

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtlichsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Aus dem Institut für Meereskunde der Universität Kiel

Beiträge zur angewandten marinen Vegetationskunde der westlichen Ostsee (Kieler Bucht)

Von HEINZ SCHWENKE

Zusammenfassung: Es wird berichtet über Untersuchungen zur „angewandten marinen Vegetationskunde“ in der westlichen Ostsee. Die von HOFFMANN (1952) vertretene Auffassung, daß eine wirtschaftliche Nutzung der Algenvorkommen dieses Gebietes unrentabel sei, wird aufgrund neuerer Untersuchungen bestätigt. Im besonderen wird das Substratproblem in der westlichen Ostsee diskutiert.

Contributions to applied marine vegetation science in the western Baltic (Kiel Bay). (Summary): Investigations about “applied marine vegetation science” in the western Baltic are reported. HOFFMANN 1952 found that the commercial utilization of algae from this region is not profitable. This is confirmed by new investigations. The substrate problem of the western Baltic is discussed in particular.

I. Zum Begriff der angewandten marinen Vegetationskunde

Ob die Algenbestände der westlichen Ostsee einer industriellen Nutzung zugeführt werden können, ist seit der umfassenden Untersuchung durch C. HOFFMANN (1952) zumindest fraglich. Insofern will die vorliegende Arbeit zwar einige weitere, vor allem ökologische Gesichtspunkte zu dieser Frage beisteuern, die gegen eine wirtschaftliche Ausnützung sprechen. Ihr Hauptanliegen aber ist ein anderes: Es soll gezeigt werden, daß zur vegetationskundlichen Arbeit im Meer ein angewandter Aspekt legitim dazugehört und daß alle einschlägigen Untersuchungen zweckmäßigerweise als solche zur angewandten marinen Vegetationskunde verstanden bzw. angelegt werden sollten.

Für diese Auffassung gibt es zwei Ansatzpunkte. Zum ersten: Wenn an einem Universitätsinstitut das Lehrfach Meeresbotanik vertreten wird, dann sind aus Gründen der systematischen Vollständigkeit marine Vegetationskunde und angewandte Meeresbotanik einzuschließen. So gesehen, hätten entsprechende Untersuchungen im Gebiet der westlichen Ostsee aus den oben erwähnten Gründen lediglich exemplarische Bedeutung. Aber es gibt — zweitens — auch einen praktischen Ansatzpunkt. Zur Zeit der Untersuchung C. HOFFMANNs bestand, bedingt durch die damalige wirtschaftliche Lage, ein ernsthaftes Interesse an der industriellen Verwertung der Algenbestände der deutschen Küsten. Unter anderem war man bemüht, aus *Furcellaria fastigiata* einen brauchbaren Agar herzustellen. Um dieses Projekt hat es zwischen den damit befaßten Wissenschaftlern einen Jahre währenden Streit gegeben (siehe z. B. FÖRSTER 1950, 1955), den hier wieder aufzugreifen nicht der geringste Anlaß bestünde, wenn es nicht um eine in unserem Zusammenhange wesentliche Frage gegangen wäre: nämlich um die schließlich entscheidende der Rohstoffvorräte. Es muß heute völlig unverständlich erscheinen, daß zu dieser Frage gesagt werden konnte, Rotalgen könne man „nach Sturmfluten in unabschätzbaren Mengen(!) . . . mühelos einsammeln und an der Luft zum Transport vortrocknen“ (KIRSCHNINCK, zit. nach FÖRSTER, 1955). Unverständlich insofern, als durch Probedredschungen leicht zu belegen war, daß eine hinreichende Rohstoffgrundlage in der Ostsee nicht gegeben ist. Unverständlich vor allem aber unter Berück-

sichtigung der Tatsache, daß zu dieser Zeit eine ganze Reihe von methodisch grundlegenden Arbeiten bereits bekannt war. So hatte CHAPMAN bereits 1944 berichtet über „Methods of surveying Laminaria beds“, einschließlich der Verwendung von Echolot und Luftaufnahmen, und von WALKER lagen mehrere Nachkriegs-Arbeiten über Bestandsaufnahmen an den schottischen Küsten vor.

Dies ein Beispiel mag für viele stehen, um die Berechtigung der oben vertretenen Auffassung zu belegen, angewandte marine Vegetationskunde solle als legitimer Zweig der Meeresbotanik unter hinreichend vergleichbaren methodischen Gesichtspunkten betrieben werden.

Die Hauptaufgaben dieser Arbeitsrichtung lassen sich in enger Anlehnung an die allgemeine marine Vegetationskunde wie folgt umreißen:

- a) Untersuchung von Vorkommen und Verbreitung der wirtschaftlich interessanten Arten in globaler oder lokaler Betrachtung; ihre quantitative Erfassung oder Schätzung.

Wie alle Rohstoffvorräte stehen auch Meeresalgen nur in begrenzten Mengen zur Verfügung. Ihr Vorkommen ist an bestimmte Voraussetzungen, an ihre ökologischen Vegetationsbedingungen geknüpft; daher sind nur geeignete Küstengebiete besiedelt. Die vorhandenen Mengen sind — wenigstens prinzipiell — abschätzbar. Das vielfach anzutreffende Gerede von „unerschöpflichen und unbegrenzten Vorräten“ ist wissenschaftlich unhaltbar und wirtschaftlich unsinnig.

- b) Untersuchung der biologischen Aspekte der vorhandenen Bestände: Wachstumsgeschwindigkeit der Arten, Regenerationsvermögen der Individuen und Bestände, Saisonschwankungen der Inhaltstoffe.
- c) Untersuchung der Abbauwürdigkeit und der Erntemethoden unter biologischen Gesichtspunkten im Interesse der Bestands- und Substraterhaltung.
- d) Untersuchung der Belastbarkeit globaler oder lokaler Bestände durch industrielle Ausnützung; Sicherung der Bestände durch Schutzmaßnahmen (Raubbau-Frage).
- e) Untersuchung von Anbaumöglichkeiten der wirtschaftlich interessanten Meeresalgen.

Dabei ist besonders wichtig, daß die Untersuchungen und Maßnahmen zur Schonung, Erhaltung und biologisch vertretbaren Nutzung der Bestände nicht von der interessierten Industrie selbst, sondern von einer unabhängigen, aber wissenschaftlich kompetenten Institution durchgeführt werden. Das wäre eine sinnvolle Aufgabe der angewandten Meeresbotanik. Gegenstandslos sind Bedenken gegen die heute übliche Handhabung der Algenverwertung leider nicht. So schien zum Beispiel lange Zeit der Eindruck berechtigt, daß die Nutzung der kalifornischen Kelp beds ausreichend kontrolliert würde, während wir heute — bewußt vorsichtig ausgedrückt — zumindest befürchten müssen, daß auch diese Bestände durch Raubbau dezimiert worden sind.

II. Die bisherigen Bestandsaufnahmen in der westlichen Ostsee

a) REINKES Aufnahme. In seiner großen Arbeit von 1889 „Algenflora der westlichen Ostsee deutschen Antheils“ hat J. REINKE erstmalig eine Karte des untersuchten Gebietes gegeben, auf der die bewachsenen und unbewachsenen Anteile dargestellt sind. Mehr allerdings ist aus dieser Karte nicht zu entnehmen; REINKE hatte seine Untersuchung als eine floristische verstanden, wenn wir ihm auch manche grundlegende Anregung auf ökologischem Gebiet verdanken. Als eine gewisse Ergänzung zu dieser ersten Kartierung kann man die bei ROSENVINGE (1909—31) veröffentlichten beiden

Karten der Dredschstellen in den dänischen Gewässern auffassen. Aber auch hier waren floristische Interessen maßgebend.

Dabei ist das floristische Inventar der westlichen Ostsee bis heute durchaus nicht zufriedenstellend geklärt. Für Fragen der angewandten Meeresbotanik spielt das jedoch keine Rolle, da im Gebiet der Kieler Bucht nur wenige Arten von praktischem Interesse sind: die Laminariales *Laminaria saccharina* und *digitata*, die Fucales *Fucus vesiculosus* und *serratus* und die Rhodophyceen *Furcellaria fastigiata* (Cryptonemiales). Einige weitere in den Florenlisten des Gebietes enthaltene und an anderen Orten genutzte Arten stehen infolge ihrer verschwindend geringen Menge außerhalb jeder Diskussion (*Chondrus crispus*, *Ahnfeltia plicata*, *Porphyra*-Arten).

b) HOFFMANNS Untersuchung. Im Gegensatz zu REINKES floristisch bestimmter Aufnahme ist HOFFMANNS großangelegte Untersuchung von vornherein auf eine angewandte Fragestellung gerichtet: auf die Ermittlung der gegebenenfalls industriell verwertbaren Algenmengen an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins. Mit einem kleinen Motorboot wurde die gesamte Küste zwischen Flensburg und Travemünde abgefahren, die *Fucus*-Bestände wurden nach fünf Dichtestufen abgeschätzt und bis zur 6 m-Tiefenlinie kartiert, im tieferen Wasser wurden Dredschproben durch den F. K. „Südfall“ genommen.

Die nachfolgende Tabelle gibt in vereinfachter Zusammenstellung HOFFMANNS quantitative Abschätzung der vorhandenen *Fucus*-Bestände wieder.

Tabelle 1

Fucus-Bestände der deutschen Ostseeküste zwischen Flensburg und Travemünde in t Frischgewicht nach den Berechnungen von C. HOFFMANN (1952)

Gebiet	lockerer Bew. (Stufen 1—3) 1,0—1,5 kg/m ²	dichter Bew. (Stufen 4—5) 3,5—5,0 kg/m ²	Gesamt
I Holnis—Gelting (Flensburger Förde) . .	2 335	2 723	5 058
II Gelting—Eckernförde	4 244	1 167	5 411
III Eckernförde—Hohwacht	7 010	1 544	8 554
IV Fehmarn-Gebiet	13 200	2 990	16 184
V Binnensee—Travem. (Lübecker Bucht) .	4 162	745	4 907
	30 951	9 163	40 114

Hinsichtlich der wirklichen Nutzbarkeit dieser etwa 40000 t Gesamtmenge hat HOFFMANN die folgenden Überlegungen angestellt, die auch heute noch für das Gebiet von grundsätzlicher Bedeutung sein dürften:

1. Es ist aus biologischen Gründen unmöglich, den Gesamtbestand als jährlich nutzbare Menge anzusetzen. HOFFMANN rechnet mit einer „Umtriebszeit“ von drei Jahren. Pro Jahr stünden also theoretisch etwa 13000 t zur Verfügung.
2. Der vorhandene Bestand ist ungleichmäßig verteilt und zeigt sehr unterschiedliche Bewuchsdichten, was für die Abbauwürdigkeit und die Erntetechnik von entscheidender Bedeutung wäre. Die Dichtestufen 1—3 nach HOFFMANN (1,0—1,5 kg/m²) dürften kaum als abbauwürdig gelten. Ihr Anteil macht jedoch rund 75% des Gesamtbestandes aus. Die Dichtestufen 4—5 (3,5—5,0 kg/m²) könnten etwa 9000 t Frischmaterial liefern, wovon pro Jahr — wiederum theoretisch — etwa 3000 t nutzbar wären.

3. Erfahrungsgemäß muß in Abhängigkeit von den jeweils möglichen Erntemethoden damit gerechnet werden, daß nur ein relativ geringer Teil der vorhandenen Menge geborgen werden kann. HOFFMANN setzt für die Gebiete mit lockerem Bewuchs 20%, für die dichter besiedelten 30% an. Damit würden auf diesen letzteren pro Jahr etwa 1000 t *Fucus* zu ernten sein, das wären kaum 200 t Trockengewicht.
4. Vergleiche mit den Untersuchungen WALKERS zeigen, daß die Ergiebigkeit der Ostseeküste mit der der schottischen Küsten, die als Normalfall zu bewerten sein dürften, nicht konkurrieren kann (10—25 t/ha gegen 50—90 t/ha an den schottischen Küsten).

c) Eigene Untersuchungen. Aufgrund der oben in ihren wesentlichen Zügen umrissenen Befunde ist HOFFMANN zu dem Ergebnis gekommen, daß an den Aufbau einer selbständigen algenverarbeitenden Industrie nicht gedacht werden könne. Selbst für eine nebenbetriebliche Verarbeitung sieht HOFFMANN nur geringe Möglichkeiten unter der Voraussetzung, daß Ernteverfahren, Aufbereitung und Transport im Preis niedrig gehalten werden könnten. Angesichts des heutigen Preis- und Lohnniveaus dürfte auch diese Einschätzung als zu optimistisch gelten, so daß heute eine Verwertung der an der westdeutschen Ostseeküste wachsenden Fucaceen-Bestände in wirtschaftlicher Hinsicht ganz eindeutig als unrentabel bezeichnet werden muß.

Das hat zur Folge, daß alle weiteren Betrachtungen und Untersuchungen zu diesem Problemkreis nurmehr theoretischen Wert haben, also als Modellstudien im Rahmen einer angewandten marinen Vegetationskunde aufzufassen sind.

So sind auch unsere eigenen Untersuchungen in der Kieler Bucht als solche zur marinen Vegetationskunde dieses Gebietes angelegt. Sie wollen sich insofern von rein floristischen Aufnahmen wie die REINKES und von rein quantitativ-angewandten wie die HOFFMANNS unterscheiden. Diese noch keineswegs abgeschlossenen Arbeiten haben wir zunächst unterteilt in Flachwasseruntersuchungen oberhalb der 5 m-Linie und in eine großräumige Vegetationsaufnahme der gesamten Fläche der Kieler Bucht unterhalb 5 m Tiefe. Letztere wurde vorwiegend mit einer Unterwasserfernsehanlage durchgeführt (siehe dazu als ersten Bericht SCHWENKE 1964, 1965). Hier sind zunächst nur die angewandten Aspekte zu diskutieren. So könnte man fragen, ob aufgrund dieser Untersuchung die quantitative Einschätzung der Bestände durch HOFFMANN zu korrigieren sei. Dazu können wir uns an folgende Größenordnungen halten: Unsere Bewuchsdichte-Karte (1964, Tafel 3) weist etwa 117 km² des untersuchten Gebietes mit einer Bedeckung zwischen 30 und 100% aus. Geringer bewachsene Gebiete dürften außerhalb des praktischen Interesses liegen. Das entspricht auf *Fucus* bezogen den HOFFMANNschen Dichtestufen 3—5 (1,5—5,0 kg/m²). Da unsere Dichtestufung eher bewuchstypologisch als quantitativ zu verstehen ist, wird man als durchschnittlichen Wert 30% = 1,5 kg/m² ansetzen müssen. Es ist nämlich zu beachten, daß sowohl HOFFMANNS als auch unsere Bewuchsdichtestufung nicht mit solchen gleichzusetzen ist, wie sie in der terrestrischen Vegetationskunde gebräuchlich sind (etwa nach HULT-SERNANDER mit regelmäßiger Flächenaufteilung eines Quadrates). Ein derartiges System ist sinnvoll nur anzuwenden auf felsigem Untergrund, der pro Flächeneinheit jedenfalls grundsätzlich vollständig bewachsen sein könnte (so z. B. SUNDENE 1953, Oslofjord). Bei einem mehr oder weniger zufällig gestreuten und bis zu einem gewissen Grade instabilen Substrat bieten Zahlen nur Anhaltswerte. Sie sind in unserem Falle wie folgt zu interpretieren: Bewuchsdichte (Bodenbedeckung) < 5%: sehr lockerer Bewuchs auf vereinzelt Steinen, Muschelschalen o. ä.; 5—30%: lockerer Bewuchs in relativ kleinen Flecken; > 30%: für Ostseeverhältnisse relativ dichter Bewuchs, auch in größeren Flecken, so daß jedenfalls kleinräumig 100% Bedeckung vorliegen kann. Der in diesem Sinne relativ dichte Be-

wuchs wird in der westlichen Ostsee von nur wenigen Arten gestellt. Höchstens ein Zehntel der oben angegebenen Fläche wird quasi-sublitorale Bestände (unterhalb der 5-m-Linie) von *Fucus vesiculosus* und *serratus* tragen. Setzt man 30% durchschnittliche Bewuchsdichte (= 1,5 kg/m²) an, so kann man damit rechnen, daß zwischen 5 und 10 (für *F. vesiculosus*) bzw. 13 m Tiefe (für *F. serratus*) noch einmal 10—15000 t Fucaceen in einigermaßen dichten Beständen anzutreffen sind, wobei bereits berücksichtigt ist, daß gewisse Überschneidungen beider Aufnahmen nicht zu vermeiden sind. An der HOFFMANNschen Gesamtbeurteilung ändert sich also gar nichts; es wird nur gezeigt, daß die quasi-sublitoralen *Fucus*-Bestände größer sind, als HOFFMANN aufgrund von Dredschproben schließen konnte. Über die Mengen von *Furcellaria* konnte HOFFMANN keine quantitativen Schätzungen anstellen. Wir würden aufgrund unserer Beobachtungen schätzen, daß maximal ein weiteres Viertel der relativ dicht bewachsenen Gebiete von „*Furcellaria*-Wiesen“ bedeckt ist. Da es sich natürlich nicht um reine Bestände handelt, werden wir auch hier nur den 30%-Wert ansetzen dürfen. Rechnen wir unter diesen Umständen mit 0,5 kg/m², so dürften 10—15000 t *Furcellaria* vorhanden sein. LUND (1952) hat für die dänische Produktion im Jahre 1951 etwa 4300 t angegeben, wobei zu beachten ist, daß diese Menge unter nicht vergleichbaren Bewuchs- bzw. „Vorrats“-Bedingungen geerntet wurde. Somit dürfte unsere Schätzung realistisch, eher wie bei *Fucus* zu hoch sein. Die restliche Fläche der > 30%-Gebiete wird von sublitoralen Rotalgen besiedelt, überwiegend *Delesseria sanguinea*, *Phycodrys sinuosa*, *Ceramium rubrum*, *Cystoclonium*, *Phyllophora*, *Rhodomela* und *Polysiphonia*-Arten. Alle anderen Arten spielen mengenmäßig keine Rolle, *Laminarien* treten niemals bestandbildend auf.

Man könnte gegen unsere quantitativen Berechnungen einwenden, daß sie zu grob geschätzt, folglich mit zu großer Fehlerbreite behaftet seien. Dazu ist zu sagen, daß die Fernsehmethode eine recht gute Erfassung der bewachsenen Gebiete ermöglicht; uns sind sicher keine Groß-Vorkommen entgangen. Schätzt man dann die Mengen — wie oben für Tiefen-*Fucus* und *Furcellaria* — sicherheitshalber reichlich hoch, so kann die reale Situation allenfalls schlechter, aber nicht besser sein als veranschlagt. Folglich ergibt sich kein Grund, an HOFFMANNs negativer Gesamtbeurteilung zu zweifeln¹⁾.

III. Standortökologische Gesichtspunkte in der angewandten marinen Vegetationskunde der westlichen Ostsee

Blicken wir zurück auf die eingangs dieser Arbeit zusammengestellten Hauptaufgaben einer angewandten marinen Vegetationskunde, so sollte nicht übersehen werden, daß HOFFMANNs Überlegungen eine zwar nicht näher diskutierte, aber für den Fall der positiven Rentabilitätsentscheidung als selbstverständlich angenommene Voraussetzung machen: nämlich die, daß ein Abbau der Algenbestände in der Ostsee eine streng kontrollierte „Dreifelder-Wirtschaft“ erfordert, daß also Schutzbestimmungen gegen einen Raubbau unumgänglich wären.

Wir haben ferner ausgeführt, daß sich unsere vegetationskundlichen Untersuchungen — unter Einschluß angewandter Aspekte — von rein quantitativen Aufnahmen unterscheiden wollen. Daher soll im folgenden ein ökologischer, im engeren Sinne standort-ökologischer Fragenkreis diskutiert werden, der bei HOFFMANN nicht behandelt ist, der unter angewandten Gesichtspunkten das Raubbauproblem betrifft und der schließ-

¹⁾ Wenig bekannt geworden ist eine ebenfalls negativ beurteilende Arbeit von S. LUND über die Algenutzung in den dänischen Gewässern (1941, siehe Lit.-Verz.), wohl weil sie nur in Dänisch erschienen ist. LUND verweist ebenfalls auf Ernteschwierigkeiten, aber auch auf ökologische (Substrat!) und fischereibiologische Konsequenzen, ferner sieht er — wie HOFFMANN — Gefahren für den Küstenschutz. Auch zur Nutzung angetriebenen Tanges äußert sich LUND negativ.

lich — nach unserer Meinung — von exemplarischer Bedeutung für die marin-vegetationskundliche Behandlung von Fragen der angewandten Meeresbotanik ist.

a) Das Substratproblem in der Ostsee. Es ist schwer, die ökologischen Faktoren, die in ihrer Gesamtheit die Vegetationsbedingungen in einem jeweiligen Gebiet ausmachen, in eine gewissermaßen natürliche Ordnung zu bringen. Man kann etwa wie folgt verfahren:

1. Da es sich bei den benthischen Meeresalgen um autotrophe Pflanzen handelt, bestimmt zunächst — ein geeignetes Substrat vorausgesetzt — die Lichtsituation, bis in welche Tiefe eine Meeresküste besiedelt werden kann.

2. Die Temperatur — hier verstanden als großräumig-klimatischer Faktor — bestimmt die Artenzusammensetzung des jeweiligen Gebietes und damit seinen vegetationsphysiognomischen Typus.

3. Starke Abweichungen vom normalen marinen Salzgehalt (starke Schwankungen oder konstante Abweichungen in hypo- oder hypertotonischer Richtung) reduzieren und modifizieren in der Regel den Artenbestand.

Damit etwa ist der Übergang zu kleinräumigen, lokalen Bedingungen gegeben, in denen jeweils spezifische Faktoren oder Faktorenkombinationen vorherrschen können. So hat zum Beispiel SUNDENE (1953) besonders für den äußeren Teil des Oslofjordes die dominierende Bedeutung der Exposition zu Wellenschlag und Sonneneinstrahlung aufgezeigt, eine Tatsache, die im Hinblick auf die Morphologie einer felsigen Schären- und Fjordküste ohne weiteres einleuchtet. Für den von uns untersuchten Teil der westlichen Ostsee ist der auslesende und modifizierende Einfluß der spezifischen Salzgehaltssituation hinreichend bekannt. Weniger untersucht ist dagegen die dominierende Rolle der anomalen Substratsituation. Anomal insofern, als aus Gründen der geologischen Entstehungsgeschichte dieses Teiles der westlichen Ostsee an keiner Stelle anstehender Fels, sondern nur Geröll unterschiedlicher Größe als Bewuchssubstrat für die epilithischen Algengemeinschaften vorhanden ist.

Die Bindung der Geröllmassen an die Steilküsten (Kliffbildungen) und damit das Auftreten bewuchsreicher Zonen vor diesen Steilküsten ist bekannt und auch von HOFFMANN hervorgehoben worden. Das Geröllsubstrat läßt sich typologisch folgendermaßen gliedern: a) Große Blöcke von 1—2 m Durchmesser, vom Strand bis in etwa 10 m Tiefe, mengenmäßig nicht sehr bedeutend, vor allem im Fehmarn-Gebiet (Nord- und Ostküste). Dazu als Sonderfall: Steinschüttungen aus solchen Blöcken als Hafenschutzbauten u. dergl.; b) Grobes Geröll von etwa Faustgröße, besonders in der Brandungszone; c) Kleingeröll bis etwa Kiesgröße, besonders im Bereich der sogenannten Schorre. Die Typen b) und c) bilden die Hauptmenge des bewachsenen Substrates, dessen ökologisch hervorstechendes Merkmal darin besteht, daß es in Abhängigkeit von der Dynamik der Wasserbewegungen in diesem relativ flachen Meeresgebiet mehr oder weniger instabil ist. Die Stabilität kann dadurch erhöht werden, daß das Geröllsubstrat (außerhalb der Brandungszone) weitgehend übersandet wird. Übersandetes Kleingeröll kann ein recht stabiles, wie festgestampft wirkendes Substrat bilden. Man wird davon ausgehen dürfen, daß die typisch fleckenförmigen *Fucus*-Bestände (in der Regel langgestreckt parallel zur Küstenlinie) durch Förderung der Sedimentation und Abfangen des bewegten Sandes bis zu einem gewissen Grade selbst zur Befestigung beitragen.

Wir haben durch Markierungsversuche in einem Testgebiet der Strander Bucht (Kieler Förde) zeigen können, daß freiliegendes faustgrobes Geröll mit *Fucus*-Bewuchs über große Strecken transportiert werden kann. Andererseits bestätigen Vergleiche mit den Originalkartierungen von HOFFMANN, daß fleckenförmige *Fucus*-Bestände im Laufe

der Zeit an manchen Stellen verschwunden, dafür an anderen neu entstanden sind. Vom Standpunkt der angewandten marinen Vegetationskunde folgt daraus, daß bei der Abschätzung der Möglichkeit einer Algenverwertung in der westlichen Ostsee nicht nur quantitative Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind, sondern auch standortökologische insofern, als zu fragen ist: in welchem Maße wird in Abhängigkeit von der Erntemethode das in diesem Falle instabile Substrat angegriffen? Und was geschieht mit einem völlig abgeernteten Geröllsubstrat (einem „Kahlschlag“), wird es eventuell völlig übersandet und u. U. erst nach längerer Zeit wieder freigespült? In der modernen Landwirtschaft ist es eine Selbstverständlichkeit, daß das Substrat des Pflanzenbaues, also der Boden, durch seine landwirtschaftliche Nutzung nicht irreversibel zerstört werden darf. Wir stehen hier also vor einem neuen, spezifischen Gesichtspunkt, der sich von der Situation an normalen Felsküsten grundsätzlich unterscheidet.

b) Natürliche Verluste. Mit dieser spezifischen Substratsituation hängt ein weiterer bisher wenig untersuchter Aspekt zusammen: die Frage nämlich, in welchem Maße natürliche Verluste auftreten. Besonders zur Zeit der schweren Herbst- und Winterstürme werden selbst an Felsküsten beträchtliche Mengen der Litoraltange losgerissen und angespült (z. B. WALKER and RICHARDSON, 1955). Auch auf Helgoland ist dieses Phänomen nach Sturmtagen zu beobachten; an manchen Stellen, etwa an der Südost-Küste, werden dann große Mengen losgerissener Laminarien zusammengetrieben, oft noch auf Stücken des nicht sehr widerstandsfähigen Buntsandsteins haftend. Grundsätzlich aber wird das Bewuchssubstrat in den genannten Fällen nicht zerstört, es steht der Neubesiedlung zur Verfügung.

Anders in der westlichen Ostsee. Im Zuge unserer Markierungsversuche (Einbinden von farbigen Plastikstreifen in den Thallus) konnten wir beobachten, daß von dem auf nicht übersandetem Grobgeröll der Brandungszone wachsenden *Fucus* zur Zeit der Herbst- und Winterstürme eine beträchtliche Menge auf den Strand gespült wird. Und zwar zum Teil einschließlich der Haftsteine. Ein gewisser Anteil wird im Zuge der jeweiligen Strandwallbildung im Sand vergraben. Generell ist zu sagen, daß die küstennahen *Fucus*-Bestände auf Grob- und Kleingeröll durch Wellenschlag und Strömungen in Bewegung gehalten werden. Ein Teil des Bewuchses der Schorre und besonders der Brandungszone ist insofern ständig „auf der Durchreise“. Die Menge des natürlichen Verlustes ist schwer zu erfassen, da die verursachenden Faktoren in ihrer Wirkung nicht konstant sind, zudem sind schwer Bezugsgrößen zu finden. Unter angewandten Aspekten ist aber auf jeden Fall in Rechnung zu stellen, daß in der westlichen Ostsee ein das Gesamtsystem beträchtlich belastender natürlicher Verlust an Algenmasse auftritt, der darüberhinaus abweichend von normalen Verhältnissen weitgehend das Bewuchssubstrat einschließt. Eine Verwertung der angetriebenen Algen erscheint nicht diskutabel, da sie keine zuverlässig zur Verfügung stehende Rohstoffquelle bilden und aus verschiedenen Gründen als qualitativ minderwertig gelten müssen (biochemische Abbauprozesse, Verunreinigung mit Sand; negativ dazu auch WALKER).

c) Winterschäden. Als ein gebietsgebundener Sonderfall der natürlichen Verluste ist das Auftreten von Winterschäden an der litoralen Benthosvegetation zu betrachten. Nun sind im Bereich der westlichen Ostsee kalte Winter mit Eis-, besonders Treibeisbildung sicher eine Seltenheit, aber im Grunde ist ihr Ausbleiben anomaler als ihr Auftreten. Die litorale Algenvegetation wird vor allem durch die mechanische Wirkung des Treibeises betroffen. Die Folgen solcher Winterschäden hat u. a. SUNDENE (1953) für den Oslofjord dargestellt. Wir hatten zuletzt im extremen Winter 1962/63 Gelegenheit, derartige Schäden und ihre Auswirkungen zu beobachten. Im Frühjahr 1963 haben wir Helgoland besucht und konnten dort, vor allem im Nordost-Watt, die charakteristischen Auswirkungen studieren, die NIENBURG (1925) als Folgen des kalten Winters

1921/22 beschrieben hat. Im Helgoländer sogenannten Felswatt sind Winterschäden besonders schwerwiegend, weil durch Gefrieren des Wassers im durchfeuchteten Buntsandstein das Substrat zerstört wird. Die Bruchstücke werden schließlich sandfein zermahlen. Erst nach dem Freispülen von diesen Rückständen kann der Fels wieder besiedelt werden. Da extreme Frostperioden in der Regel von östlichen Winden und damit von besonders niedrigem Wasserstand begleitet werden, können derartige Situationen für die Vegetation der gesamten Abrasionsterrasse katastrophale Folgen haben. Für *Fucus vesiculosus* hat NIENBURG ermittelt, daß der Nachwuchs nach drei Jahren, im Winter 1924/25, auf die normale Größe von etwa 50 cm bei normaler Rezeptakelentwicklung herangewachsen war.

In der Kieler Förde war die mechanische Wirkung des Treibeises besonders gut an den Beton-Schutzblöcken der Friedrichsorter Leuchtturminsel zu studieren. Diese vorher gut mit *Fucus vesiculosus* bewachsenen Blöcke zeigten sich im Frühjahr 1963 völlig kahl und wurden dann schnell von *Enteromorpha*- und später *Cladophora*-Arten besiedelt. Der *Fucus*-Bewuchs erholte sich in den folgenden Jahren nur langsam, während die Bestände der Grobgeröll-Schorre sich recht schnell regenerierten. Sicher ist auf diesem Substrat die Konkurrenzsituation für *Fucus* günstiger, außerdem dürfte Nachschub aus tieferen Beständen geliefert worden sein.

d) Ernteverfahren. Abschließend bleiben noch die Beziehungen zwischen den Substratverhältnissen und den denkbaren Erntemethoden für *Fucus* zu diskutieren. Nicht zu vergleichen sind die Voraussetzungen dafür mit jenen für die Kelp-Ernte an der kalifornischen Küste. Von *Macrocystis pyrifera* werden nur die an der Oberfläche flottierenden Thallusteile geerntet, Substrat und Jungpflanzen werden also, zumindest im günstigsten Falle, geschont. Näher liegen unserem Interesse die für die schottischen Küsten entwickelten Ernteverfahren (siehe dazu JACKSON 1952, 1957). Hier werden meist Transportbänder, kombiniert mit reißen- oder schneidenden Werkzeugen, zur Ernte von *Fucus* und *Laminaria* verwendet.

Bereits HOFFMANN hat darauf hingewiesen, daß maschinelle Ernteverfahren an der Ostseeküste kaum rentabel sein dürften, sofern sie überhaupt technisch möglich sind. An dieser Stelle ist vor allem auf die Gefahr der Substratzerstörung durch solche Verfahren aufmerksam zu machen. HOFFMANN hat ferner auf die Möglichkeit verwiesen, von Hand zu ernten — billige Arbeitskräfte vorausgesetzt —, was im flachen Wasser sogar völliges Abernten der Bestände möglich mache. Auch hier interessieren uns nicht die wirtschaftlichen Gesichtspunkte, sondern die Auswirkungen auf das Substrat. Wir haben durch eigene Versuche folgendes ermittelt (wobei von vornherein zu bedenken ist, daß zeitraubend sorgfältiges Abernten wirtschaftlich illusorisch sein dürfte): Auf Grobgeröll ist ein Absammeln ohne Eingriff in das Substrat nicht möglich (Bewegen und Verschleppen des Substrates), das gilt auch für das Arbeiten mit einer gezähnten Dreiecksdredsche. Auf übersandetem und festgedämmtem Geröllsubstrat ist die Situation günstiger; *Fucus* wird gewöhnlich am Haftorgan abgerissen. Eine gezähnte Dreiecksdredsche wirkt ähnlich: sie gleitet über das Substrat, ohne es wesentlich anzugreifen. In beiden Fällen bleiben aber die „Kahlschlag“-Folgen durch Übersanden zu bedenken. *Furcellaria*-Wiesen auf Grob- oder Kleingeröll sind bei 6—10 m Tiefe nur mit der Dredsche abzuernsten. Dabei sind Einwirkungen auf das Substrat nicht zu vermeiden.

IV. Schluß

Zusammenfassend läßt sich im Hinblick auf die anfangs aufgestellten Programmpunkte einer angewandten marinen Vegetationskunde für unser Gebiet sagen:

Zu a) Die quantitative Erfassung der wirtschaftlich interessanten Benthosalgen der westlichen Ostsee (*Fucus*-Arten, *Laminarien*, *Furcellaria*) liegt mit hinreichender

Sicherheit vor, um eine negative Entscheidung hinsichtlich der industriellen Abbauwürdigkeit zu begründen.

- Zu b) Die biologisch bedingte Regenerationszeit für die Fucus-Bestände beträgt mindestens drei Jahre.
- Zu c) und d) Die aufgrund der Regenerationszeit erforderliche und durch Schutzbestimmungen sicherzustellende drei- bis vierjährige „Umtriebszeit“ gilt nur für den biologischen Aspekt und berücksichtigt nicht die natürlichen oder — als Ernteverfahren — künstlichen Belastungen des Gesamtbestandes infolge der anomalen Substratsituation in der westlichen Ostsee.

Insgesamt gesehen, wird am Modellfall der westlichen Ostsee (Kieler Bucht) das Beispiel einer vegetationskundlich begründeten negativen Nutzungsentscheidung für die praktische Verwertung von Meeresalgen dargestellt.

Literaturverzeichnis

- CHAPMAN, V. J. (1944): Methods of surveying *Laminaria* beds. J. Mar. Biol. Assoc. Vol. 26. — CHAPMAN, V. J. (1950): Seaweeds and their uses. London 1950. — FÖRSTER, K. (1950): Über den Ostseeagar. Pharmazeut. Zentralhalle, Jhrg. 89, Nr. 12. — FÖRSTER, K. (1955): Noch einmal das Kapitel Ostseeagar. Pharmazie, Jhrg. 10, H. 10. — HOFFMANN, C. (1952): Über das Vorkommen und die Menge industriell verwertbarer Algen an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins. Kieler Meeresforschungen, Bd. IX, 1. — JACKSON, PH. (1952): Harvesting of brown sub-littoral seaweeds I—IV. The Engineer 1952. — JACKSON, PH. (1957): Harvesting machinery for brown sub-littoral seaweeds. The Engineer 1957. — LUND, S. (1941): Tangforekomsterne i de danske farvande og mulighederne for deres udnyttelse. Dansk Tidsskr. f. Farmaci, Bd. 15. — LUND, S. (1952): Vortrag auf dem International Seaweed Symposium. Edinburgh. — NIENBURG, W. (1925): Die Besiedlung des Felsstrandes und der Klippen von Helgoland. 2. Die Algen. Wiss. Meeresunters. Abt. Helgoland, Bd. 15. — REINKE, J. (1889): Algenflora der westlichen Ostsee deutschen Antheils. 6. Ber. d. Komm. z. wiss. Unters. d. deutsch. Meere in Kiel. — ROSENVINGE, L. K. (1909—31): The Marine Algae of Denmark, Vol. I, Rhodophyceae. Kopenhagen. — SCHWENKE, H. (1964): Vegetation und Vegetationsbedingungen in der westlichen Ostsee (Kieler Bucht). Kieler Meeresforschungen, Bd. XX, 2. — SCHWENKE, H. (1965): Über die Anwendung des Unterwasserfernsehens in der Meeresbotanik. Kieler Meeresforschungen, Bd. XXI, 1. — SUNDENE, O. (1953): The algal vegetation of Oslofjord. Skrifter Norske Vidensk. Ak. Oslo, 2. — WALKER, F. T. (1947): A seaweed survey of Scotland—Fucaceae. Proc. Linn. Soc. London, Vol. 159. — WALKER, F. T. (1947): Sublittoral seaweed survey. J. of Ecology, Vol. 35. — WALKER, F. T. (1950): Sublittoral seaweed survey of the Orkney Islands. J. of Ecology, Vol. 38. — WALKER, F. T. and W. D. RICHARDSON (1955): An ecological investigation of *Laminaria cloustoni* EDM. (*L. hyperborea* FOSL.) around Scotland. J. of Ecology, Vol. 43.