

Vorläufige Ergebnisse von Felduntersuchungen an einer Elektrode in der Ostsee

Lutz Debus⁽¹⁾, Helmut Winkler⁽¹⁾ & Michael L. Zettler⁽²⁾

- ⁽¹⁾ Universität Rostock, Fachbereich Biologie, Institut für Biodiversitätsforschung, Lehrstuhl für Allgemeine und Spezielle Zoologie, Universitätsplatz 5, D-18055 Rostock, Germany
ld@fibio.physik2.uni-rostock.de
- ⁽²⁾ Institut für Ostseeforschung an der Universität Rostock, Sektion Biologische Meereskunde, Seestraße 15, D-18119 Warnemünde, Germany
michael.zettler@io-warnemuende.de

Zusammenfassung

Im Oktober 1995 wurde direkt vor der Warnemünder Küste eine Seeelektrode verlegt und für die Hochspannungsgleichstromübertragung KONTEK von Skandinavien nach Deutschland in Betrieb genommen. Im Rahmen einer biologischen Begleituntersuchung dieses Umwelteingriffes wurde eine Langzeitstudie über den Einfluß des Kabelbetriebes, im speziellen des Kathodenbetriebes der Seeelektrode, auf aquatische Organismen initiiert. 1996/97 erfolgte eine Aufnahme der Bodentierfauna mittels Dredge (Epifauna) und Bodengreifer (Infauna) innerhalb und außerhalb der Ringelektrode vor Warnemünde. Deutlich erkennbar ist die große Variabilität der Individuendichten im Umfeld der Elektrode. Es lassen sich keine statistisch absicherbaren Tendenzen ablesen. In allen Untersuchungsjahren wiesen Mollusken über 80% Individuendominanz auf (*Mytilus*, *Hydrobia*). Dominierende Vertreter anderer Artengruppen waren Polychaeten und Oligochaeten. Die Besiedlung innerhalb und außerhalb des Ringes konnte 1997 nur an 2 Proben verglichen werden und muß daher als Momentaufnahme gewertet werden, die keine Tendenz belegen kann.

Einleitung

Seit den 50er Jahren wird in der Ostsee Gleichstrom mit Hilfe von ein- oder zweileitrigen Seekabeln unter dem Meeresspiegel von einer Küste zur anderen transportiert (Abb. 1). Bei

Einleitersystemen werden neben dem Seekabel zwei metallische See-Elektroden benötigt, um das Seewasser als Rückleiter benutzen zu können. Dabei entstehen zusätzlich zu den natürlichen geomagnetischen und geoelektrischen Feldern künstliche elektrische (um die See-Elektrode) und magnetische Felder (um das eigentliche Kabel). Seit Ende der 80er Jahre sind die Übertragungsleistungen auf etwa 400-600 MW (Dänemark-Norwegen, Schweden-Finnland, Deutschland-Dänemark, Deutschland-Norwegen) gestiegen.

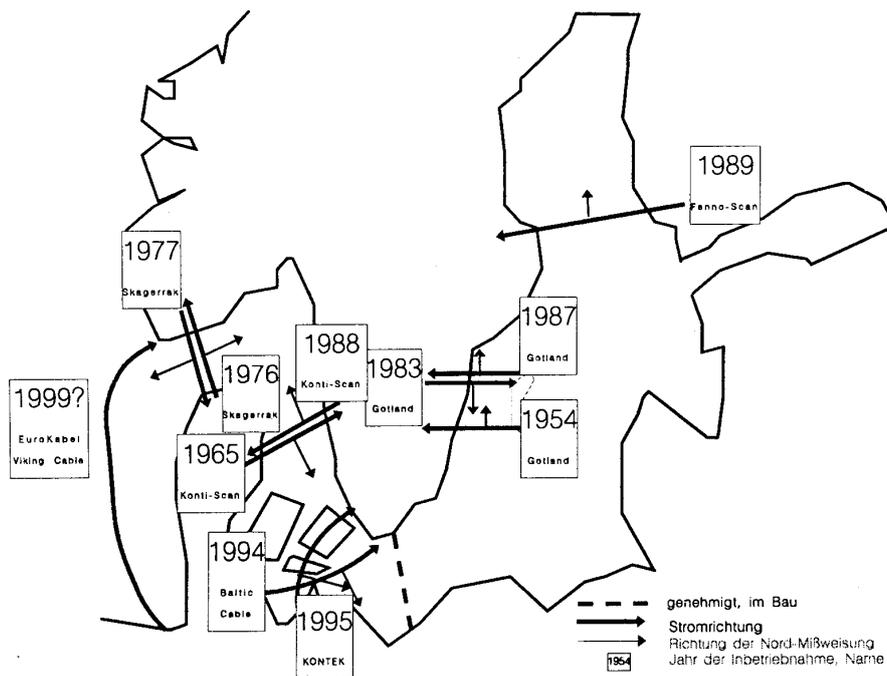


Abb. 1: In der Ostsee errichtete Hochspannungsgleichstromübertragungen. Stromrichtung: dicke Pfeile, Nordmißweisungen des künstlich erzeugten Kabelmagnetfeldes: dünne Pfeile senkrecht auf der Stromrichtung stehend, im Kasten: Jahr der Inbetriebnahme und Name des Kabels. Die technische Stromrichtung verläuft von + -> - (Uhlig & Schulz 1993), natürliche Stromrichtung: - -> +. Eine Mißweisung von geringem Umfang (Uhlig & Schulz 1993) ist auch dann gegeben, wenn der Strom durch zwei nahe beieinander liegende Kabel in jeweils verschiedene Richtungen fließt.

Seit 1925 (Schönfelder 1925) wird elektrischer Strom zum Fischfang genutzt. Um die typische galvanotaktische und narkotische Wirkung zu erzielen, müssen Feldstärken um 0,01V/cm eingesetzt werden. In Vorbereitung der ersten Seekabel-Verlegungen in der Ostsee, wurden schon 1949 die Effekte der Stromübertragung auf Fische untersucht. Ergebnis war eine Elektrodenkonfigurierung, die die anfänglich nachgewiesenen Beeinträchtigungen (es wurden Feldstärken über 0,01V/cm verwandt) der Fische vernachlässigbar machte. In den folgenden 40 Jahren erfolgten keine weiteren Untersuchungen an See-Elektroden. Auf-

grund von Feldstärkeberechnungen anhand bekannter Kabelparameter meinte man von einer biologischen Unbedenklichkeit ausgehen zu können. Es gab allerdings Beobachtungen an Flußquerungen mit Hochspannungsüberlandleitungen, daß aufsteigende Störe an diesen Stellen ihre flußmittig verlaufende Migration unterbrachen und nach einigem Suchen ihre Migration in Ufernähe, also in Gebieten geringerer elektrischer Feldstärke, fortsetzten (Poddubnyj *et al.* 1978).

Aber weder der Nachweis biologisch langfristiger Unbedenklichkeit der immer leistungsstärkeren Systeme wurde erbracht, noch ist man sich über die Wirkung der bei der Stromübertragung entstehenden schwachen elektrischen Felder im klaren und dies, obwohl bekannt ist, daß biologische Aktivität mit schwachen elektrischen Feldereignissen verbunden ist.

Gleichstromführende Einleiter sind von Magnetfeldern umgeben. Im Falle der Ausbringung eines Doppelkabels (Hin- und Rückleiter in geringem Abstand voneinander) ist das resultierende Magnetfeld deutlich schwächer: die Magnetfelder beider Einzelkabel sind entgegengesetzt gerichtet und heben sich dadurch teilweise auf. Die Stärke des resultierenden Magnetfeldes hängt wesentlich vom Abstand der beiden Einzelkabel zueinander ab.

Zur Wirkung magnetischer Felder auf Lebewesen liegen bisher wenige Untersuchungen vor. Erste wissenschaftliche Untersuchungen zum Verhalten von Karauschen im Magnetfeld gibt es seit 1958 (Cholodov 1958). Am Aal wurden Laborstudien (Tesch 1974a, Tesch *et al.* 1992) und Feldexperimente in der Ostsee zum magnetfeldorientierten Migrationsverhalten (Trybom & Schneider 1908, Määr 1947, Martinkowitz 1960, 1961, Karlsson 1984) durchgeführt. Bei Säugern vermutet man die Fähigkeit, das Erdmagnetfeld zur Migrationsorientierung nutzen zu können.

Im Oktober 1995 wurde direkt vor der Warnemünder Küste eine Seeelektrode verlegt und für die Hochspannungsgleichstromübertragung KONTEK von Skandinavien nach Deutschland in Betrieb genommen. Im Rahmen einer biologischen Begleituntersuchung dieses Umwelteingriffes wurde eine Langzeitstudie über den Einfluß des Kabelbetriebes, im speziellen des Kathodenbetriebes der Seeelektrode, auf aquatische Organismen initiiert. Im Auftrage der VEAG Berlin sollten von uns mögliche Einflüsse auf Fische, Benthos und Zooplankton sowie die Wasserchemie untersucht werden. Im folgenden sollen nur die Untersuchungsergebnisse zur Beeinflussung der Benthosgemeinschaft vorgestellt werden.

Material und Methoden

Die Probennahme erfolgte innerhalb und außerhalb des Elektrodenringes (Abb. 2). Die Infauna wurde mit Bodengreifern (van Veen 250 cm² und 0,1 m², Ekman-Birge ca. 250 cm²)

beprobt. Mittels Dredge (40 cm Öffnungsbreite) erfolgte die Aufnahme von Epibenthos, d.h. von Organismen, die an der Oberfläche des Gewässergrundes siedeln.

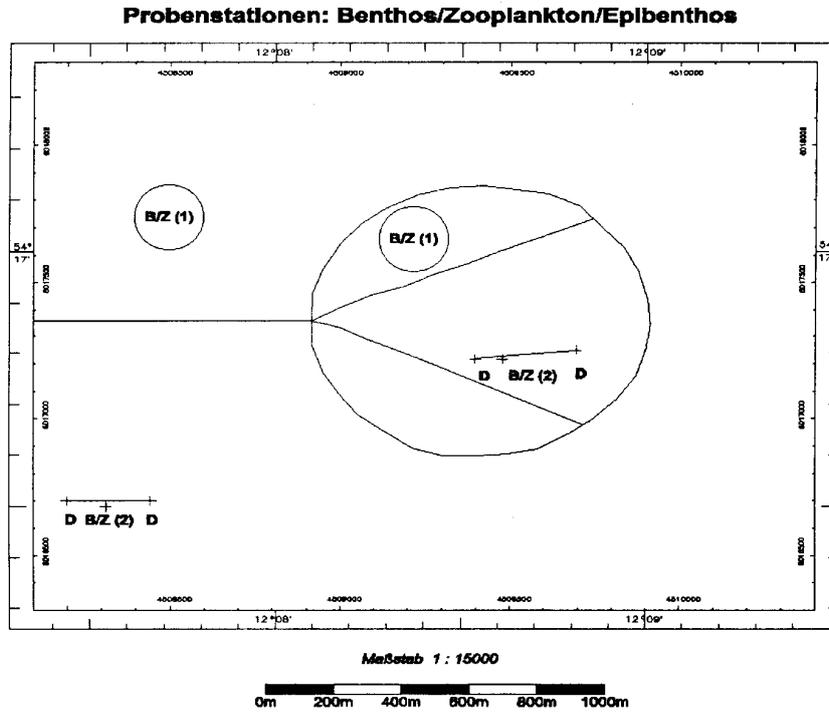


Abb. 2: Lage der Probenstationen

Abb. 2: Lage der Probenstationen in und am See-Elektrodenring im Jahre 1996. B: Bodengreifer, Z: Zooplanktenschöpfereinsatz, D: Dredghole

Die Tabellen 1 und 2 enthalten die Koordinaten unserer Probennahmen 1996 und 1997.

Tab. 1: Koordinaten unserer Probennahmen 1996.

Datum	Station	Position N	Position E	Gerät	Proben
29.04.96	im Ring			0,1m ² Greifer	n=2 Benthos
29.04.96	500m W Ring			0,1 m ² Greifer	n=3 Benthos
13.06.96	im Ring	54°16'804"N	12°08'988"E	250cm ² Greifer	n=1 Benthos
		54°16'787"N	12°08'538"E	Dredge ein	
				300x0,5 m ² Schlepp	n=1 Epibenthos
		54°16'804"N	12°08'810"E	Dredge aus	
13.06.96	außerhalb Ring	54°16'498"N	12°07'540"E	250cm ² Greifer	n=4 Benthos

Tab 2: Koordinaten unserer Probennahmen 1997.

Probe	Koordinaten		Dauer	Datum	Tiefe	Salinität	Methode	Sieb	leg.
	Anfang	Ende							
Dredge 1	54° 15' 848"	54° 15' 835"	14'	01.07.97	9 m	8,8‰	Dredge	1 mm	Dr. Winkler
	12° 08' 180"	12° 08' 423"	286 m						
Dredge 2	54° 16' 980"	54° 16' 913"	16,5'	01.07.97	11 m	8,8‰	Dredge	1 mm	Dr. Winkler
	12° 08' 135"	12° 08' 362"	266 m						
Dredge 3	54° 16' 965"	54° 16' 879"	16'	01.07.97	k.A.	8,8‰	Dredge	1 mm	Dr. Winkler
	12° 08' 720"	12° 08' 665"	136 m						
Hol 1	54° 15' 957"			26.06.97	8 m	k.A.	van Veen	1 mm	Dr. Debus
	12° 07' 458"						250 cm ²		
Hol 2	54° 15' 957"			26.06.97	8 m	k.A.	van Veen	1 mm	Dr. Debus
	12° 07' 458"						250 cm ²		
Hol 3	54° 15' 957"			26.06.97	8 m	k.A.	van Veen	1 mm	Dr. Debus
	12° 07' 458"						250 cm ²		
Hol 4	54° 15' 957"			26.06.97	8 m	k.A.	van Veen	1 mm	Dr. Debus
	12° 07' 458"						250 cm ²		
Hol 6	54° 15' 957"			26.06.97	8 m	k.A.	van Veen	1 mm	Dr. Debus
	12° 07' 458"						250 cm ²		
Hol 7	54° 16' 736"			26.06.97	k.A.	k.A.	van Veen	1 mm	Dr. Debus
	12° 09' 028"						250 cm ²		
Hol 8	54° 16' 736"			26.06.97	k.A.	k.A.	Ekman-Birge	1 mm	Dr. Debus
	12° 09' 028"						ca. 250 cm ²		

Die Siebung der Benthosproben erfolgte über ein 1 mm Sieb. Aufgrund der Menge des Materials wurde vom Dredgeninhalt nur eine repräsentative Teilprobe für die Feinanalyse entnommen. Die Fixierung aller biologischer Proben erfolgte an Bord in 4% Formaldehydlösung.

Ergebnisse

Die Abbildungen 3 und 4 präsentieren Untersuchungsergebnisse zum Zeitpunkt vor Installation und Inbetriebnahme (1993 nahe der zukünftigen Ringposition, 1996 auf zukünftigem Elektrodenstandort) und nach Inbetriebnahme der Elektrode (1997).

1996: Epifauna (Dredgebeprobung)

Die Beschleppung im Ring ergab eine erhebliche Dominanz von Miesmuscheln verschiedener Größenklassen. Daneben wurden einzelne Schnecken, Kleinkrebse und Schnurwürmer (*Hydrobia*, *Littorina*, *Jaera*, *Nemertini*) gefunden.

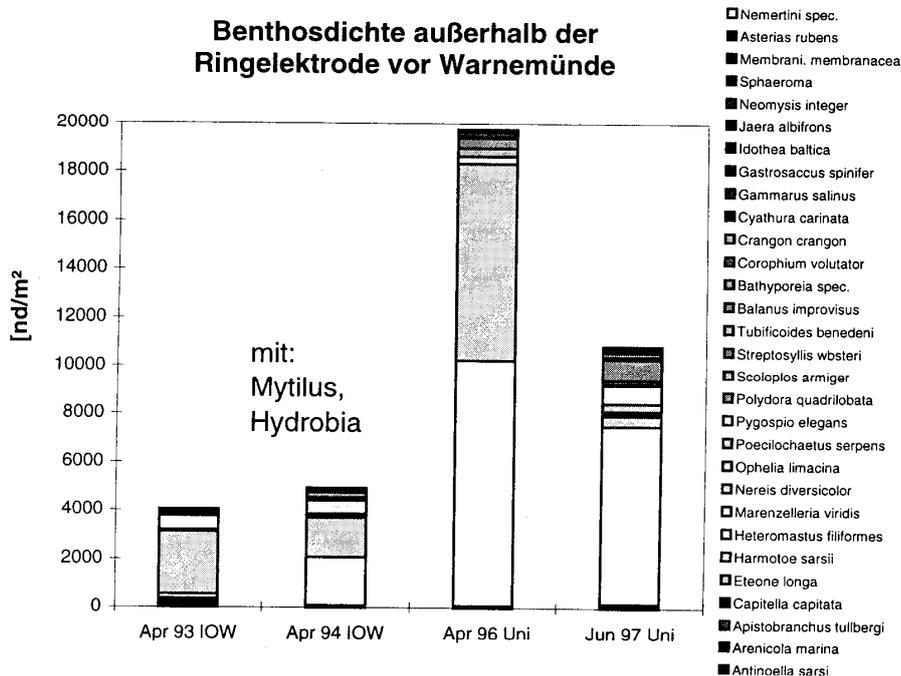


Abb. 3: Langzeitbenthosuntersuchungen außerhalb der Ringelektrode vor Warnemünde inclusive *Mytilus* und *Hydrobia*. *Mytilus*: großer heller Balken, *Hydrobia*: großer dunkler Balken, IOW: Gutachten des Instituts für Ostseeforschung 1994 (IOW 1994), Uni: Universität Rostock (eigene Daten).

Obwohl bei unserer Probennahme im Gegensatz zu den Angaben des IOW (1994) kein Schwefelwasserstoffgeruch festgestellt wurde, der auf anoxische Verhältnisse schließen lassen würde, deutet die Zusammensetzung der Benthosorganismen auch auf schlickreiche und sulfidische Sedimente hin. Der Vielborster *Scoloplos armiger* ist ein typischer Bewohner schlickiger und sandiger Sedimente mit H₂S-Beimengungen. Der Wenigborster *Tubificoides benedeni* ist durch seine Symbiose mit Bakterien befähigt, sulfidische Bereiche zu besiedeln.

Die eigentlich Hartsubstrat bevorzugenden Miesmuscheln, bildeten auf den Sandgründen Konglomerate und waren daher auf allen Stationen mit hohem Anteil vertreten. Dies hatte eine charakteristische Begleitfauna zur Folge: große Mengen von Wattschnecken (*Hydrobia ulvae*), Vielborstern (*Scoloplos armiger* und *Pygospio elegans*) sowie Kleinkrebsen (*Gammarus*).

Die Sandklaffmuschel (*Mya arenaria*), ein gewöhnlicher Bewohner sandiger Sedimente wurde nur einmal in den Greiferproben gefunden. Die Ursache hierfür lag in der zu geringen Eindringtiefe des Bodengreifers. Die Sandklaffmuschel bildet in tieferen Sedimentschichten große Konzentrationen.

Die Artenzahlen lagen im Mittel unter denen, die bei der Beprobung einer küstennäheren Station festgestellt wurden (IOW 1994).

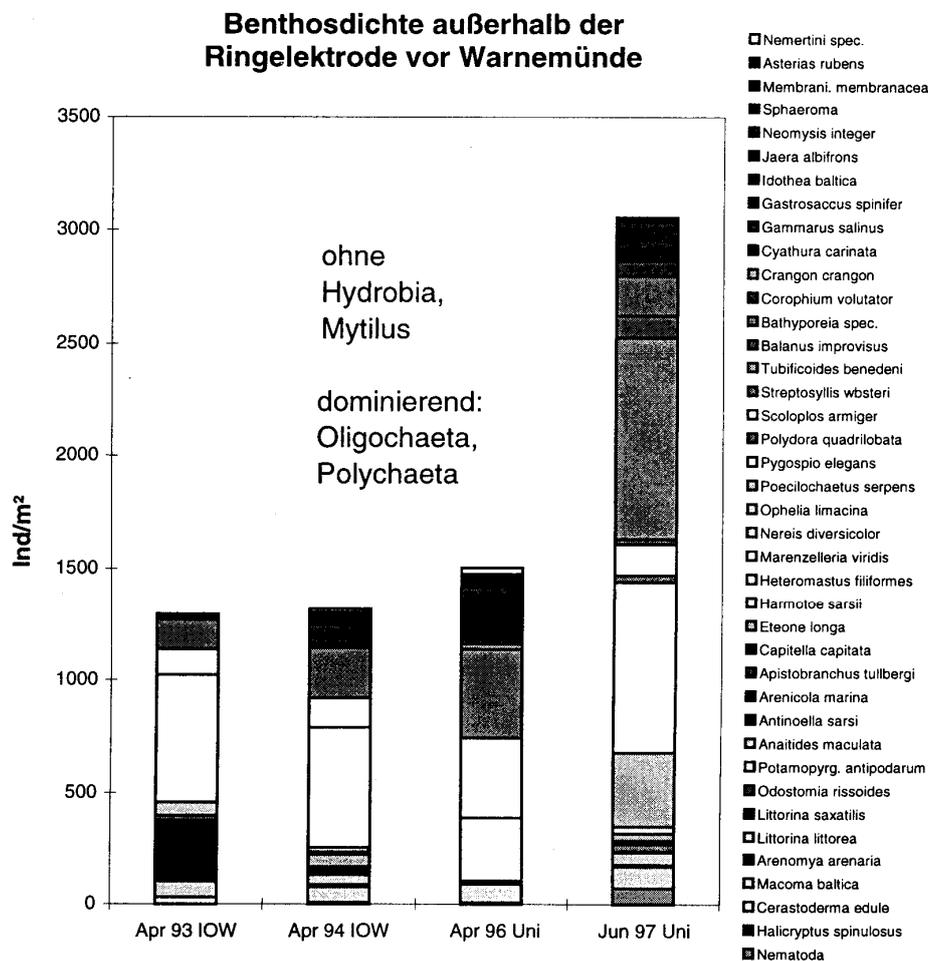


Abb. 4: Langzeitbenthosuntersuchungen außerhalb der Ringelektrode vor Warnemünde ohne *Mytilus* und *Hydrobia* mit Oligochaeten und Polychaeten. Oligochaeten: große dunkle Balken, Polychaeten: große helle Balken, IOW: Gutachten des Instituts für Ostseeforschung 1994 (IOW 1994), Uni: Universität Rostock (eigene Daten).

Hingegen stellten wir bei der Aufnahme 1996 höhere Individuenabundanz fest. Ein direkter Vergleich der Probenahmen 1994 und 1996 ist allerdings nicht angeraten, da eine Verschiebung der ursprünglichen Ringposition vorgenommen wurde. Die 1994er Daten (IOW 1994) wurden auf einer 3 Seemeilen südwestlich gelegenen Position gegenüber der 1996er Proben genommen (Tab 2). Daher sind die demonstrierten Unterschiede eher auf die Heterogenität des Untersuchungsgebietes und auf natürliche annuelle Fluktuationen der Benthosorganismen zurückzuführen.

Beim Vergleich der im und außerhalb vom Ring gewonnenen Proben fällt an beiden Probeterminen eine höhere Individuenabundanz der Muscheln und Schnecken außerhalb des Ringes auf. Dieser Trend läßt sich aber statistisch nicht absichern. Ein Unterschied in der Individuenzusammensetzung zwischen den beiden Probeterminen und an den beiden Untersuchungsstationen ist somit nicht zuverlässig erkennbar.

Die Verringerung der Biomasse der Benthosorganismen im Zeitraum von April bis Juni bei gleichzeitiger Erhöhung der Individuendichte läßt sich leicht durch das Reproduktionsgeschehen erklären. Das verstärkte Auftreten neuer Jungtiere wird auch durch die Längenverteilung bestätigt.

1997: Makrozoobenthos außerhalb der Ringelektrode

Außerhalb der Ringelektrode konnten mit Bodengreifer und Dredge 31 Taxa nachgewiesen werden. Am häufigsten trat dabei die Miesmuschel *Mytilus edulis* auf. Diese Muschel bildet Konglomerate, indem sie sich gegeneinander anheften. Auf diese Art und Weise werden auf Sandböden ganze „Miesmuschelteppiche“ gebildet, die wiederum das Habitat vieler anderer Organismen darstellen. Entgegen der verarmten Sandbodenfauna nutzen viele Organismen die Besiedlungs- und Versteckmöglichkeiten der *Mytilus*-Bänke. Deshalb fällt sofort der sprunghafte Anstieg der Arten- und Individuenzahl auf, wenn man die *Mytilus*-Hole mit „Sandboden-Holen“ vergleicht. Typische Arten sind sessile Taxa, wie *Balanus improvisus* und Bryozoa, die die Muschelschalen als Substrat nutzen. Hinzu kommen Arten, wie z.B. die Schnecke *Odostomia rissoides*, die an *Mytilus edulis* parasitiert (Rote Liste Ostsee; potentiell gefährdet) oder die Schnecken *Hydrobia ulvae*, zwei *Littorina*-Arten und die Krebse *Jaera albifrons* sowie *Idotea balthica*, die in den Zwischenräumen der *Mytilus*-Klumpen ideale Versteck- und Lebensmöglichkeiten haben.

Auf reinen Sandböden werden nur recht wenige Arten angetroffen, die aber auf Grund ihrer meist hohen Sauerstoffbedürftigkeit und die Bindung an temporäre (durch Strömung umgewälzte) Sedimente relativ selten sind und zu den bedrohten Arten im Ostseeraum zählen. Diese Lebensgemeinschaften („Sandböden“) sind durch die voranschreitende Eutrophierung und damit einhergehende Verschlickung gefährdet. Als typische Sandbodenbewohner wären die Muscheln *Arenomya arenaria* und *Macoma balthica*, die Polychaeten *Pygospio elegans* und *Ophelia limacina* und die Krebse *Bathyporeia pilosa* und *Crangon crangon* zu nennen. Als besonders anspruchsvoll kann der Polychaet *Streptosyllis websteri* hervorgehoben werden, der in der Roten Liste Ostsee als potentiell gefährdet eingestuft wurde. Das gleiche trifft für die sauerstoffbedürftige *Bathyporeia pilosa* zu.

Abb. 3 macht die prozentuale Verteilung (Dominanzen) der makrozoobenthischen Vertreter deutlich. Dominant waren Mollusken, mit über 80% an *Mytilus edulis* und *Hydrobia ulvae*. Die Anneliden traten subdominant auf. Die Anneliden rekrutierten sich hauptsächlich

aus Oligochaeten und den Polychaeten *Pygospio elegans* und *Ophelia limacina*. Die Arthropoden waren u.a. durch die Taxa *Balanus improvisus* (6%) und *Gammarus spec.* (*G. salinus* und *G. oceanicus*) vertreten. Durch die Probennahme mit dem Bodengreifer konnte u.a. die endopsammale Fauna erfaßt werden.

Populationsaufbau von Mytilus edulis innerhalb der Ringelektrode

Die aus dem Dredge-Hol 3 anteilmäßig (n = 390, Mischprobe) längenvermessenen Individuen von *Mytilus edulis* hatten Größen zwischen 0,08 mm und 39 mm. Mit einem Überhang an juvenilen Tieren (>40% < 10mm) zeigte die Population innerhalb der Ringelektrode eine gesunde Altersstruktur. Auch ausreichend ältere (größere) Individuen konnten beobachtet werden, so daß kein zwischenzeitlicher rapider Bestandseinbruch stattgefunden haben kann.

Schlußfolgerungen

Insgesamt wurden vor Aufnahme des Dauerbetriebes 1996 18 Taxa und 1997 39 Taxa nachgewiesen. Somit war 1997 eine deutlich größere Organismenvielfalt zu verzeichnen. Da dies aber auch auf den Einsatz einer größeren Zahl ausgewerteter Dredgeproben zurückgeführt werden kann, ist diese Tendenz bislang nicht statistisch absicherbar.

Die schwache Tendenz einer größeren Organismenvielfalt im Jahre 1997 an außerhalb des Ringes (32 Taxa) im Vergleich zu innerhalb des Ringes (31 Taxa) gelegenen Stationen ist auf Grund der geringen Probenzahl nicht statistisch absicherbar. Die Bestätigung dieses Vergleiches muß zukünftigen Untersuchungen mit größeren Probendichten vorbehalten bleiben.

Literatur

- Cholodov, J.A. (1958): Ob obrazovanie uslovných reflektsov na magnitnoe pole u ryb. Tr. sovesc. po fiziologii ryb. M. izd-vo AN SSSR (in Russisch).
Institut für Ostseeforschung (1994): Gutachten über ökologische Auswirkungen einer Seelektrode im Seegebiet vor Warnemünde, unveröffentlicht.
Karlsson L. (1984): Migration of European silver eels, *Anguilla anguilla*. Acta Universitatis Upsalensis (Diss.) 745 Repro-C. HSC 1984.

- Määr, A. (1947): Über die Aalwanderung im Baltischen Meer und auf Grund der Wanderaalmarkierungsversuche im Finnischen in Livischen Meerbusen in den Jahren 1937-1939. Medd. Statens Unders. Försökanstalt. Sötvattenfisk, Drottningholm 27: 1-56.
- Martinkowitz, H. (1960): Erste Ergebnisse von Blankaalmarkierungen an der ostrügenschene Küste im Herbst 1959. Fischereiforschung 3: 9-13.
- Martinkowitz, H. (1961): Ergebnisse von Blankaalmarkierungen an der ostrügenschene Küste und Möglichkeiten ihrer Nutzung für die Fangsteigerung durch neuartige Reusenkonstruktionen. Z. Fisch. 10: 653-663.
- Pavlov, D.S. (1989): Structures assisting the migration of non-salmonid fish: USSR. FAO Fisheries Technical Paper 308.
- Poddubnyj, A.G. *et al.* (1978): Peculiarities of the passage of spawners through typical river sites, dam tailwaters and reservoirs. In: biologiceskie osnovy primenenija rybozashchitnych i rybopropusknych sooruzhenij. Moscow: 209-217 (in Russisch).
- Schönfelder, A. (1925): Fischfang mit Elektrizität. Der Sportangler 1: 236-237.
- Tesch, F.-W. (1974): Speed and direction of silver and yellow eels, *Anguilla anguilla*, released and tracked in the open North Sea. Berichte Deutsche Wissenschaftliche Kommission Meeresforschung 23: 181-197.
- Tesch, F.-W., Wendt, T. & L. Karlsson (1992): Influence of geomagnetism on the activity and orientation of the eel, *Anguilla anguilla* (L.), as evident from laboratory experiments. Ecology of Freshwater fish 1: 52-60.
- Trybom, F. & G. Schneider (1908): Die Markierungsversuche mit Aalen und die Wanderung gekennzeichnete Aale in der Ostsee. Rapp. P.-v. Réunion. Cons perm. int. Explor. Mer. 174: 134-143.
- Westin, L. (1990): Orientation mechanisms in migrating European silver eel (*Anguilla anguilla*): temperature and olfaction. Mar. Biol. 106: 175-179.