Die filamentöse Sommergrünalge *Rhizoclonium tortuosum* entwickelte, wie bekannt, Massenvorkommen mit hohen Deckungsgraden vor allem im mittleren Eulitoral in den Prielen, was jedoch durch die Punktaufnahmen nicht voll zum Ausdruck kam. *Ulva lactuca* war an mehreren distinkten Standorten vorhanden: (1) im oberen Eulitoral im *Enteromorpha*-Gürtel mit Deckungsgraden bis max. 65%, (2) im unteren Eulitoral im Nordosten der Abrasionsplattform auf dem leicht erhöhten, *Fucus*-freien *Rhodothamniella* Biotop, ebenfalls mit Deckungsgraden um 50% (siehe ID 9, Tab 4), (3) an der Wasserlinie auf *Mastocarpus stellatus* im Bereich des Bunkertrümmerfeldes und (4) sporadisch im unteren Eulitoral innerhalb der

Fucus serratus Zone auf *Fucus* freien Flächen (Abb. 26). Die Auswertung der Punktdaten zeigt ein recht genaues Bild der Grünalgenvorkommen und -abundanz, da sie bis auf den Bereich des *Enteromorpha*-Gürtels kaum als geschlossene, als Polygon kartierbare Bereiche vorkamen. Jedoch erfasste das regelmäßige Punkteraster nicht die *Ulva*-Flecken im *Ulva*-Polygon im unteren Eulitoral (Abb. 26), so dass eine Kombination von Punkt- und Flächenmessungen beim Monitoring angestrebt werden sollte. Ferner sollten alle *Ulva*-Flecken in Zukunft einzeln, gezielt per D-GPS kartiert und quantifiziert werden, um eine bessere Abschätzung zu ermöglichen.

3.1.4 *Laminaria* und Algentiefengrenzen

Die Vertikalverteilung der bestandsbildenden Braunalgen. Innerhalb des Transektes im Norden der Insel Helgoland wurden 272 Fünf-m-Abschnitte auf das Vorkommen und die Bedeckung durch die vegetationsbestimmenden Brauntange *Fucus serratus*, *Sargassum muticum*, *Laminaria digitata*, *L. saccharina* und *L. hyperborea* untersucht. Die Zusammensetzung änderte sich vertikal in einem Tiefenbereich von +0,9 bis -13,5 m unter MSTNW. *L. hyperborea* war die häufigst vertretene Braunalge. Sie kam an 77 % der Abschnitte vor. *L. digitata* wurde als zweithäufigster Brauntang an 31 % der Abschnitte nachgewiesen, *L. saccharina* wurde nur an 12 % der untersuchten Abschnitte mit kleinen, jungen Individuen beobachtet. *F. serratus* wurde an 9 % der Abschnitte im unteren Eulitoral gefunden und an 5 % der untersuchten Abschnitte trat die Braunalge *S. muticum* auf (Tab. 5).

Tab. 5. Häufigkeit der vegetationsbestimmenden Brauntange an 258 der untersuchten 5 m-Abschnitte (aus Gehling 2006).

Bedeckungsgrad nach KAUTSKY	<i>Fucus serratus</i>	<i>Sargassum muticum</i>	<i>Laminaria digitata</i>	<i>Laminaria saccharina</i>	<i>Laminaria hyperborea</i>
0	234	245	179	227	59
5	15	13	12	30	20
25	4	0	8	1	31
50	4	0	17	0	24
75	1	0	21	0	57
100	0	0	21	0	66
Anwesenheit [%]	9,3	5,0	30,6	12,0	76,7

Anhand dieser kontinuierlichen Untersuchung der vorherrschenden Makroalgenvegetation wurden sieben Zonen in der Vertikalverteilung der vegetationsbestimmenden Brauntange charakterisiert (Zonen siehe Material und Methoden). Sowohl *S. muticum* als auch *L. saccharina* waren in den untersuchten Abschnitten so geringfügig vorhanden, dass sie nicht zur Zonenbildung beitrugen. In Abb. 27 ist die relative Häufigkeit der vegetationsbestimmenden Brauntange im Bezug zur Tiefe und in Abb. 28 das Tauchprofil T05-1 im Norden der Insel Helgoland mit den zugehörigen Zonen dargestellt.

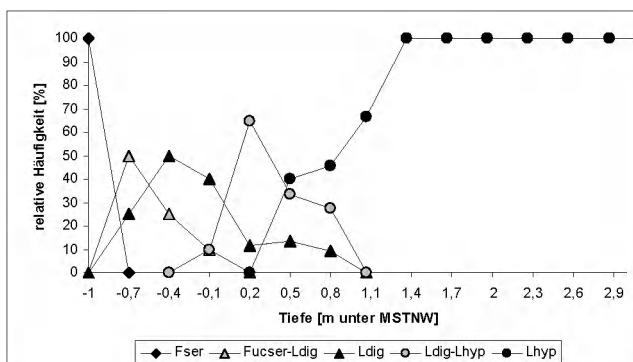


Abb. 27. Relative Häufigkeit von vegetationsbestimmenden Brauntangbeständen. Die angegebenen Tiefenstufen sind mittlere Werte, die jeweils einen Tiefenbereich von 30 cm beinhalten. schwarz =

Reinvegetationen, grau = Mischvegetationen (aus Gehling 2006).

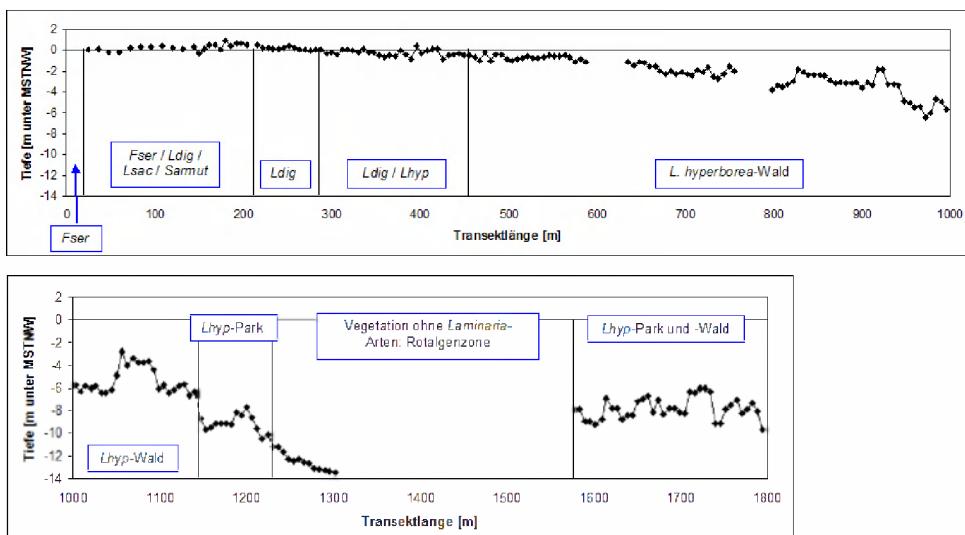


Abb. 28. Tauchprofil T05-1 im Nordwesten der Insel. Das 1800 m lange Transekt verläuft von etwa +1 m bis über 13.5 m unter MSTNW. Eingezeichnet sind die sieben in 2.1.3 definierten Zonen. Abkürzungen: Fser = *Fucus serratus*, Sarmut = *Sargassum muticum*, Ldig = *Laminaria digitata*, Lsac = *L. saccharina*, Lhyp = *L. hyperborea* (aus Gehling 2006).

Für die oberen 20 Meter des Transektes stehen nur Daten zu An- und Abwesenheit der Arten zur Verfügung. Ebenfalls fehlen für diesen Abschnitt wegen eines defekten Tiefenmessers genaue Tiefenangaben. Aufgrund der geographischen Lage der Punkte und der dort vorherrschenden Vegetation konnten diese jedoch zweifelsfrei an den Anfang des Transektes verortet werden. Diese Punkte charakterisierten die reine *Fucus serratus*-Zone (Fser). Im Tiefenbereich oberhalb von +0.7 m (Transektsmeter 0-20) trat diese Alge mit einer relativen Häufigkeit von 100 % als Reinvegetation auf. Unterhalb des MSTNW wurde diese Alge selten beobachtet. Die untere Tiefengrenze für *F. serratus* lag bei -0.3 m. Der Übergangsbereich zwischen *F. serratus* und *L. digitata* (Fser-Ldig) erstreckte sich zwischen +0.7 und +0.1 m (Transektsmeter 20-200). Die obere Tiefengrenze, bei der ein Exemplar von *L. digitata* angetroffen wurde, lag bei +0.9 m. In dieser Zone traten ebenfalls die Braunalgen *Sargassum muticum* und *L. saccharina* auf, aber in geringen Dichten, so dass diese nicht zur Zonenbildung herangezogen wurden. Die *L. digitata*-Reinvegetation (Ldig) erstreckte sich in einem Bereich von +0.7 bis -0.8 m (Transektsmeter 200-300). Die untere Tiefengrenze dieser Art lag bei -1.3 m. Ein Übergangsbereich zwischen *L. digitata* und *L. hyperborea* (Ldig-Lhyp) trat im Bereich zwischen +0.1 und -0.8 m Tiefe auf (Transektsmeter 300-450). Der Bereich, in dem *L. hyperborea* öfter in Reinvegetation (Lhyp) als in Mischvegetation (s. o.) vorkam, lag unterhalb von -0.5 m. Ab -1.4 m Tiefe kam *L. hyperborea* zu 100 % als Reinvegetation vor. Dabei konnte in eine dichte Wald- sowie eine offene Parkvegetation von *L. hyperborea* unterschieden werden. Der Wald erstreckte sich über einen etwa 700 m langen Bereich (Transektsmeter 450-1150). Der anschließende Park bedeckte nur einen kleinen Bereich von weniger als 100 m (Transektsmeter 1150-1225). Im Bereich des „Repulsegrundes“ (Transektsmeter 1600 bis 1800) wurde ebenfalls eine Wald- und Park-Vegetation von *L. hyperborea* angetroffen. Die obere Vorkommensgrenze dieser Art befand sich in +0.3 m und das unterste mindestens einjährige Individuum wurde in -10.5 m angetroffen. Nachfolgend befand sich eine Geröllzone, in der keine *Laminaria*-Arten, jedoch noch Tiefen(rot)algen und Krustenalgen wuchsen (Transektsmeter 1225-1300).

Die einzige Vergleichsmöglichkeit mit der vorliegenden Untersuchung sind die in Lüning (1970) publizierten Daten, die zwischen 1965-67 aufgenommen wurden. Die im Jahr 2005 ermittelte Vertikalverteilung der *Laminaria*-Vegetation vor Helgoland entspricht immer noch den Verteilungsmustern von 1965-67, jedoch wurden auch einige deutliche Veränderungen beobachtet (Tab. 6).

Tab. 6: Vergleich der verschiedenen Vegetationszonen am sublitoralen N-Transek (Gehling, unveröffentlicht).

LÜNING (1970)		GEHLING (2005)	
<i>Fucus serratus</i>	0 bis 200 m	0 bis 20 m	<i>Fucus serratus</i> (A)
		20 bis 200 m	<i>Fucus serratus, Laminaria digitata</i> und <i>L. saccharina</i> (B)
<i>Laminaria digitata</i> und <i>Laminaria saccharina</i>	200 bis 500 m	200 bis 300 m	<i>Laminaria digitata</i> (C)
		300 bis 500 m	<i>Laminaria digitata</i> und <i>Laminaria hyperborea</i> (D)
<i>Laminaria hyperborea</i> -Wald	500 bis 1100 m	500 bis 1150 m	<i>Laminaria hyperborea</i> -Wald (E)
offene Vegetation mit <i>Laminaria hyperborea</i>	1100 bis 2100 m	1150 bis 1200 m	offene Vegetation mit <i>Laminaria hyperborea</i> (F)
		1200 bis 1300 m	keine Laminarien (G)
		1600 bis 1800 m	offene Vegetation (F)
keine Algen	2100 bis 2400 m	dieser Bereich wurde nicht erfasst	

Im Jahr 2005 herrschte im oberen Sublitoral *Laminaria digitata* zusammen mit den unteren Vertretern von *F. serratus* vor. Schnell fand dieser jedoch seine untere Verbreitungsgrenze, ab der sich nun eine gemischte Vegetation von *L. digitata* und *L. hyperborea* sowie anschließend Reinbestände von *L. hyperborea* ausbreiteten. *L. saccharina* wurde 2005 zwar auch in diesem Bereich gefunden, doch wesentlich seltener als vor 40 Jahren und nur mit wenigen und jüngeren Individuen, so dass keine eigene *L. digitata* / *L. saccharina*-Zone mehr definiert werden konnte. Dafür wurde *S. muticum* in die Liste der vegetationsbestimmenden Brauntange mit aufgenommen. An dem in dieser Arbeit untersuchten Transekt wurde *S. muticum* jedoch relativ selten angetroffen, so dass keine Zone danach benannt wurde, doch nahm diese Art an anderen Stellen des Sublitorals durchaus eine dominierende Rolle ein (Gehling, mündl. Mitteilung). Hinsichtlich der Tiefengrenzen gab es merkliche Veränderungen. Für *F. serratus*, *L. digitata* und *L. saccharina* haben sich diese nicht verändert. Die untere Verbreitungsgrenze dieser Arten wird somit vermutlich durch innerartliche Konkurrenz gesetzt und sollte deshalb in Zukunft, vorausgesetzt eine gleiche Artenabfolge, nicht für Klassifizierungszwecke herangezogen werden. Auffällig ist jedoch die enorme Ausbreitung von *L. hyperborea* in größere Tiefen (und auch in die Höhe) um bis zu 4 m. So haben sich die Grenzen für den *Laminaria*-Wald und -Park ebenfalls verschoben. Während sich 1965-67 der Wald bis 4 m Tiefe und der Park bis 6 m Tiefe erstreckte, so waren diese Zonen 2005 bis in Tiefen von 6 und 8 m vorgedrungen. Ebenso war *L. hyperborea* 1965-67 im Nordtransekt nur bis zu einer Tiefe von 6,2 m vorhanden und ansonsten um die Insel herum

nur bis maximal 8 m. Im Gegensatz dazu wurde diese Art 2005 im Norden mit mehrjährigen Individuen bis in eine Tiefe von 10,5 m und mit jungen Sporophyten bis in eine Tiefe von mindestens 12,5 m angetroffen.

Die Vertikalverteilung der Unterwuchsarten im Laminarienwald. Die Vertikalverteilung der Unterwuchsalgen war nicht Gegenstand des vorliegenden Auftrages. Da alle sublitoralen Daten jedoch im Rahmen einer Diplomarbeit erhoben wurden (Gehling 2006), werden sie hier beschrieben.

Die Vertikalverteilung der Unterwuchsarten hat sich im Vergleich zu der Situation, die Lüning (1970) beschrieb, ebenfalls verändert. In Tab. 7 und Abb. 29 sind die Unterschiede in den Tiefengrenzen als Vergleich zwischen 1965-67 und 2005 dargestellt. Bei 38 % der untersuchten Arten gab es Verschiebungen der Tiefengrenze in größere Tiefen um 2 bis zu 8 m. Dies wurde bei einer Grün- (20 %), drei Braun- (43 %) und elf Rotalgenarten (41 %) beobachtet.

Tab. 7. Tiefengrenzen wichtiger sublitoraler Makroalgen und ihre Veränderung zwischen 1965-67 (Lüning 1970) und 2005 (Tiefenangaben in m unter MSTNW). * Werte vom N-Transek. (aus Gehling 2006, verändert)

Art	1965-67	2005	Differenz
<i>Ceramium virgatum</i>	3.2	11.5	8.2
<i>Cystoclonium purpureum</i>	3.2	11.5	8.2
<i>Chondrus crispus</i>	2.4	9.6	7.2
<i>Desmarestia aculeata</i>	6	11.5	5.5
<i>Halarachnion ligulatum</i>	7	12.5	5.5
<i>Lomentaria clavellosa</i>	7	12.5	5.5
<i>Lomentaria orcadensis</i>	8.3	12.5	4.2
<i>Polysiphonia stricta</i>	9.6	12.5	2.9
<i>Rhodomela confervoides</i>	7.3	10.2	2.9
<i>Coccotylus truncatus</i>	7.4	10	2.6
<i>Pterothamnion plumula</i>	7	9.6	2.6
<i>Plocamium cartilagineum</i>	9	11.5	2.5
<i>Chaetomorpha melagonium</i>	7.3	9.6	2.3
<i>Laminaria hyperborea</i>	6.2*/8.3	10.5	4.3*/2.2
<i>Membranoptera alata</i>	5.9	8	2.1
<i>Delesseria sanguinea</i>	10.6	12.5	1.9
<i>Desmarestia viridis</i>	7.4	9.3	1.9

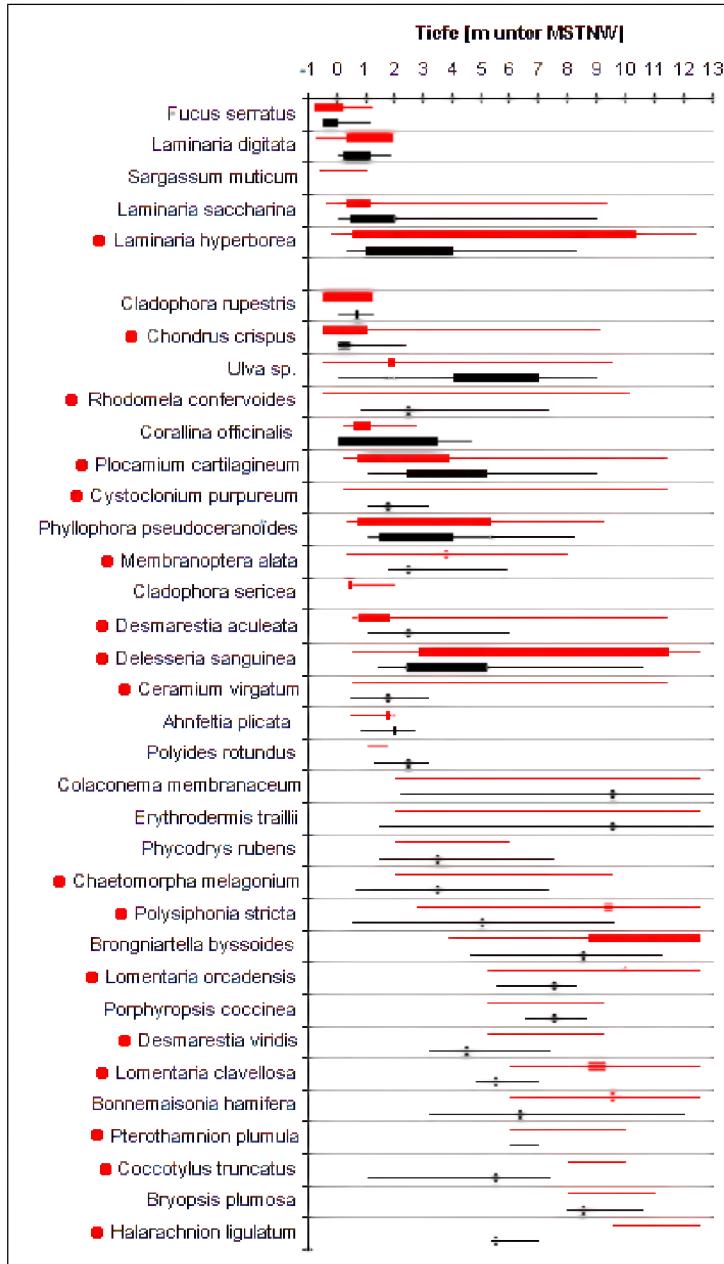


Abb. 29. Vertikalverteilung Helgoländer Algenarten im Sublitoral. Die Hauptverbreitungstiefe der Arten ist jeweils durch einen Vertikalstrich bzw. eine Box markiert. Definition der Hauptverbreitungstiefe gemäß Lüning (1970). Einzelfunde wurden nicht mit aufgeführt; rot = vorliegende Untersuchung, schwarz = Lüning (1970). Rote Punkte = Arten mit deutlich verschobener Tiefengrenze (aus Gehling 2006).

Die Algentiefengrenze von *L. hyperborea* verschob sich im Mittel um ca. 2 m, im N-Transket dagegen um ca. 4 m, was mit der beobachteten Secci-Scheibenerhöhung von 1-2 m in den letzten 40 Jahren in Verbindung

gebracht wird (Wiltshire & Manly 2004). Da sich die Tiefengrenze anderer Arten jedoch um bis zu 8 m erhöhte, ist anzunehmen, dass die Zunahme der mittleren Jahres-Secciwerthe nicht das richtige Vergleichsmaß ist und evtl. eine Analyse der Sichttiefen zu den Wachstumszeiten im Frühjahr oder zu den lichtintensiven Zeiten im Sommer erfolgen müsste. Ferner lässt die Untersuchung die Vermutung zu, dass die Arten verschieden auf das verbesserte Lichtangebot reagiert haben. So kommt z.B. *Halarachnion ligulatum* nun überhaupt erst in Tiefen vor, in denen sie vor 40 Jahren nie registriert wurde. Bisherige Untersuchungen haben nur die Verschiebung der Algentiefengrenzen nach oben bei eutrophierten, verschlechterten Lichtbedingungen festgestellt (z.B. Kangas et al. 1982, Kautsky et al. 1986, Vogt & Schramm 1991), aber nie umgekehrt. Eine genaue Korrelation von Algentiefengrenzen mit Lichtindizes steht noch aus.

3.1.5 Floristische Diversität

Die Ausarbeitung dieses Punktes war nicht Teil des Auftrages. Da jedoch sowohl in den flächig gesetzten Punktdaten im N-Watt als auch aus den Transektdaten des LANU Diversitätsdaten aufgenommen wurden, könnte die floristische Diversität des Transektes für Klassifizierungszwecke in Zukunft für den Gezeitenbereich herausgearbeitet werden. In Bartsch & Kuhlenkamp (2004) wurde die Bedeutung der floristischen Diversität hervorgehoben, aber auf Grund fehlender Daten kein Klassifizierungsansatz ausgearbeitet. Es wird deshalb vorgeschlagen, die vorliegenden Biodiversitätsdaten und die bereits in Bartsch & Kuhlenkamp (2000) und Tittley & Bartsch (2006) aufgenommenen Biodiversitätsdaten in die Interkalibrierungsgruppe NEA GIG einzubringen und gemäß des dort verfolgten Ansatzes von Wells (2005) zu testen bzw. ein eigenes Konzept dazu zu entwickeln.

3.1.6 Dauertransekt des LANU

Die geographischen Koordinaten des Transektes befinden sich im Anhang (Tab. 18). Diese Daten sind als Langzeitbasisdaten zu verstehen, die die Hintergrunddaten für das operative Monitoring liefern sollen und gehen bisher nicht in die Klassifizierungsansätze mit ein.

3.2 Adaptierte Klassifizierung WK Helgoland (N5)

Aus der in Kapitel 3.1 erläuterten Situation ergeben sich die im Folgenden dargestellten, von Bartsch & Kuhlenkamp (2004) abweichenden Klassifizierungsvorschläge (zu grundsätzlichen Erklärungen des Klassifizierungsansatzes sowie der Festlegung der Klassengrenzen siehe dort).

3.2.1 Variable 1. Fucetum

Die bei Bartsch & Kuhlenkamp (2004) vorgegebene Klassifizierung beinhaltet sowohl die Erfassung der räumlichen Ausbreitung, des Deckungsgrades, des Artenspektrums und der Biomasse der *Fucus serratus* Assoziation, wobei Flächenausbreitung und Deckungsgrad als ausschlaggebend für die Klassifizierung angesehen wurden. Bei der Auswertung des vorliegenden Praxistests zeigte sich, dass dieser Klassifizierungsansatz nur dann sinnvoll ist, wenn eine Verschneidung von Fläche und Deckungsgrad vorgenommen wird. Die Klassifizierung dieser Variable wurde deshalb angepasst, indem nur die räumliche Ausbreitung einer dichten *F. serratus* Assoziation (>90% Bedeckung) berücksichtigt wurde und für diese ein neuer Klassifizierungsvorschlag erarbeitet wurde. Um ein Maß für den ‚sehr guten‘ Zustand zu erhalten, wurde dafür die potentielle historische Flächenausbreitung des Fucetums im N-Watt mit Hilfe eines digitalen Geländemodells für die Gezeitenzone Helgolands errechnet (Bartsch & Kersten, unveröffentlicht). Historische Angaben besagen, dass die beiden Arten *F. serratus* und *F. vesiculosus* ein einheitliches ‚Fucetum‘ bildeten, in denen *F. vesiculosus* auch noch in Landferne zusammen mit *F. serratus* im N-Watt beschrieben wurde (Schmidt 1928). An den höchsten Stellen war *F. vesiculosus* dabei ‚schön‘ entwickelt (Nienburg 1930). Historische Angaben, die sich allerdings auf die Westmole und nicht die Abrasionspattform beziehen, belegen eine obere *F. vesiculosus* Grenze von 110 cm MNW (= -47 cm NN), was auch dem heutigen oberen Vorkommen von *F. vesiculosus* im N-Watt entspricht. Dichter *F. serratus* war ungefähr zwischen +50 und -50cm bezogen auf MNW (= -157 cm NN; Lüning 1985) vorhanden (Nienburg 1930). Diese Angaben wurden mit einer standardisierten Referenzfläche verschnitten, die als immer leicht zugängliches Referenzgebiet ausgewählt wurde (Abb. 30).

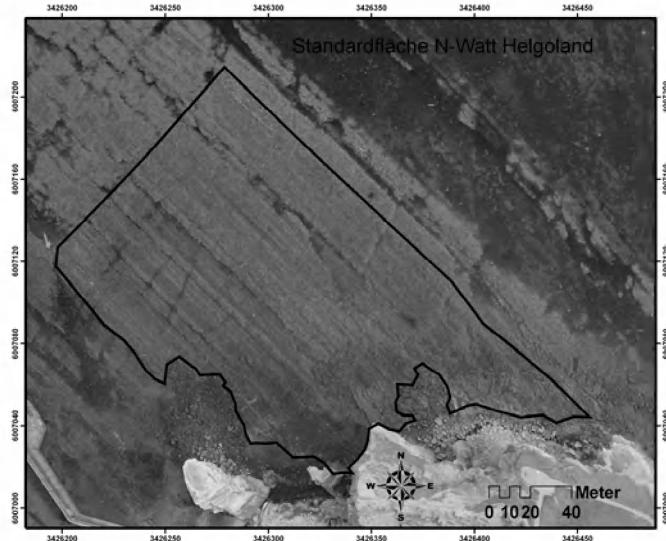


Abb. 30.
Standardisiert
e
Referenzfläch
e des N-Watt
Helgoland, die
zur
Berechnung
der
Flächenanteil
e von
Monitoringdat
en in Zukunft
verwendet
werden
sollen.

Der historische Zustand des Fucetums (dichter *Fucus* Bewuchs) hatte demnach folgendes potentielles Ausbreitungsgebiet innerhalb der Referenzfläche des N-Wattes (Abb. 31).

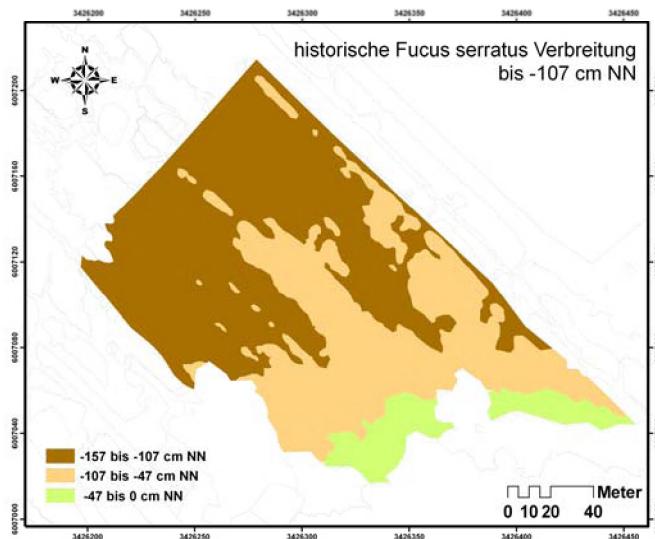


Abb. 31. Unteres, mittleres und oberes Eulitoral der Standardfläche aus Abb. 30 berechnet mit Hilfe des digitalem Geländemodells für Helgoland (Bartsch & Kersten, unpubliziert). Die Grenzen unteres/mittleres Eulitoral wurden definiert als historisch vermutete obere *Fucus serratus* Grenze bei +50 cm MNW; die Grenze mittleres/oberes Eulitoral wurde aus historischen Werten (+40 bis +110 cm MNW) und aus aktuellen oberen Verbreitungsdaten von *F. vesiculosus* kalkuliert. Das obere Eulitoral wird hier begrenzt durch die Standardfläche, die die Geröllzone nicht mit einbezieht. Historische Angaben aus Nienburg (1930).

Die in Abb. 31 als unteres und mittleres Eulitoral bezeichnete Fläche ergibt die kalkulierte historische Referenzfläche für das Fucetum (12240 m^2), die für die Anpassung der Klassifizierung verwendet wurde (Tab. 8).

Tab. 8. Variable 1: Neuklassifizierung des dichten ‚Fucetum‘: für dichte *Fucus serratus* Flächen alleine oder in Kombination mit dichtem *F. vesiculosus* Flächen gerundet auf 10 m^2 .

Klasse	Prozentuale Ausbreitung des dichten Fucetum	Standardisierte Fläche N-Watt (m^2): nur dichter <i>Fucus serratus</i>	Standardisierte Fläche N-Watt (m^2): dichter <i>Fucus serratus</i> und <i>F. vesiculosus</i>
1	100-90%	12240-11020	20860-18770
2	<90-70%	11010-8570	18760-14600
3	<70-30%	8560-3670	14590-6260
4	<30-10%	3660-1220	6250-2090
5	<10-0%	1210-0	2080-0

Da sich die Situation dahingehend geändert hat, dass das dichte ‚Fucetum‘ heute fast ausschließlich aus *F. serratus* besteht und *F. vesiculosus* auf der Abrasionsplattform nur fleckenhaft und vereinzelt vorkommt, wird die kombinierte Fucetum-Klassifizierung favourisiert, aber das Monitoring

bezog sich aus denselben Gründen nur auf den dichten *F. serratus*-Bestand. Die historischen Angaben beschreiben das ‚Fucetum‘ als Ganzes (Nienburg 1930), worin allerdings die *F. vesiculosus* Bestände eingeschlossen waren. Es besteht deshalb die Vermutung, dass speziell *F. vesiculosus* im mittleren Eulitoral selektiv zurückgegangen ist, denn *F. serratus* findet sich auch heute noch fleckenhaft benachbart zur *Enteromorpha*-Zone im Übergangsbereich zum oberen Eulitoral. Fotos von Nienburg (1930) zeigen keine *Fucus* degradierten Bereiche im N-Watt.

3.2.2 Variable 2. *Mytilus edulis*

Die Klassifizierung von Bartsch & Kuhlenkamp (2004) schlägt für diese Variable vor, mittels GIS und DGM das heutige Flächenareal der *Mytilus*-Zone im N-Watt zu berechnen und dieses als Bezugspunkt für die räumliche Ausbreitung zu verwenden. Da die potentiell mögliche Ausbreitung von *Mytilus* bei Helgoland nicht bekannt ist, wurde an Hand von georeferenzierten Verbreitungsdaten der letzten Jahre versucht abzuschätzen, in welchem Bereich *M. edulis* im N-Watt maximal anzufinden war. Es stellte sich heraus, dass fast alle *Mytilus*-Funde zwischen 1999 und 2005 im mittleren Eulitoral zwischen -107 und -47 cm NN (d.h. +50 bis +110 cm MNW) lagen (Abb. 32).

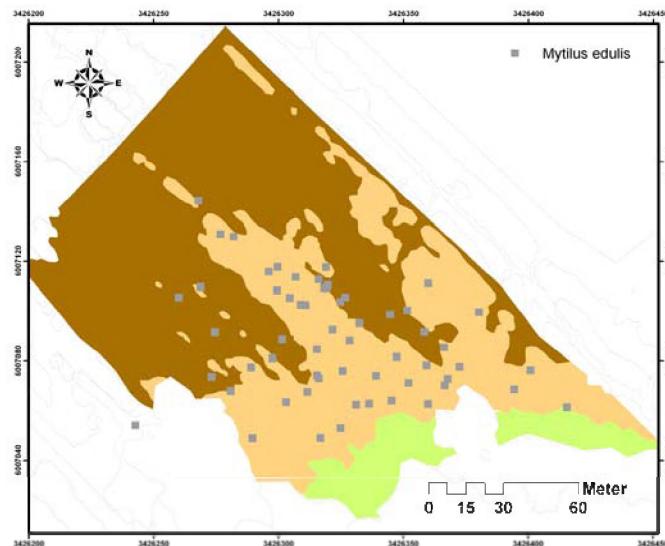


Abb. 32. Verteilung von *Mytilus edulis* zwischen 1999 und 2005 im N-Watt Helgolands (Bartsch unpubliziert und diese Studie). Hellbraune Flächen: mittleres Eulitoral zwischen -107 und -47cm NN.

Die Klassifizierung von Bartsch & Kuhlenkamp (2004) wurde deshalb dahingehend abgeändert, dass die potentielle Ausbreitungsfläche von *M. edulis* sich auf diesen Höhenhorizont beschränkt und als 100% gewertet

wurde (8620 m^2). Ehe keine besseren Informationen vorliegen, sollte mit dieser Kalkulation gerechnet werden. Neben dem Ausbreitungsgebiet ist auch der Deckungsgrad relevant. Da bisher unklar ist, wie Flächenausbreitung und Deckungsgrad DG miteinander verschnitten werden können, werden beide Variablen nebeneinander dargestellt. Daraus ergibt sich folgende Adaptation der Klassifizierung (Tab. 9).

Tab. 9. Variable 2: Neuklassifizierung der *Mytilus*-Ausbreitung. Als 100%ige Fläche, in der *Mytilus* potentiell vorkommen könnte, wird die Fläche des mittleren Eulitorals innerhalb der Standardfläche gewertet (8620 m^2). DG: Deckungsgrad.

Klasse	<i>Mytilus</i> Ausbreitung Eulitoral innerhalb der Standardfläche	DG von <i>Mytilus</i>
1	$0-860 \text{ m}^2$	0-10%
2	$870-2590 \text{ m}^2$	>10-30%
3	$2600-6030 \text{ m}^2$	>30-70%
4	$6040-7760 \text{ m}^2$	>70-90%
5	$7770-8620 \text{ m}^2$	>90-100%

Da es in der Praxis einfacher ist, Individuen von *Mytilus* zu zählen, müsste in Zukunft noch eine Korrelation zwischen Deckungsgrad und Individuen/ m^2 erfolgen.

3.2.3 Variable 3. Grünalgen

Bartsch & Kuhlenkamp (2004) zeigten, dass es keine verwendbaren quantitativen historischen Daten für eine Klassifizierung von *Enteromorpha* und *Ulva* bei Helgoland gibt und deshalb wurde nur eine qualitative Klassifizierung vorgeschlagen. Ferner wird deutlich, dass sich reine *Enteromorpha*-Felder bereits im historischen Zustand auf Helgoland in mechanisch gestörten Habitaten befanden, aber ansonsten eine allgemeine Chlorophyceenarmut vorhanden war (Kornmann & Sahling 1994). Auf Grund der oben beschriebenen Beobachtungen zum *Enteromorpha*-Gürtel im N-Watt und der Erkenntnisse anderer Untersuchungen, dass bei Eutrophierung besonders die Anzahl schnellwüchsiger Chlorophyceen und anderer filamentöser Arten zunimmt (z. B.: Fletcher 1996, Morand & Briand 1996), sollte die Klassifizierung deshalb die allgemeine Chlorophyceen-Abundanz und Verteilung berücksichtigen und monitoren. Allerdings liegen nicht genug Forschungserkenntnisse und historische Daten vor, um eine robuste Klassifizierung zu erstellen und die im Folgenden vorgeschlagene adaptierte Klassifizierung (Tab. 10) muss deshalb weiterhin als vorläufig angesehen werden.

Tab. 10. Variable 3: Neuklassifizierung der Grünalgen-Ausbreitung. Zu berücksichtigen sind die mittlere Abundanz aller im Sommer dominanten Grünalgen innerhalb der Standardfläche.

Klasse	Mittlerer Deckungsgrad von Grünalgen
1	0-10%
2	>10-30%
3	>30-70%
4	>70-90%
5	>90-100%

Die *Enteromorpha*-Zone im oberen Eulitoral ist, wie in 3.1.3 gezeigt, seit vielen Jahren mit dichter Bedeckung vorhanden. Hier könnte die Veränderung der Gesamtfläche eine Beobachtungsgröße sein; als Vergleich lässt sich aber nur der jetzige Zustand heranziehen; es gibt keine Referenzwert für den ‚sehr guten‘ Zustand.

3.2.4 Variable 5. Algentiefengrenzen

Während der praktischen Arbeiten und Auswertungen zeigte sich, dass die Entwicklung der *Laminaria* Gürtel sowie der Algentiefengrenzen thematisch eng zusammengehören, und eine Klassifizierung zum jetzigen Zeitpunkt nur auf den Algentiefengrenzen basieren kann. Die Entwicklung der *Laminaria*-Gürtel ist wichtig und sollte als qualitative Zusatzinformation in die Beurteilung der Gewässergüte mit einfließen, kann aber auf Grund fehlender Daten und Wissen um die Zusammenhänge nicht in die Klassifizierung mit einfließen.

Die Klassifizierung von Bartsch & Kuhlenkamp (2004) für die Algentiefengrenzen listete alle wichtigen in Lüning (1970) angegebenen Arten auf. Die adaptierte Klassifizierung reduziert die Liste auf diejenigen Rotalgenarten für die es auch historische Angaben gibt und bei den Braunalgen auf *L. hyperborea*, da diese in ihrer unteren Verbreitung bei Helgoland nicht durch andere dominante Braunalgen oder dominante Arten überhaupt begrenzt wird. Die Klassifizierung bleibt gegenüber Bartsch & Kuhlenkamp (2004) weitgehend gleich, die Klassengrenzen wurden etwas präzisiert (nicht gerundet). Die Krustenralgen wurden als Variable entfernt, da sie bei verbesserten Bedingungen auf Grund der Tauchbeschränkungen in der Tiefe bei operativem Monitoring evtl. nicht mehr erfasst werden könnten. Es gab nur zwei Arten, wo sowohl Werte von 1930 als auch von 1970 vorlagen (*Laminaria hyperborea* und *Lomentaria orcadensis*). Die mittleren Werte der angegebenen Bereiche von 1930

wurden als 100% gesetzt und die Werte aus Lüning (1970) dazu in Bezug gesetzt. Es ergab sich ein Wert von ca. 60% gegenüber dem historischen Zustand. Insofern wurden alle Werte für Arten, die aus Lüning (1970) stammten und als Ausgangsbasis für die Klassifizierung herangezogen wurden, ebenfalls auf 60% gesetzt und die Klassen entsprechend interpoliert (Tab. 11). In Zukunft wird das Monitoring nicht nur der Laminarien sondern auch der Unterwuchsarten empfohlen, da diese wesentlich zur Neuklassifizierung und Beurteilung beigetragen haben und die Befunde absichern. Da deutlich wurde, dass verschiedene Arten unterschiedlich auf das Mehrangebot an Licht (Wiltshire & Manly 2004) reagierten, wird empfohlen, in den nächsten 10 Jahren die Untergrenze aller in Lüning (1970) und Gehling (2006) untersuchten Arten gemäß Abb. 29 zu verfolgen, aber mindestens die in Tab. 11 gelisteten Arten. Dies wird die Datenlage verbessern und kann danach für genauere Monitoring Empfehlungen verwandt werden. Entsprechendes wurde auch von der Expertenkommission während des UBA Workshops 2005 („Methoden des Makrophyten-Monitorings im Rahmen des BLMP und der EG-WRRL einschließlich Übungen zur Identifikation mariner Makrophyten“) auf Helgoland empfohlen.

Tab. 11. Variable 5: Neuklassifizierung der Algentiefengrenzen an Hand ausgewählter Arten basierend auf der Annahme, dass die Angaben von 1970 einem ‚mäßigen‘ Zustand, die von 1991 einem ‚guten‘ Zustand und die vor/gleich 1930 einem ‚sehr guten‘ Zustand entsprachen. Sofern nur Werte von 1970 vorlagen wurden diese als 60% Wert genommen, abgeleitet von dem Vergleich historisch/1970 bei Lhyp und Lorc. Lhyp: *Laminaria hyperborea*, Dsan, *Delesseria sanguinea*, Pcar: *Plocamium cartilagineum*, Hlig: *Halarachnion ligulatum*, Lorc: *Lomentaria orcadensis*. Alle Werte in m unter MNW oder MSTNW (Differenz: ca. 22 cm).

Klassen	Lhyp	Dsan	Pcar	Hlig	Lorc
Klasse 1 (100-90%)	14-12.6	17.5-15.8	15-13.5	10-9	14-12.6
Klasse 2 <td>12.5-9.8</td> <td>15.7-12.3</td> <td>13.4-10.5</td> <td>8.9-7</td> <td>12.5-9.8</td>	12.5-9.8	15.7-12.3	13.4-10.5	8.9-7	12.5-9.8
Klasse 3 <td>9.7-4.2</td> <td>12.2-5.3</td> <td>10.4-4.5</td> <td>6.9-3</td> <td>9.7-4.2</td>	9.7-4.2	12.2-5.3	10.4-4.5	6.9-3	9.7-4.2
Klasse 4 <td>4.1-1.4</td> <td>5.2-1.8</td> <td>4.4-1.5</td> <td>2.9-1</td> <td>4.1-1.4</td>	4.1-1.4	5.2-1.8	4.4-1.5	2.9-1	4.1-1.4
Klasse 5 <td><1.4</td> <td><1.8</td> <td><1.5</td> <td><1</td> <td><1.4</td>	<1.4	<1.8	<1.5	<1	<1.4

3.3 Gewässergüte WK Helgoland (N5)

Die unter 3.2 adaptierten Klassifizierungen werden im Folgenden mit den im Praxistest erhaltenen Werten verglichen und daraus die Gewässergüteklaasse abgeleitet. Eine Gesamtentscheidung kann nur durch die Betrachtung aller Variablen gefällt werden.

3.3.1 Variable 1. Fucetum

Ein Vergleich der standardisierten Polygonfläche und der interpolierten IDW Fläche mit dem historischen ‚sehr guten‘ Zustand zeigt, dass beide Flächen oberhalb der Klasse 1 liegen, sofern nur die *F. serratus* Verbreitung zu Grunde gelegt wird, aber in der Klasse 3, sofern davon ausgegangen wird, dass sich das dichte Fucetum über die *F. serratus/vesiculosus* Zone erstreckt hat (Tab. 12). Letzteres ist wahrscheinlich, da keine Vegetationsbeschreibung vor 1930 die *Fucus*-degradierte *Mytilus*-Zone des N-Wattes erwähnt hat (Kuckuck 1897, Schmidt 1928, Nienburg 1930).

Tab. 12. Gewässergüte WK Helgoland (N5) im Jahr 2005 an Hand Variable 1: Räumliche Ausbreitung dichtes ‚Fucetum‘. Die Flächenberechnungen wurden mit Digitalem Geländemodell im Geographischen Informationssystem durchgeführt und beziehen sich auf die beschriebene Standardfläche des N-Wattes. IDW: Inverse distance weighting. Standardfläche siehe Abb. 30. Alle Flächenangaben in m².

Klasse	Klassen-Grenzen	Historisches Fucetum (nur <i>F. serratus</i>)	Historisches Fucetum (<i>F. serratus</i> und <i>F. vesiculosus</i>)	2005: Polygon: dichter <i>F. serratus</i>	2005: IDW: dichter <i>F. serratus</i>
1	100-90%	12240-11020	20860-18770		
2	<90-70%	11010-8570	18760-14600		
3	<70-30%	8560-3670	14590-6260	12790	11284
4	<30-10%	3660-1220	6250-2090		
5	<10-0%	1210-0	2080-0		

3.3.2 Variable 2. *Mytilus edulis*

Die Fläche, die in diesem Praxistest von *Mytilus edulis*-Flecken charakterisiert wurde, betrug innerhalb der Standardfläche im N-Watt 1710 m² und fällt damit in die Kategorie 2 (Tab. 13). Die Mittelwerte aller *Mytilus*-Deckungsgrade aus den Punktkartierungen betrug 12 +/-14% und lag damit ebenfalls in der Kategorie 2 mit oberen und unteren Spitzenwerten in Kategorie 1 und 3. Da die *Mytilus* Populationen in der südlichen Nordsee in den letzten Jahren, wahrscheinlich auf Grund zu

warmer Winter, keinen Larvenfall hatten (Nehls et al. 2006), sollte diese Klassifizierung momentan nur eingeschränkt in die Gesamtbeurteilung mit eingehen. Dies zeigt, dass keine isolierte Betrachtung einzelner Variablen erfolgen darf, sondern ökologische Bezüge mitberücksichtigt werden müssen.

Tab. 13. Gewässergüte WK Helgoland (N5) im Jahr 2005 an Hand Variable 2: *Mytilus*-Ausbreitung und Deckungsgrad DG. Die Klassifizierung bezieht sich auf das Gebiet des mittleren Eulitorals (-107 bis -47 cm NN) der Standardfläche des N-Watt. Standardfläche siehe Abb. 30.

Klasse	Räumliche Ausbreitung	<i>Mytilus</i> Ausbreitung Standardfläche (m ²)	<i>Mytilus</i> -Fläche 2005 (m ²)	<i>Mytilus</i> DG	DG 2005 (%)
1	0-10 %	0-860		0-10%	(X)
2	>10-30%	870-2590	1710	>10-30%	12+/- 14
3	>30-70%	2600-6030		>30-70%	(X)
4	>70-90%	6040-7760		>70-90%	
5	>90-100%	7770- 8620		>90-100%	

3.3.3 Variable 3. Grünalgen

Von den fünf in Tab. 14 und Abb. 33 dargestellten Arten, erscheinen zum jetzigen Stand der Erkenntnis vor allen Dinge zwei Arten relevant für die Betrachtung der Wassergüte: *Rhizoclonium tortuosum* und *Ulva lactuca*, mit einem Fokus auf letzterer Art. *Cladophora rupestris* wird sowohl für Helgoland als auch anderswo als ein konstanter Unterwuchs des Fucetums angesehen (Kornmann & Sahling 1977, Connor et al. 2004), und das regelmäßige Vorkommen wurde auch für den historischen Zustand vermerkt (Nienburg 1930). *Cladophora sericea* wiederum ist eine typische Grünalge des Frühjahrs; auch schon im historischen Zustand wurden die Klippen im Frühjahr (April bis Juni) grün gefärbt, vor allem durch *Acrosiphonia arcta* (Nienburg 1930). Das seit Jahren beobachtete großflächige Erscheinen von *Cladophora sericea* ist nicht abschließend zu beurteilen. *Rhizoclonium tortuosum* dagegen wanderte erst 1967 auf Helgoland ein (Kornmann & Sahling 1994) und entwickelte sich seitdem in den frühen Sommermonaten in Massen in den relativ geschützten Prielen des N-Wattes. Dies könnte als Eutrophierungszeiger angesehen werden, jedoch ist über die Biologie dieser Art wenig bekannt und hier besteht

Forschungsbedarf. Die Zunahme von *Ulva* spp. allerdings ist unter Eutrophierungsbedingungen belegt (z.B. Fletcher 1996, Morand & Briand 1996, Schramm & Nienhuis 1996) und im historischen Zustand um 1930 wurde *Ulva* selten als dominant oder charakteristisch beschrieben (Kuckuck 1897, Schmidt 1928, Nienburg 1930).

Tab. 14. Gewässergüte WK Helgoland (N5) im Jahr 2005 an Hand Variable 3: Grünalgenbedeckung. Auswertung der Deckungsgrade DG aller Punktkartierungen. Crup: *Cladophora rupestris*, Cser: *Cladophora sericea*, Entsp: *Enteromorpha* spp., Rtor: *Rhizoclonium tortuosum*, Ulac: *Ulva lactuca*.

Klasse	Mittlerer von Grünalgen	Crup (%)	Cser (%)	Entsp (%)	Rtor (%)	Ulac (%)
1	0-10%					
2	>10-30%	24	24		23	
3	>30-70%			60		31
4	>70-90%					
5	>90-100%					

Mittlere Grünalgenbedeckung und Neu-Klassifizierung

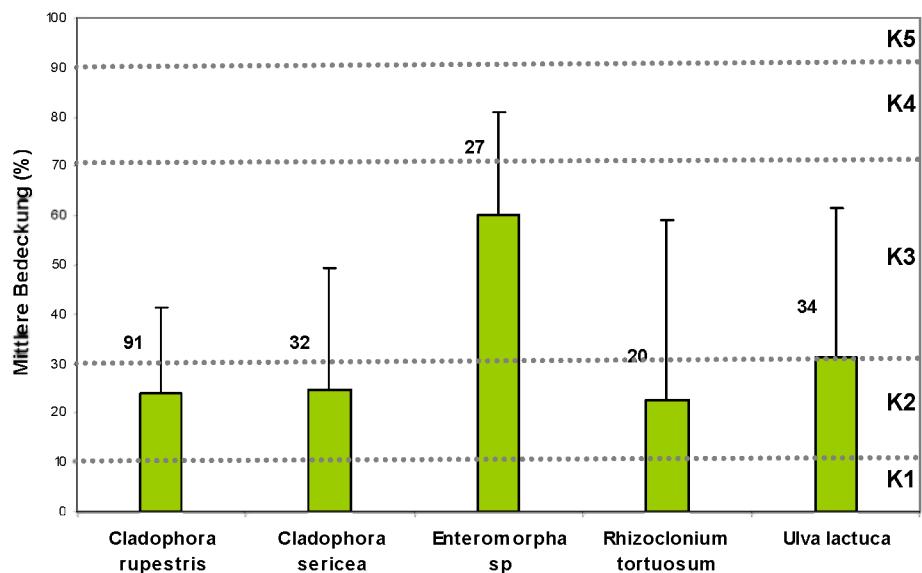


Abb. 33. Adaptierte Grünalgenklassifizierung angewandt auf die mittlere Grünalgenbedeckung. K1-K5 = Gewässergüteklaasse 1 bis 5.

Die Neuklassifizierung einzelner, relevanter Arten erlaubt eine Einordnung im Bereich der Klasse 2 oder 3. Wie Mittelwerte, Extremwerte oder Häufigkeitsverteilungen gewichtet werden sollen, kann nur weitere Forschung ergeben. Es zeigt sich, dass diese Art der Klassifizierung abhängig von dem betrachteten Gebiet oder Transekt und damit wenig robust ist. Betrachtet man alleine die *Ulva*-Deckungswerte für den

Rhodothamniella-Biotope, der bei Bartsch & Kuhlenkamp (2004) als kleinräumiger Monitoring-Bereich empfohlen wurde, so liegt der Deckungsgrad bei 42% (AWI Punktaufnahmen) bzw. 52% (LANU Punktaufnahmen) und damit in Klasse 3. Das geht konform mit einer *Fucus serratus*-Bedeckung von nur 41,6%, die ebenfalls einer Einordnung in Klasse 3 entspräche. Eine Auswertung allein der Dauerquadrate des LANU-Transektes zur *Ulva*-Abundanz ergab dagegen überhaupt keine *Ulva*-Präsenz, mit Ausnahme eines Quadrates mit 1% Bedeckung. Die mittlere *Rhizoclonium tortuosum* Abundanz in den LANU-Dauerquadraten lag dagegen bei 38,1%, was wieder der Klasse 3 entspricht im Gegensatz zu den für *Rhizoclonium* gewonnenen Mittelwerten aller Punktaufnahmen. Die Auswertung des gesamten LANU-Transektes (2 m Abschnitte) lieferte wieder ein anderes Bild, mit 10% *Ulva* und 14% *Rhizoclonium*. Deshalb wird vorerst vor allem die mittlere Abundanz dieser beiden Arten (Tab. 14) als wichtig für die Gewässergüteklassifizierung angesehen. Es zeigt sich somit, dass nicht räumlich aufgenommene Daten hier zu einem falschen Eindruck führen können.

3.3.4 Variable 5. Algentiefengrenzen

Es zeigte sich, dass nicht allein *Laminaria hyperborea*, sondern auch diverse Rotalgen eine Verschiebung ihrer Tiefengrenzen innerhalb der letzten 40 Jahre erfahren haben (Gehling 2006). Demnach fallen alle im Jahr 2005 gemessenen Werte, bis auf *Halarachnion ligulatum*, bei der Neuklassifizierung in die Kategorie 2, obwohl die Zunahme der Tiefengrenzen von Art zu Art verschieden war und zwischen 1,9 und 4 m schwankte, in Einzelfällen bis zu 8 m (Tab. 15). Die Berücksichtigung mehrerer Arten für diese Klassifizierung erscheint sinnvoll, da so die allgemeine Tendenz besser beurteilt werden kann und sollte in Zukunft auch durchgeführt werden. Dies würde den sublitoralen Monitoringaufwand erhöhen, entspräche aber den Empfehlungen des UBA-Expertenworkshops 2005 auf Helgoland. Die Abstufung dieser Variablen scheint einigermaßen robust und für die Verhältnisse vor Ort repräsentativ zu sein. Diese Vorgehensweise der Klassifizierung könnte durch vergleichende Forschungsarbeiten auch an anderen europäischen und/oder deutschen Standorten abgesichert werden, besonders in Kombination mit Secci- und Lichtmessungen vor Ort.

Tab. 15. Gewässergüte WK Helgoland (N5) im Jahr 2005 an Hand Variable 5: Algentiefengrenzen. Lhyp: *Laminaria hyperborea*, Dsan, *Delesseria sanguinea*, Pcar: *Plocamium cartilagineum*, Hlig: *Halarachnion ligulatum*, Lorc: *Lomentaria orcadensis*, ^a: Kuckuck (1897), ^b: de Kluijver (1991), ^c: diese Studie (2005), ^d: Lüning (1970), ^e: Nienburg (1930). Alle Werte in m unter MNW oder MSTNW (Differenz ca. 22 cm).

Klassen		Lhyp	Dsan	Pcar	Hlig	Lorc
Klasse 1 (100-90%)	Grenzen	14-12.6	17.5-15.8	15-13.5	10-9	14-12.6
	Meßwerte	16-12 ^a			10 ^e 12,5 ^c	16-12 ^a
Klasse 2 (<90-70%)	Grenzen	12.5-9.8	15.7-12.3	13.4-10.5	8.9-7	12.5-9.8
	Meßwerte	11 ^b 10.5 ^c	12,5 ^c	11,5 ^c	7 ^d	12,5 ^c
Klasse 3 (<70-30%)	Grenzen	9.7-4.2	12.2-5.3	10.4-4.5	6.9-3	9.7-4.2
	Meßwerte	8 ^d	10,5 ^d	9 ^d		8,5 ^d
Klasse 4 (<30-10%)	Grenzen	4.1-1.4	5.2-1.8	4.4-1.5	2.9-1	4.1-1.4
	Meßwerte					
Klasse 5 (<10-0%)	Grenzen	<1.4	<1.8	<1.5	<1	<1.4
	Meßwerte					

3.3.5 Übersichtsmatrix

Die Ergebnisse aller vorangegangenen Klassifizierungen wurden in einer Matrix vereinigt (Tab. 16). Obwohl die Variablen ‚Floristische Diversität‘ und ‚Seltene Arten‘ in dieser Untersuchung nicht bedacht wurden, ergab der Praxistest, wie bereits bei Bartsch & Kuhlenkamp (2004) vermutet, eine Einordnung in den ‚guten‘ bis ‚mäßigen‘ Zustand.

Tab. 16. Übersichtsmatrix der Gewässergütebeurteilung des Wasserkörpers Helgoland (N5) für das Jahr 2005. DG: Deckungsgrad.

Klasse	Diches Fucetum	Mytilus Fläche	Mytilus DG	Grünalgen DG	Algentiefen	Gesamturteil
1			(X)		(X)	
2		X	X	X	X	X
3	X		(X)	X		X
4						
5						

Die Algentiefengrenzen, für die als einzige Variable einige, wenn auch wenige, quantitative historische Angaben zur Verfügung stehen, haben sich sehr positiv entwickelt und sind in Klasse 2 einzuordnen. Allerdings haben sich die *Laminaria*-Gürtel dahingehend verändert, dass die einstmalen häufigen *L. saccharina* nunmehr sehr reduziert vorgefunden wird (Gehling 2006), was Grund zur Besorgnis ist. Die Faktoren, die zu dieser Bestandsveränderung führten, sind bisher unbekannt.

Empfehlung. Um die Robustheit dieses Klassifizierungsansatzes zu prüfen, wird empfohlen, den Wasserkörper Helgoland mit in die NEA-GIG für Hartböden einfließen zu lassen und eine Harmonisierung bzw. Abgleich mit dort angewendeten Verfahren (z.B. Wells 2005) zu versuchen. Das Hartbodensystem Helgolands ist vom Arteninventar vergleichbar mit anderen kalt-gemäßigten nord-europäischen Küstenlinien. Ferner wird immer deutlicher, dass eine Separierung der einzelnen biologischen Komponenten voneinander nicht sinnvoll erscheint und eine hierarchische Klassifizierung angestrebt werden sollte, in die sowohl die zoologische und botanische Hartbodenkomponente als auch das Phytoplankton und die Entwicklung abiotischer Parameter mit einbezogen werden müssten.

3.4 Bemerkungen zur praktischen Durchführung des Monitoring

3.4.1 Zuverlässigkeit der Erfassung ausgewählter Bestände mittels der Polygonmethode

In Abb. 34 sind alle Polygone der im N-Watt kartierten Polygone dargestellt. Es ergaben sich mehrere Überlappungszonen und Bereiche, in denen eine Grenzziehung zwischen Beständen erfolgen musste. Die Auswertung zeigte, dass dieses im Allgemeinen gut möglich war, obwohl die Polygonerfassung zu verschiedenen Zeitpunkten und Wattgängen erfolgte. Deshalb wird dieses Vorgehen als geeignete und kostengünstige Monitoringmethode empfohlen.

- **Übergang *Fucus* dicht – *Fucus* degradiert.** Der Grenzverlauf der beiden Flächen zeigte eine gute Übereinstimmung. Nur bei zwei kleinen Ausschnitten, in dem das Areal etwas tiefer lag als die restliche dichte *Fucus*-Fläche, wurden unterschiedliche Eckpunkte des degradierten *Fucus* definiert.
- **Übergang *Fucus* dicht – *Enteromorpha* dicht.** Die Grenzen zeigten gute Übereinstimmung, was sich aufgrund der meistens eindeutig sichtbaren Übergänge ergab.

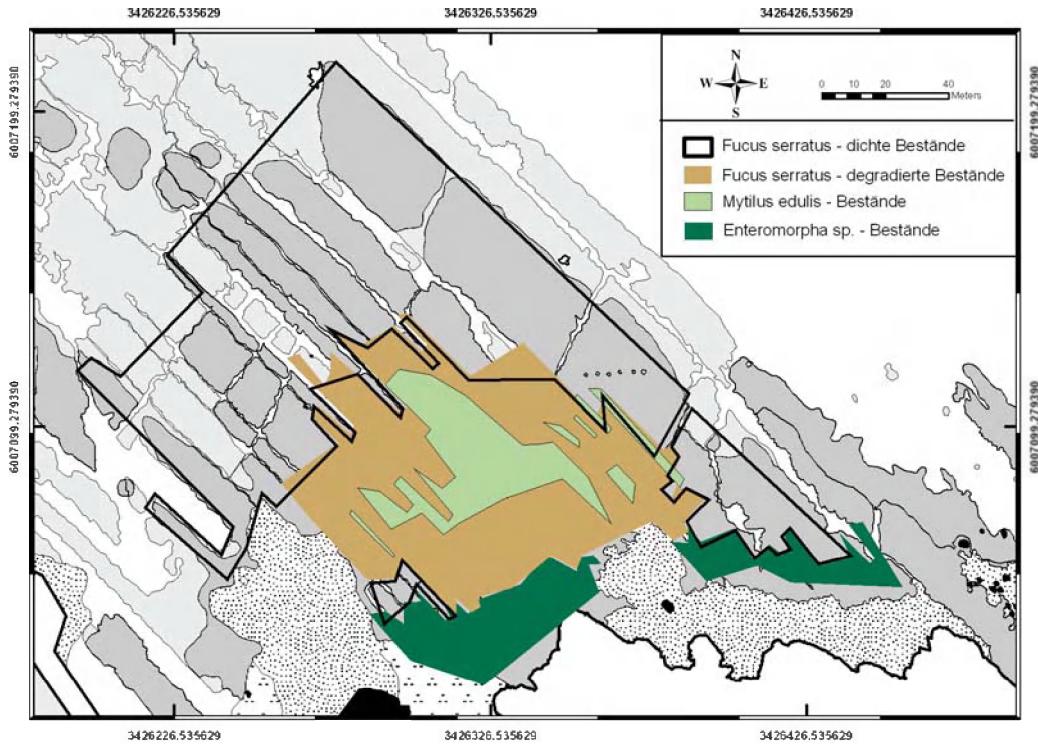


Abb. 34. N-Watt: Darstellung aller Bestandsflächen aufgrund von GPS-Polygonmessungen.

Vor der Begehung eines Areals im Helgoländer N-Watt und der Ausführung von Messungen müsste in Zukunft festgelegt werden, ob Bereiche wie die unregelmäßig freilaufenden Priele ausgeklammert werden. Wir empfehlen dies, denn eine Begutachtung ist aufgrund des Wasserstands in den Prielen oft nicht möglich und die Algenvegetation der Prielen ist deutlich anders (Bartsch & Tittley 2004) als die bei Niedrigwasser regelmäßig exponierten Bereiche des Felswatts. Ein Ausscneiden der Priebereiche könnte auch nachträglich im GIS erfolgen.

Die Voraussetzungen für eine Polygonmessung sind deutlich sichtbare, dominante Arten, die leicht zu identifizieren sind. Wenn andere sub-dominante Arten, Arten des Unterwuchses oder eine hohe Auflösung erforderlich sind, dann muss auf die Rastermethode mit Messquadern zurückgegriffen werden.

3.4.2 Stützpunktmeßung vs. Kontinuierliche Meßung

Der Vergleich zweier Polygone des Bereiches ‚degraderter *Fucus serratus*‘, die parallel mit dem kontinuierlichen und Stützpunktverfahren gemessen

wurden, zeigte, dass die Gebiete generell übereinstimmten, die kontinuierliche Messung jedoch manche Meßpunkte zackig setzte Linie) (Abb. 35). Die Bestimmung der Grenze zwischen zwei Gebieten mit unterschiedlichen Abundanzen einer Art war schwieriger bei der kontinuierlichen Messung, da gleichzeitig zur GPS-Messung die Entscheidung bzw. Diskussion erfolgen musste, wo die Messung verlaufen sollte. Somit zeigte diese Messung eine Unregelmäßigkeit, die nicht unbedingt auf den realen Grenzverlauf zurückzuführen war. Bei einer Messung mittels Stützpunkten konnte für den wesentlich wichtigeren Teil, der Entscheidung des Grenzverlaufes, beliebig viel Zeit aufgewendet werden und somit das Gebiet ausreichend begutachtet werden, um anschließend eine Grenze fest zu legen (Abb. 35).

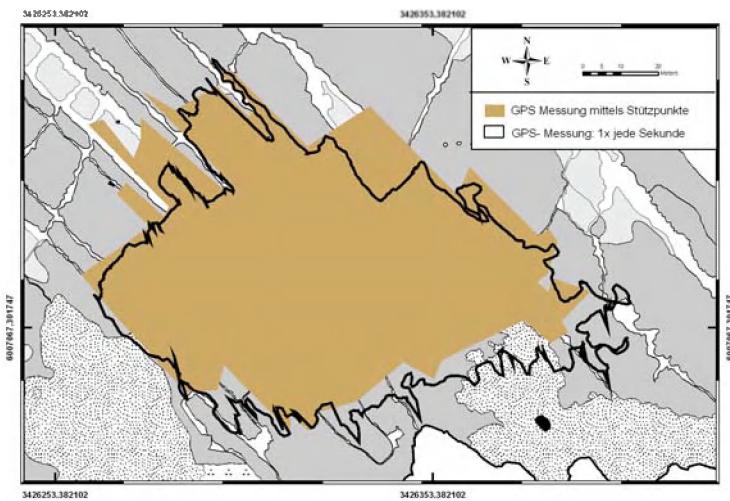


Abb. 35. Vergleich des Grenzverlaufs bei kontinuierlichem (braun) und Stützpunkt-Messmodus (schwarz) eines Polygons am Beispiel der ‚degradierten *Fucus* Fläche‘. Der kontinuierliche Messmodus zeigt mehr Details, aber auch mehr Störungen des GPS-Signals.

3.4.3 Genauigkeit der Flächenerfassung

Die Zuverlässigkeit der Lage und Größe von Polygonen wurde ermittelt, in dem ein *Enteromorpha*-Areal an zwei aufeinander folgenden Tagen durch unterschiedliche Personen gemessen wurde (Abb. 36). **Diskrepanz in m² ausrechnen.** Es zeigte sich eine gute Übereinstimmung der beiden Polygone, insbesondere an den Eckpunkten. Es war realistischerweise ein Übergangsbereich zwischen den beiden Gebieten (*Fucus* und *Enteromorpha*) zu definieren, in dem Schwankungen zwischen den Personen auftraten.

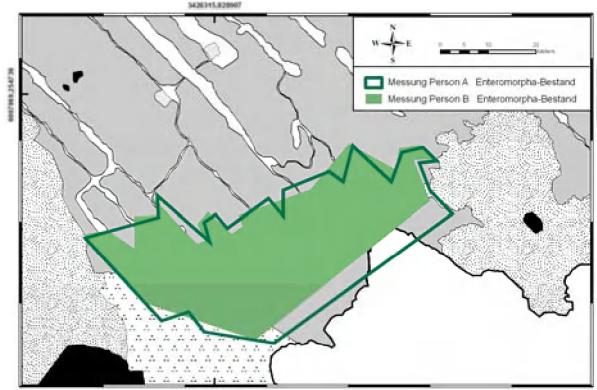


Abb. 36. N-Watt, westliches *Enteromorpha*-Gebiet: Unterschiede in der Polygonmessung mittels D-GPS durch zwei verschiedene Personen.

3.4.3 Vergleich Raster-

Meßquadrat vs. Polygonmessungen

Es ergaben sich mehrere Vorteile einer Polygonmessung gegenüber Abundanzmessungen mittels Raster-Messquadraten:

Vorteile Polygonmessungen:

- Messung nur an Eckpunkten, restliche Zeit steht für die eigentliche Aufgabe, das Bestimmen einer Bestandsgrenze, zur Verfügung
- Beobachten eines Korridors von etwa 10m Breite, um die Grenze zwischen den Bereichen zu ermitteln
- Diskussionsmöglichkeit mit Partner
- Absuchen des Gebietes in den Bereichen zwischen den Stützpunkten, bevor Grenze gesetzt wird
- Geringer Zeitaufwand; schnelles Verfahren, um dominante Arten räumlich zu kartieren

Nachteile Polygonmessungen:

- Bei wenigen Stützpunkten stimmt der Grenzverlauf nicht genau mit dem eigentlichen Verlauf überein
- Art-Auflösung gering, da nur visuell dominante Arten abgegrenzt werden können

3.4.4 Zeitaufwand

Der Zeitaufwand aller im N-Watt durchgeföhrten Polygonmessungen bzw. Punktaufnahmen ist in Tab. 17 aufgeführt.

Tab. 17. Auflistung des zeitlichen Aufwandes aller relevanten Polygon- und Punktmeßungen im N-Watt (ohne Vergleichsmessungen) in Minuten.

		Polygone (min)	Punkte (min)	Anzahl der Punkte im Polygon	Zeit- verhältnis
N-Watt	<i>Enteromorpha</i> sp	120	150	23	1 : 1,25
	<i>Fucus serratus</i> dicht	110	500	61	1 : 4,5
	<i>Fucus serratus</i> degradiert	70	330	38	1 : 4,7
	<i>Mytilus edulis</i>	200	100	13	2 : 1

Es zeigte sich, dass i.a. der zeitliche Aufwand von Polygonmessungen geringer war als von quantitativen Punktmessungen. Eine Ausnahme bildete das *Mytilus*-Feld, welches auf Grund seiner Fleckenhaftigkeit insgesamt schwierig zu erfassen war. Die Erfassung der räumlichen Ausbreitung der wesentlichen Zonen lässt sich mit der Polygonmethode jährlich in max. 4 Niedrigwasserphasen bewerkstelligen.

3.4.5 GPS-Messungen

Wurden Aufnahmen nahe der Felswände (z.B. in der *Enteromorpha*-Zone) durchgeführt, konnte unter Umständen der Satellitenempfang blockiert und dadurch der Messpunkt nicht ermittelt werden. In diesem Fall musste der Bereich manuell nachgemessen werden. Stützpunktmessungen mit dem GPS können je nach Voreinstellung pro Punkt verschieden lange dauern und je nach PDOP und HDOP auch eine unterschiedliche Genauigkeit erreichen. Die ursprünglich gewählte Einstellung von 100 Messungen pro Stützpunkt erforderte jedoch eine vergleichsweise lange Messdauer. Es zeigte sich, dass 50 Messungen pro Stützpunkt ausreichend waren.

3.4.6 Ausführung der Freilandmessungen

Damit ausreichend Zeit für die Untersuchungen im Feld zur Verfügung steht, sollten die Wattgänge mindestens ca. 1,5 - 2 h vor Niedrigwasser begonnen werden, zumal der Einstieg ins N-Watt vergleichsweise beschwerlich und daher zeitaufwändig ist. Aus Gründen der Sicherheit ist es erforderlich, sämtliche Freilanduntersuchungen von mindestens zwei Personen durchführen zu lassen. Darüber hinaus waren gemeinsame Entscheidungsprozesse, z.B. bei der quantitativen Vegetationsaufnahme oder bei der Klassifizierung geschlossener Bestände, unerlässlich. Diese sollten im Idealfall immer von denselben Personen getroffen werden. Es empfiehlt sich für ein solches Monitoring, Personen mit praktischen Erfahrungen in ökologischer Freilandarbeit einzusetzen. Dies erleichtert entscheidend die Aufnahmen im Feld und gewährleistet effektive und schnelle Arbeit.

3.4.7 *Mytilus*-Bestände

Aufgrund der Fleckenhaftigkeit der *Mytilus*-Bestände wird davon abgeraten, den Bestand alleine mit der Polygonmethode zu erfassen. In Zukunft sollte innerhalb des *Mytilus*-Gebietes ein engeres Punkteraster gezogen werden, in dem die Abundanz von *Mytilus* bzw. selektiv die *Mytilus*-Flecken erfasst werden. Die Bereiche, in denen *Mytilus* unter *Fucus* existiert können ebenfalls nur durch quantitative Rastermessungen erfasst werden. Es ist auf jeden Fall zu beachten, dass die Verteilung von Arten von der Topographie des jeweiligen Substratums abhängig sein kann. *Mytilus* wurde oft in Spalten und inmitten von gefestigtem Geröll gefunden. Wenn diese Habitate nicht vorliegen, wird es für diese Art auch schwerer sein, dort vorzukommen, unabhängig von Faktoren, die die Wasserqualität beeinflussen. Hinzu kommt Fraßdruck durch Predatoren wie Krebse, die ebenfalls im Eulitoral an Habitate mit genügend Schutz gebunden sind. Die Erfassung der Hauptpredatoren sollte in diesem Zusammenhang deshalb ebenfalls angestrebt werden.

IV Zusammenfassung

Der vorliegende Praxistest umfasste das Monitoring der *Fucus serratus* Bestände und der Grünalgen im N-Watt, der *Mytilus*-Bestände im N-Watt und an den äußeren Küstenlinien Helgolands und die Erfassung der Algentiefengrenzen entlang eines sublitoralen Transektes im Norden der Insel. Die erhobenen Daten wurden auf die Klassifizierung von Bartsch & Kuhlenkamp (2004) angewendet. Es zeigte sich, dass für einen angewandten Einsatz der Klassifizierung Anpassungen vorgenommen werden mussten, vor allem hinsichtlich der quantitativen Datengrundlage. So wurde eine Referenzfläche im N-Watt definiert, auf die sich Flächenveränderungen in Zukunft beziehen sollen. Ferner wurden mit Hilfe von GIS und DGM aus historischen oder aktuellen Daten für den *Fucus serratus*, *F. vesiculosus* und *Mytilus edulis* Bereich quantitative Bezugsflächen kalkuliert, die vorher so nicht vorlagen. Die *Mytilus*-Kartierung zeigte, dass die Bestände um die Insel herum (nicht Hafenbereiche) im allgemeinen klein sind und somit der Bestand im Norden als wichtigster Standort angesehen wird. Dort haben sich die Abundanzen aber so verringert, dass nicht mehr von einem klassischen ‚*Mytilus*‘-Feld, sondern nur von einem potentiellen *Mytilus*-Feld gesprochen werden kann. Für die ebenfalls bisher nur qualitative Klassifizierung der Grünalgen wurde ein Gesamtansatz aus den Abundanzdaten der Rasterkartierung entwickelt, der jedoch auf Grund mangelnder Datenlage noch nicht abgesichert ist. Hier müssten vergleichende Untersuchungen entlang eines Belastungsgradienten erfolgen. Die Klassifizierung der Algentiefengrenzen wurde ebenfalls verbessert; es zeigte sich, dass in Zukunft nicht alleine der

Effekt auf die Laminarien sondern auf die gesamte dominante sublitorale Flora berücksichtig werden sollte, da dies die Klassifizierung deutlich robuster macht; dies wird aber auch den Monitoringaufwand erhöhen. **Die Einordnung der Monitoringdaten in den Klassifizierungsansatz ergab für den Wasserkörper Helgoland (N5) eine Einordnung in den ‚guten‘ bis ‚mäßigen‘ Zustand.** Allerdings wurde eine drastische Reduktion der dominanten sublitoralen Braunalgenart *Laminaria saccharina* gegenüber dem historischen Zustand und 1965-67 festgestellt, was bisher nicht eingeordnet werden kann. Es wird empfohlen, die am AWI und LANU vorhandenen Diversitätsdaten des Eulitorals auch nach dem Ansatz der NEA-GIG auszuwerten bzw. hierfür eine Eulitoral bezogene floristische Diversitätsklassifizierung zu entwickeln. Ferner zeigte sich, dass eine isolierte Betrachtungsweise einzelner Variablen zu falschen Schlüssen führen kann und die Entwicklung eines hierarchischen Ansatzes angestrebt werden sollte.

V Literatur

- Bartsch I, Kuhlenkamp R (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, Kuhlenkamp R (2004) WRRL-Klassifizierungssystem WK Helgoland. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 113 Seiten
- Bartsch I, Tittley I (2004) The rocky intertidal biotopes of Helgoland: present and past. *Helgoland Marine Research* 58: 289-302
- Connor DW, Brazier DP, Dalkin MJ, Hill TO, Holt RHF, Northen KO, Sanderson WG (1997) *Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland*. Volume 1. Littoral biotopes. Version 97.06. JNCC Report No 229
- Connor DW, Allen JH, Golding N, Lieberknecht LM, Northen KO, Reker JB (2003) *The National Marine Classification for Britain and Ireland*. Version 03.02. [Internet version]. Peterborough: Joint Nature Conservation Committee. <http://www.jncc.gov.uk/marinehabitatclassification>.
- de Kluijver MJ (1991) Sublittoral hard substrate communities off Helgoland. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 45: 317-344
- Fletcher RL (1996) The occurrence of 'Green Tides' - a review. In: Schramm, Nienhuis (eds) *Marine benthic vegetation. Recent changes and the effect of eutrophication*. Springer Verlag, Berlin, 7-44
- Gehling C (2006) Qualitative und quantitative Analyse des Laminarienwaldes vor Helgoland - ein Vergleich zu 1970. Diplomarbeit, Universität Bremen, 118 Seiten
- Gehling C, Eschmann C (2004) Kartierung der Verbreitung der beiden Gezeiten-Rotalgen *Chondrus crispus* und *Mastocarpus stellatus* im Helgoländer NO-Watt unter Berücksichtigung des Substrates. Projektbericht. Universität Bremen, 89 Seiten
- Greig-Smith P (1983) Quantitative plant ecology. Studies in ecology Volume 9, 3. Aufl.. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 359 Seiten
- Hennig B (2004) Applications of hyperspectral remote sensing in coastal ecosystems: a case study from the German North Sea. Diplomarbeit, Universität Köln, 125 Seiten
- Janke K (1986) Die Makrofauna und ihre Verteilung im Nordost - Felswatt von Helgoland. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 40: 1-55
- Kangas P, Autio H, Haellfors G, Luther H, Niemi A, Salemaa H (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 H (1995) Ecological monitoring of structural changes of phytobenthic plant and animal communities. The importance of structural changes and how to monitor them.
www.naturvardsverket.se/dokument/mo/hbmo/del3/kusthav/rigadyk.pdf (Stand: 29.11.2005)
- Kautsky N, Kautsky H, Kautsky U, Waern M (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
- Kitching JA (1941) Studies in sublittoral ecology. III. *Laminaria* forest on the West Coast of Scotland; a study of zonation in relation to wave action and illumination. Biological Bulletin 80: 324-337
- Kornmann P, Sahling PH (1977) Meeresalgen von Helgoland. Benthische Grün-, Braun- und Rotalgen. Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen 29: 1-289
- Kornmann P, Sahling PH (1994) Meeresalgen von Helgoland. Zweite Ergänzung. Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen 48: 365-406
- 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
- Lüning K (1985) Meeresbotanik. Thieme Verlag, Stuttgart, 375 Seiten
- Morand P, Briand X (1996) Excessive growth of macroalgae: a symptom of environmental disturbance. Botanica Marina 39: 491-516
- Nehls G, Diederich S, Thieltges DW, Strasser M (2005) Perishing blue mussels and invading aliens- what are the reasons for the ecological turnover in the Wadden Sea? Wadden Sea Newsletter 1: 17-20
- Nienburg W (1930) Die Besiedelung des Felsstrandes und der Klippen von Helgoland. II. Die Algen. Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen 15: 1-15
- Reichert K (2003) Die Makrofauna und ihre räumliche Verteilung und saisonale Veränderung im Felswatt von Helgoland. Diplomarbeit, Universität Hamburg, 112 Seiten
- Schmidt OC (1928) Die Algenvegetation Helgolands. In: Karsten G (ed) Vegetationsbilder. Fischer Verlag, Jena, 25-30
- Schramm W, Nienhuis P-H (1996) Marine benthic vegetation. Springer Verlag, Berlin, 470 Seiten
- Tittley I, Bartsch I (2006) Recognition of the eulittoral rocky shore biotopes of Helgoland: a numerical approach. Aquatic Conservation: submitted

-
- Vogt H, Schramm W (1991) Conspicuous decline of *Fucus* in Kiel Bay (western Baltic): What are the causes? Marine Ecology Progress Series 69: 189-194
- Wells E (2005) Intertidal coastal waters macroalgae-reduced species list. Draft paper MPTT/MAT01 for Water frame Work Directive Marine Plants Topic Team, 05 May 2005, 16 Seiten
- Wiltshire KH, Manly BFJ (2004) The warming trend at Helgoland Roads, North Sea: Phytoplankton-response. Helgoland Marine Research 58: 269-273

VI Anhang

Tabelle 18. Geographische Koordinaten in der Gauß-Krüger Projektion (GK_x und GK_y) des LANU Dauertransektes im N-Watt Helgolands. Marke: Markierung im Feld, DQ: Dauerquadrat.

Feld-Code	Beschreibung	GK_X	GK_Y	Funktion
0 m	Transekttbeginn; Nullpunkt	3426345,23	6007054,12	Marke
15 O	15 m seewärts vom Nullpunkt, oben	3426333,03	6007064,76	DQ
15 M	15 m seewärts vom Nullpunkt, mitte	3426334,59	6007066,54	DQ
15 U	15 m seewärts vom Nullpunkt, unten	3426335,98	6007067,69	DQ
30 O	30 m seewärts vom Nullpunkt, oben	3426321,99	6007075,61	DQ
30 M	30 m seewärts vom Nullpunkt, mitte	3426323,78	6007077,27	DQ
30 U	30 m seewärts vom Nullpunkt, unten	3426326,16	6007079,73	DQ
54 O	24 m seewärts von 30 m Marke bzw. 54 m seewärts vom Nullpunkt, oben	3426306,33	6007093,66	DQ
54 M	24 m seewärts von 30 m Marke bzw. 54 m seewärts vom Nullpunkt, mitte	3426307,88	6007094,93	DQ
54 U	24 m seewärts von 30 m Marke bzw. 54 m seewärts vom Nullpunkt, unten	3426309,20	6007096,23	DQ
60 m	60 m seewärts vom Nullpunkt	3426302,76	6007098,60	Marke
69 O	9 m seewärts von 60 m Marke bzw. 69 m seewärts vom Nullpunkt, oben	3426295,56	6007104,23	DQ
69 M	9 m seewärts von 60 m Marke bzw. 69 m seewärts vom Nullpunkt, mitte	3426296,22	6007105,51	DQ
69 U	9 m seewärts von 60 m Marke bzw. 69 m seewärts vom Nullpunkt, unten	3426297,19	6007106,22	DQ
90 m	90 m seewärts vom Nullpunkt	3426280,95	6007119,21	Marke
91 O	1 m seewärts von 90 m Marke bzw. 91 m seewärts vom Nullpunkt, oben	3426279,89	6007119,50	DQ
91 M	1 m seewärts von 90 m Marke bzw. 91 m seewärts vom Nullpunkt, mitte	3426281,25	6007120,84	DQ
91 U	1 m seewärts von 90 m Marke bzw. 91 m seewärts vom Nullpunkt, unten	3426282,28	6007122,26	DQ
120 m	120 m seewärts vom Nullpunkt	3426258,77	6007140,15	Marke
122 O	2 m seewärts von 120 m Marke bzw. 122 m seewärts vom Nullpunkt, oben	3426257,00	6007141,09	DQ
122 M	2 m seewärts von 120 m Marke bzw. 122 m seewärts vom Nullpunkt, mitte	3426258,15	6007142,15	DQ
122 U	2 m seewärts von 120 m Marke bzw. 122 m seewärts vom Nullpunkt, unten	3426259,06	6007143,37	DQ
149 O	29 m seewärts von 120 m Marke bzw. 1 m landwärts von 150 m Marke bzw. 149 m seewärts von Nullpunkt, oben	3426236,76	6007158,79	DQ
149 M	29 m seewärts von 120 m Marke bzw. 1 m landwärts von 150 m	3426238,12	6007159,92	DQ

	Marke bzw. 149 m seewärts von Nullpunkt, mitte			
149 U	29 m seewärts von 120 m Marke bzw. 1 m landwärts von 150 m Marke bzw. 149 m seewärts von Nullpunkt, unten	3426239,29	6007161,35	DQ
150 m	150 m seewärts von Nullpunkt	3426237,19	6007160,76	Marke