

Gymnodinium catenatum: Befunde und Hypothesen

Ende März diesen Jahres kursierten Meldungen durch die Medienlandschaft, daß eine neue, für die Muschelfischerei sehr problematische Planktonalge sich in den deutschen Küstengewässern von Nord- und Ostsee angesiedelt hat. Der Dinoflagellat *Gymnodinium catenatum*, der bisher in Europa vor allem die Muschelwirtschaft vor der iberischen Küste durch seine Toxine bedroht, soll sich mit Wasserströmungen nach Nordeuropa ausgebreitet haben und eine massive Bedrohung für den Menschen darstellen. Was entspricht hier der Wahrheit und was entbehrt der wissenschaftlichen Grundlage?

Toxische Algenblüten in der Deutschen Bucht

Unter den Planktonalgen gibt es eine Vielzahl toxischer Vertreter, deren Gifte u.a. auch für den Menschen gefährlich werden können. Manche dieser Toxine werden in Meerestieren, vor allem Muscheln, angereichert, die selbst nicht geschädigt werden. Verzehrt jedoch der Mensch diese kontaminierten Muscheln, kann es für ihn zu ernsthaften Vergiftungserscheinungen, die auch tödlich verlaufen können, kommen.

Algenblüten sind auch in den deutschen Küstengewässern kein neues Naturphänomen, werden aber erst seit Ende der achtziger Jahre mit zunehmender Sorgfalt registriert. So sind toxische Algenblüten im Bereich der Deutschen Bucht verbunden mit diarrhöischer Muschelvergiftung (DSP) seit 1986 ein dokumentiertes, regelmäßig wiederkehrendes Phänomen, welches vermutlich allein auf Vertreter der Dinoflagellaten-Gattung *Dinophysis* zurückzuführen ist (Nehring et al. 1994). Ein außergewöhnlicher Fall ereignete sich im Jahre 1990, wo die bisher in Europa nur aus der Ostsee bekannte toxische Cyanophycee *Nodularia spumigena* im Banter See, einem öffentlichen Brackwasser-Badesee im Stadtgebiet von Wilhelmshaven, zur Massenblüte



Schlagzeilen der deutschen Presse Ende März 1994

kam und durch ihr starkes Hepatotoxin den Tod zweier Hunde verursachte (Nehring 1993 a). Es ist zu vermuten, daß das Ruhestadium (Akinete) von *N. spumigena* für das erstmalige Auftreten dieser Art im Bereich der Nordsee verantwortlich gemacht werden kann. Es ist bekannt, daß Akineten äußerst widerstandsfähig sind und somit über Seevögel von der Ostsee

verschleppt werden können.

Ruhestadien von Dinoflagellaten: Die Dauercysten

Die Ausbildung von Ruhestadien ist bei den Planktonorganismen weit verbreitet, und nahezu alle Dinoflagellaten-Arten, die für die paralytische Muschelvergiftung (PSP) verantwortlich sind, können über einen Sexualzyklus Ruhestadien (Dauercysten) gegen Ende ihrer Vegetationsperiode - z.B. bei Nährstofferschöpfung oder anderen ungünstigen Milieubedingungen - ausbilden. Diese Dauercysten sind meistens von einer äußerst widerstandsfähigen Zellwand aus einem organischen Material (Sporopollenin) umgeben, die es ermöglicht, über mehrere Jahre auch unter anoxischen Verhältnissen zu überleben. Sie sinken auf den Meeresboden und können spontan auskeimen, um somit die Wassersäule erneut zu besiedeln. Zur Zeit kennt man unter den Dinoflagellaten mehr als 70 Arten aus dem Meer und ungefähr 25 Arten aus dem Süßwasser, die Dauercysten in ihrem Lebenszyklus ausbilden. Es gibt vermehrt Hinweise, daß sich Dinoflagellaten mit ihren Dauercysten in einem Seegebiet regelrecht einnisten können und daß sich außergewöhnliche, oftmals toxische Blüten gerade aus diesem benthischen Saatpotential entwickeln (Burkholder et al. 1992).

Erstmalig für die Wissenschaft wurden durch die deutschen Planktologen Hensen, Lohmann, Möbius und Stein um die Jahrhundert-

wende kleine lebende Objekte im Plankton der Nordsee beschrieben, wobei ähnliche Formen auch als Hystrichosphaeriden (Stachelier) fossil u.a. im Feuerstein der Kreide gefunden worden sind. Erst durch die umfangreichen Untersuchungen der Paläontologen Dale und Wall Mitte der sechziger Jahre unseres Jahrhunderts wurde auch der weiteren Wissenschaft bekannt, daß sich hinter einem Großteil dieser teilweise noch "lebenden Mikrofossilien" Dauercysten von Dinoflagellaten verbergen. Von diesem Zeitpunkt an wurde die Cystenforschung in die Planktologie integriert und auch international besonders beachtet, jedoch lagen bis heute keine Erkenntnisse über das Vorkommen und die Verbreitung von Dinoflagellaten-Dauercysten in den deutschen Küstengewässern vor.

***Gymnodinium catenatum*: Befunde**

Umfangreiche Untersuchungen an rezenten Sedimenten aus dem gesamten Bereich der Deutschen Bucht und Kieler Bucht zeigten, daß Dinoflagellaten-Dauercysten in diesem Seegebiet mit teilweise über 1000 lebenden Cysten cm^{-3} häufiger und weitverbreiteter sind als bisher angenommen.

Dauercysten können sich aus dem heimischen Plankton rekrutieren, aber auch durch den Transport mit Meeresströmungen, im Ballastwasser von Schiffen oder durch den Import mit Aquakulturprodukten in andere Seegebiete eingeschleppt werden und sich hier als Motilform mit allen Konsequenzen etablieren. Viele Cysten besitzen morphologische Strukturen, die im Gegensatz zur Motilzelle eine eindeutige Zuordnung schon mit dem Lichtmikroskop ermöglichen. So wurden in den Nordseesedimenten mehrere Arten, vor allem aus der Gattung *Scrippsiella*, nachgewiesen, die bisher für die hiesige Planktongemeinschaft nicht bekannt waren. Da es sich hier jedoch vor allem um Arten handelt, deren Motilformen leicht mit ähnlichen, hier gut bekannten Arten verwechselt werden können, ist zu vermuten, daß es sich um keine neu eingewanderten, sondern um bisher übersehene Arten handelt. In einem Fall aber trifft dieses sicher nicht zu:

Die cystenbildende Art *Gymnodinium catenatum* besitzt ein charakteristisches Aussehen ihrer vegetativen Form und ist als Verursacher der paralytischen Muschelvergiftung in einigen Ländern zum Problem für Aquakulturanlagen geworden und so Anlaß zu intensiven wissenschaftlichen Untersuchungen. In Europa ist diese Art gegenwärtig nur von der atlantischen Küste der iberischen Halbinsel und aus dem Mittelmeer bekannt, wo sie in den letzten

Jahren zunehmend toxische Blüten ausgebildet hat.

Aufgrund der Fossilierbarkeit der Cysten von *G. catenatum* besteht jedoch die Möglichkeit fossile Sedimente auf das Auftreten dieser Art in der Vergangenheit für ein Seegebiet zu überprüfen. Durch flächendeckende Sedimentuntersuchungen 1983/84 im Bereich des Kattegats konnten subfossile Cysten von *G. catenatum* für den Zeitraum 4000 v.Chr. bis 1700 n.Chr. mit teilweise bemerkenswert hohen Abundanzen nachgewiesen werden, so daß Dale & Nordberg (1993) vermuten, daß dieser Dinoflagellat zu diesen Zeiten Blüten ausgebildet haben muß; die Art scheint aber während der kleinen Zwischeneiszeit vor 300 Jahren ausgestorben zu sein, denn in oberflächennahen Sedimentschichten des Kattegats wurden keine lebenden Cysten gefunden.

Auch in den umfangreichen Cystenuntersuchungen an rezenten Sedimenten zwischen 1970 und 1980 im Bereich der englischen und norwegischen Küsten wurden keine lebenden Cysten dieser Art nachgewiesen, so daß sicherlich keine vegetativen Zellen die Wassersäule besiedelt haben, was auch durch die zahlreichen Phytoplanktonanalysen in Nordeuropa bestätigt wird.

Bei der ersten flächendeckenden Beprobung rezenter Sedimente der Deutschen Bucht im März 1992 wurden jedoch überraschenderweise lebende Cysten von *G. catenatum* nachgewiesen. Sie waren jedoch äußerst selten und nur im Bereich um Helgoland zu finden. Ein ganz anderes Bild ergab sich bei einer weiteren Untersuchung im April 1993, wo sie mit bis zu 10 lebenden Individuen cm^{-3} regelmäßig und auch fast flächendeckend den gesamten sublitoralen Bereich der Deutschen Bucht besiedelten.

Eine erstmalige Beprobung von Sedimenten der Kieler Bucht (Ostsee) im April 1993 erbrachte auch für dieses Seegebiet den Nachweis von lebenden *G. catenatum* Cysten, deren Abundanz mit bis zu 17 lebenden Individuen cm^{-3} sogar relativ hoch war.

Aufgrund der besonderen Relevanz dieser Ergebnisse ergeben sich zwingend mehrere Fragen,

- Woher stammen die Dauercysten von *Gymnodinium catenatum*?
- Kann dieser Dinoflagellat heute in Nordeuropa leben und zu Problemen in der Aquakultur führen?
- Welchen Stellenwert besitzen Cystenuntersuchungen für ein besseres Verständnis der Entstehung von Algenmassenentwicklungen?

die durch folgende Hypothesen beantwortet werden können.

Gymnodinium catenatum: Hypothesen

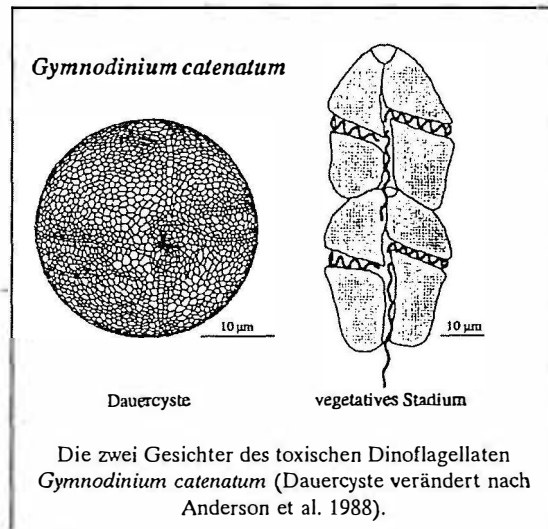
Erstmals ist *Gymnodinium catenatum* in Europa 1976 an der Nordwestküste Spaniens in Galicien auffällig geworden. Die Art verursachte auch durch den Export von PSP kontaminierten Muschelkonserven in das restliche Westeuropa über 100 dokumentierte Vergiftungsfälle beim Menschen, darunter in Deutschland 19 Personen aus Frankfurt/M. (Lüthy

1979). Es gibt wiederholt Berichte, daß durch das zur Gruppe der Saxitoxine gehörende Gift dieser Alge starke Lähmungserscheinungen beim Menschen sogar mit lethaler Folge (Atemlähmung) auftreten können. Mehrmals wurde in den achtziger Jahren vor dem Verzehr von spanischen Muschelkonserven auch in Deutschland gewarnt.

In den letzten Jahren hat sich *G. catenatum* vor allem im südlichen Bereich der atlantischen Küste der iberischen Halbinsel aber auch im Mittelmeer ausgebreitet und durch ihre toxischen Blüten massiv die Muschelfischerei geschädigt. Es gibt Hinweise, daß diese Alge sich auch Richtung Norden ausbreitet und 1983 die französische Kanalküste erreicht hat, wo sie als vegetative Zelle im Plankton nachgewiesen wurde.

Die Ergebnisse lassen vermuten, daß Zellen von *G. catenatum* (vegetativ oder als Cyste) von Südeuropa mit der Wasserströmung entlang der Atlantikküste durch den englischen Kanal in die Nordsee gelangt sind. Über das mögliche Vorkommen von Dinoflagellaten-Dauercysten in der Wassersäule selbst gibt es bisher nur wenige Angaben, aber erste Untersuchungen im Bereich der Deutschen Bucht zeigen, daß Dauercysten u.a. auch von *G. catenatum* vor allem im ständig durchmischten Pelagial des Wattenmeeres zu finden sind. - Durch die vorherrschenden Strömungen in der Deutschen Bucht sind Zellen bis zum Gebiet des Kattegats vorgedrungen, wo erstmalig 1987 durch dänische Kollegen auch lebende Cysten dieser Art entdeckt wurden (M. Ellegaard pers. Mitt.). Von dort sind vermehrt Zellen, vermutlich begünstigt durch den massiven Einbruch salzhaltigen Nordseewassers in die Ostsee im Januar 1993, dann bis in die Kieler Bucht gelangt.

Bislang ist *G. catenatum* in Nordeuropa noch nicht auffällig geworden, aber es wurde für die



Gewässer von Tasmanien gezeigt, daß eine Einschleppung von Cysten aus Japan mit Ballastwasser innerhalb weniger Jahre zu einer Etablierung dieser Art, zu einer Ausbreitung und zu einem wiederholten Auftreten von toxischen Blüten führte. Dies hatte wiederum PSP-Fälle beim Menschen und eine zeitweilige Sperrung von vielen Muschelkulturfeldern zur Folge.

In den letzten Jahren wurde *G. catenatum* auch aus vielen anderen Gebieten der Welt erstmalig gemeldet, oftmals verbunden mit PSP-Befunden (u.a. Mexiko, Philippinen, Uruguay, Venezuela). Obgleich nach Laboruntersuchungen optimale Wassertemperaturen für das Wachstum von *G. catenatum* im Bereich von 20-25°C liegen, bildet *G. catenatum* oftmals in der Natur auch unter suboptimalen Bedingungen (12-19°C) toxische Blüten aus, in einem Temperaturbereich, der während des Sommerhalbjahres auch in unseren Küstengewässern weitflächig vorherrscht. Vergleicht man die Fundorte von *G. catenatum* miteinander, so läßt sich feststellen, daß dieser Dinoflagellat wohl eine Vielzahl unterschiedlicher Ökosysteme besiedeln kann. Die zunehmenden Abundanzen und das regelmäßige Vorkommen von Cysten dieser Art in der Deutschen Bucht lassen vermuten, daß *G. catenatum* als vegetative Zelle auch hier leben und sich vermehren kann.

Keimungsexperimente in Nordsee-, Kattegat- und Ostseewasser und umfangreiche Laboruntersuchungen mit gekeimten vegetativen Zellen belegen, daß *G. catenatum* in unseren Breiten mit bis zu 0,4 Zellteilungen pro Tag innerhalb eines weiten Salzgehaltsgradienten (10-37 ‰) die Wassersäule erfolgreich besiedeln kann (Ellegaard et al. 1993, Nehring 1993b, in Vorber.). Hieraus folgt, daß eine Wiederbesiedlung von *G. catenatum* nach drei Jahrhunderten der Abstinenz in Nordeuropa wahrscheinlich ist und die Art im Bereich der deutschen Küsten trotz ihrer starken Salinitätsunterschiede lebensfähig ist.

Anhand der Cystenverteilung in der Deutschen Bucht läßt sich auch feststellen, daß *G. catenatum* wohl ihren Hauptlebensbereich nicht direkt an der Küste im Einflußbereich des Wattenmeeres besitzt, sondern mehr wie viele andere Dinoflagellaten-Arten die offene Deutsche Bucht besiedelt.

Bisher gibt es keine ausführlichen Untersuchungen zur Toxizität von gekeimten vegetativen Zellen der nordeuropäischen *G. catenatum*, aber Ellegaard et al. (1993) haben erste Hinweise auf das Vorhandensein von PSP-Toxinen in dänischen Exemplaren gefunden. Angaben über Zellkonzentrationen von *G. catenatum* im Seewasser, die zu PSP führen können sind selten, aber es scheinen schon 100 bis 1000 Zellen l⁻¹ auszureichen (u.a. Ikeda et al. 1989). Im Moment ist für den Bereich der deutschen Küstengewässer nicht abzuschätzen, ob diese Zellkonzentrationen auch hier erreicht werden und bei auflandigem Wind bis ins Wattenmeer zu den Muschelkulturfeldern gelangen können. Die vorgefundenen Cystenkonzentrationen reichen aber aus, daß bei spontaner Keimung die gesamte Wassersäule in weiten Bereichen der Deutschen Bucht mit je einer Zelle pro Liter beimpft werden könnte und damit ein genügend großes Startpotential für nachfolgende Blüten bereit steht.

Ein ganz besonderer Aspekt ist die mögliche Toxizität von *G. catenatum* Dauercysten, worüber bisher aber keine Erkenntnisse vorliegen. Es ist jedoch von anderen toxischen Dinoflagellaten bekannt, daß ihre jeweiligen Cysten wohl aufgrund des Zygotenstadiums höhere Toxinkonzentrationen besitzen als die vegetative Zelle. Durch Resuspension können dann Dauercysten unerwartet zu PSP Fällen auch außerhalb der Vegetationsperiode bzw. in "giftalgenfreien" Gebieten führen (u.a. Dale et al. 1978). Auch diese Möglichkeit der Intoxikation von Miesmuscheln ist durch die vorliegenden Ergebnisse von resuspendierten Cysten im Pelagial des Wattenmeeres nicht auszuschließen.

Bisher werden durch die Algenüberwachungssysteme Dauercysten überhaupt nicht erfaßt. Aufgrund der äußerst geringen Schwellkonzentration dieser problematischen Alge stellt sich zusätzlich die Frage, ob die derzeitigen Algenüberwachungssysteme die nötige Raum/Zeit-Auflösung besitzen (alle 14 Tage 10 Stationen im ostfriesischen Watt bzw. 15 Stationen im nordfriesischen Watt) sowie das nötige Probenvolumen (z.Z. 10 ml Seewasser) untersuchen, um rechtzeitig ein küstennahes Vorkommen von *G. catenatum* Zellen und Cysten zu erkennen und Muschelernten einstellen zu lassen. An der deutschen Nordseeküste gibt es z.Z. 57 Muschelkulturbezirke auf insgesamt 3026 Hektar, in der Ostsee gibt es dagegen nur einen 3 Hektar großen Bezirk. Die deutschen Muschelfischer ernteten 1991 und 1992 zwischen 30 und 50 x10³ Tonnen Muscheln im

Jahr, was einen Umsatz von 17 bis 21 Millionen DM entspricht.

G. catenatum stellt somit eine potentielle Bedrohung für die Muschelfischerei dar, und es kann also in nächster Zukunft ohne weiteres zu massiven Verlusten von Muschelernten kommen, da normalerweise erst abgeerntete Muscheln von den zuständigen Veterinärämtern auf das Vorhandensein von Algentoxinen überprüft werden.

Bislang sind vegetative Zellen in Nord- und Ostsee noch nicht nachgewiesen worden. Dieses kann u.a. daran liegen, daß die aus nordeuropäischen Cysten gekeimten vegetativen Zellen eine Besonderheit besitzen: obgleich sie aus vielen Meeresgebieten oft in Kettenform mit bis zu 32 teilweise sogar 64 aneinandergereihten Zellen beschrieben sind, konnten bisher im Laborexperiment nur Zellpaare gezüchtet werden, so daß eine Identifikation schwierig ist. Im Moment läßt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob sich hier hinter *G. catenatum* eine neue Ökotype oder eine nicht-kettenbildende Variante verbirgt.

Schlußfolgerung

Obleich Phytoplanktonbestände im deutschen Küstenbereich relativ gut dokumentiert sind, sind Kenntnisse des Lebenszyklus und der Besiedlungsstrategie von Phytoplanktern in diesem Gebiet unzureichend erforscht. Die grundlegenden Untersuchungen über das Vorkommen von Dauercysten zeigen die potentielle Bedeutung der Dauerstadienbildung als relevante Überlebens- und Besiedlungsstrategie und als mögliches Saatgut für Dinoflagellatenblüten auf. Cystenuntersuchungen sind ein aufschlußreicher benthischer Einblick in die Planktonökologie und dokumentieren u.a. das Vorkommen von "fremden" Arten in der Wassersäule. Zusätzlich können Cysten Wassermassen charakterisieren und als Indikatoren für Strömungssysteme dienen und auf diesem Wege fremde Meeresgebiete mit neuen Formen infizieren. Cystenuntersuchungen liefern eine integrative Information über die gesamte Wassersäule und bieten somit eine Möglichkeit, schon frühzeitig Veränderungen bei den Primärproduzenten und damit für das gesamte Ökosystem wahrzunehmen.

Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, daß sich der potentiell toxische Dinoflagellat *Gymnodinium catenatum* in Nordeuropa ausbreitet. Aufgrund der besonderen Rahmenbedingungen (niedrige Schwellkonzentration für PSP, Toxizität von Dauercysten) muß die Probennahmestrategie für Algenüber-

wachungssysteme überdacht werden. So sollten neben einem größeren Probenvolumen die Wasserproben zusätzlich auf das Vorhandensein von Dauercysten hin überprüft werden.

Stefan Nehring

(Es handelt sich bei diesem Artikel um einen Teil der Studie, die auf Vorschlag der Deutschen wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung mit dem Forschungspreis 1993 der "Aktion seeklar" Verein zum Schutz der Meere e.V. Hamburg ausgezeichnet wurde.)

Literatur

- Anderson, D.M., Jacobson, D.M., Bravo, I. & Wrenn, J.H. 1988. The unique microreticulate cyst of the naked dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. J. Phycol. 24: 255-262.
- Burkholder, J.M., Noga, E.J., Hobbs, C.H., Glasgow Jr, H.B. & Smith, S.A. 1992. New phantom dinoflagellate is the causative agent of major estuarine fish kills. Nature (Lond.) 358: 407-410.
- Dale, B. & Nordberg, K. 1993. Possible environmental factors regulating prehistoric and historic "blooms" of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in the Kattegat/Skagerrak region of Scandinavia. In, Smayda, T.J. & Shimizu, Y. (Hrsg.) Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, Developments in Marine Biology 3. Elsevier, Amsterdam: 53-57.
- Dale, B., Yentsch, C.M. & Hurst, J.W. 1978. Toxicity in resting cysts of the red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* from deeper water coastal sediments. Science 201: 1223-1225.
- Ellegaard, M., Christensen, N.F. & Moestrup, Ø. 1993. Temperature and salinity effects on growth of a non-chain-forming strain of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) established from a cyst from recent sediments in the sound (Øresund), Denmark. J. Phycol. 29: 418-426.
- Ikeda, T., Matsuno, S., Sato, S., Ogata, T., Kodama, M., Fukuyo, Y. & Takayama, H. 1989. First report on paralytic shellfish poisoning caused by *Gymnodinium catenatum* Graham (Dinophyceae) in Japan. In, Okaichi, T., Anderson, D.M. & Nemoto, T. (Hrsg.) Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology. Elsevier, New York: 411-414.
- Lüthy, J. 1979. Epidemic paralytic shellfish poisoning in Western Europe, 1976. In, Taylor, D.L. & Seliger, H.H. (Hrsg.) Toxic Dinoflagellate Blooms. Elsevier, Amsterdam: 15-22.
- Nehring, S. 1993 a. Mortality of dogs associated with a mass development of *Nodularia spumigena* (Cyanophyceae) in a brackish lake at the German North Sea coast. J. Plankton Res. 15: 867-872.
- Nehring, S. 1993 b. *Gymnodinium catenatum* in German coastal waters. Harmful Algae News, UNESCO IOC Newsletter 7: 1,4.
- Nehring, S., Hesse K.-J. & Tillmann, U. 1994. The German Wadden Sea: A problem area for nuisance blooms? In, Proc. 6th Int. Conf. Toxic Marine Phytoplankton, Nantes 1993, im Druck.

Shelf Edge Fisheries and Oceanography Studies (SEFOS)

Rekrutierung von Fischbeständen im Bereich des Shelf-Edge-Currents

Einführung

Entlang des europäischen Kontinentalschelfs verläuft eine kontinuierliche, polwärts gerichtete Strömung (Shelf Edge Current - SEC). Im Bereich des SEC, von der Südspitze Portugals nordwärts bis hinauf nach Norwegen, liegen die Laichgebiete bedeutender Bestände wirtschaftlich wichtiger Fischarten wie Blauer Wittling, Seehecht, Stöcker und Makrele sowie im Norden von Schottland dem Hering. Der Einfluß des SEC auf die Ei- und Larvendrift scheint einen bedeutenden Faktor in der

Rekrutierung der angesprochenen Bestände darzustellen.

Im Rahmen eines von der EG geförderten internationalen Projektes sind insgesamt 15 Institute aus 8 europäischen Ländern an der Erforschung der in Frage kommenden Rekrutierungsmechanismen beteiligt (s. Tabelle). Alle Arbeiten werden vom SOAFD (Scottish Office Agriculture and Fisheries Department) in Aberdeen koordiniert. Untersucht werden Verbreitung bzw. Wanderungen von Larven,