

### 3.4 Einfluss von Fischerei und Klima auf die Bestände des antarktischen Krill

VOLKER SIEGEL

**Effects of fishery and climate on the stocks of Antarctic krill:** *The Antarctic krill, Euphausia superba, is the key species of the Antarctic food web. Since 1973 krill are commercially exploited. Following scientific biomass surveys, a catch limit has been set at 5.614 million tonnes for the Atlantic sector of the Southern Ocean and approx. at 3 million tonnes for the entire Indian sector. Although the current catch level of around 150,000 tonnes is not thought to cause negative effects on the overall krill stock, the Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR) decided an interim precautionary measure that the krill catches in the Atlantic shall not exceed an operational catch limit (»trigger level«) of 620,000 tonnes. The strong overlap in the distribution of fisheries and krill predator colonies requires different management regulations and a procedure to apportion the overall catch limit to small-scale management units (SSMU). The feedback management should also consider climate effects on krill stocks, since successful reproduction and recruitment was found to be dependent on the extent of winter sea-ice cover. Long-term data analysis has shown a substantial decline in krill biomass since the early 1980's. The recorded temperature increase in the Antarctic Peninsula region will result in a further decline of the winter sea ice and, hence, negatively affect the size of the krill stocks and dependent predator populations.*

Der Krill *Euphausia superba* (Abb. 3.4-1) ist endemisch für die Antarktis. Die Art lebt zirkumpolar, zeigt im Verbreitungsbild jedoch eine deutliche Asymmetrie. Während im Südatlantik die nördliche Verbreitungsgrenze der Art bis zur Polarfront bei ca. 50 °S reicht, ist die Ausdehnung des Vorkommens im Indischen und Pazifischen Ozean auf die Gebiete in Kontinentnähe beschränkt und erreicht selten die geographische Breite von 60 °S. Aus den Daten mehrerer regionaler Bestandsaufnahmen geht hervor, dass auch die Biomasse des Krill um den Kontinent nicht gleichmäßig verteilt ist. Untersuchungen an einem umfassenden internationalen und zirkumpolaren Datensatz deuten darauf hin, dass sich 58–71% der Krillbiomasse im Südwest-Atlantik konzentrieren, womit über die Hälfte des Krill-Gesamtbestandes der Antarktis in nur 25% des Habitats vorkommen. In diesem Gebiet wurden auch die höchsten Larvenkonzentrationen vorgefunden. Besonders die Scotia-See und das Gebiet westlich der Antarktischen Halbinsel sind als herausragende Laichgebiete bekannt.

Der antarktische Krill tritt während der Sommersaison in Schwärmen auf. Meist bilden viele Schwärme regional größere Aggregationen, die so genannten »patches«. Diese Form des Zusammenlebens hat sowohl eine Schutzfunktion gegenüber Räubern als auch den Vorteil, dass die Nahrungssuche und Fortpflanzung erleichtert wird. Die Schwarmbildung hat aber auch den Nachteil, dass große Räuber wie Bartenwale – wenn sie denn erst einmal einen Schwarm gefunden haben – diesen innerhalb relativ kurzer Zeit auslöschen können. Den Effekt der Schwarmbildung nutzt auch der Mensch mit seinen effizienten Fischereimethoden. Um dem Druck der Räuber zumindest zeitweise auszuweichen, unternimmt der Krill sowohl tägliche als auch saisonale Vertikalwanderungen, wobei die Tiere sich während des Tages in tieferen Wasserschichten aufhalten und nachts zum Filtrieren des Phytoplanktons in Oberflächennähe kommen. Im Sommer sind die Krillkonzentrationen meist im Bereich 0–100 m Tiefe zu finden. Im Winter lösen sich die Schwärme in der eisbedeckten Zone weitgehend auf und der Krill wird vom Filtrierer



Abb 3.4-1: Der Antarktische Krill *Euphausia superba*.

im freien Wasser zu einem Weidegänger an der Unterseite des Meereises, wo er die Eisalgen abweidet. In der Zone des offenen Wassers scheinen die Krillaggregationen im Winter in tiefere Wasserschichten 200–350 m Tiefe abzuwandern (SIEGEL 2005).

Anfangs wurde versucht, die Krillmenge mit Hilfe indirekter Methoden zu bestimmen. Es wurden einerseits Wegfraßraten von Bartenwalen, Robben und Seevögeln herangezogen, andererseits Umrechnungsfaktoren aus den Primärproduktions- oder Zooplanktonhäufigkeitsdaten abgeleitet (EVERSON 1977). Neuere Abschätzungen stützen sich auf Netzfänge von standardisierten Surveys oder berechnen die Biomasse an Hand hydroakustischer Daten, die mit Mehrfrequenz-Echoloten gesammelt wurden. Eine Gesamtaufnahme des zirkumpolaren Krillbestandes gibt es nicht, doch lassen sich aus regionalen Zeitserien aus dem Gebiet der Antarktischen Halbinsel und Südgeorgiens sowie aus dem südlichen Indischen Ozean Rückschlüsse und Hochrechnungen auf größere Teile des Verbreitungsgebietes durchführen.

### Krillverbreitung, Biomasse und Fluktuationen

Die erste große »Volkszählung« des Krill fand im Südsommer 1981 im Rahmen des internationalen BIOMASS-Programms (»*Biological Investigations Of Antarctic Marine Systems and Stocks*«) statt. Der FIBEX-Survey (*First International BIOMASS Experiment*) deckte den südwestlichen Teil des atlantischen Sektors des Südpolarmeeres ab. Dieser internationale Aufwand gipfelte in einem Messwert: In dem knapp 400.000 km<sup>2</sup> großen Gebiet wurde eine mittlere Krilldichte von 77,6 g/m<sup>2</sup> bestimmt, was hochgerechnet einer Gesamt-Krillbiomasse von knapp 31 Mio. t entspricht.

Es dauerte fast 20 Jahre, bis diese Biomasseabschätzung einer erneuten Überprüfung unterzogen werden konnte. Hintergrund waren die Ergebnisse mesoskaliger Surveys im Bereich von Elephant Island (Antarktische Halbinsel), die jährlich mit einem Standardstationsnetz, -geräten und -methoden seit Ende der 1970er Jahre durchgeführt worden waren. Die regionalen Ergebnisse der vergangenen 20 Jahre hatten den Hinweis erbracht, dass die Krillbiomasse starken Fluktuationen von Jahr zu Jahr unterworfen ist (Abb. 3.4-2). Die Ergebnisse wurden anfangs jedoch unterschiedlich interpretiert. So wurden Hypothesen entwickelt, die von einer hoher Variabilität (SIEGEL et al 1998) über einen negativen Trend der Bestandsbiomasse (LOEB et al 1997, ATKINSON et al 2004) bis hin zu einem achtjährigen Zyklus in der Bestandsdynamik (HEWITT et al 2003) reichten. Ähnlich hohe Schwankungen zwischen den Jahren konnte auch für andere Gebiete, wie z.B. Südgeorgien, nachgewiesen werden, wobei die Richtung der Bestandsentwicklung, Abnahme – Zunahme, ohne zeitliche Verzögerung identisch war mit dem Verlauf bei Elephant Island, was auf einen ozeanweiten Zusammenhang im Krillbestand hinwies.

Nachdem die ursprüngliche Ansicht über die Stabilität der Krillbestände revidiert werden musste, wurde es notwendig, neben den mesoskaligen Surveys auch die möglichst großräumige Aufnahme der Krillbestände zu aktualisieren. Unter der Ägide der Kommission zum Schutze Antarktischer lebender Meeresressourcen (CCAMLR) wurde eine synoptische Bestandsaufnahme durchgeführt (»CCAMLR Survey 2000«), die zum Ziel hatte, mit standardisierten Methoden und weiterentwickelter Technologie (Mehrfrequenz-Echolote) eine verbesserte Abschätzung der Krillbestände im Südwest-Atlantik vorzunehmen. Diese zweite »Volks-

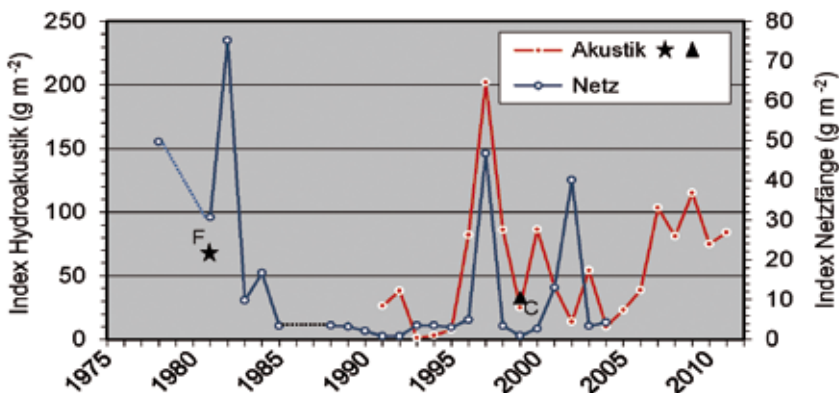


Abb. 3.4-2: Ergebnisse der Krill-Bestandsdichte-Abschätzung im Gebiet der Antarktischen Halbinsel mit Hilfe von hydroakustischen Methoden und anhand von Netzfängen; F und C stehen für die Werte, die während des FIBEX (1981) beziehungsweise CCAMLR Surveys (2000) ermittelt wurden.

zählung« ergab eine Krillbiomasse von 60 Mio. t im Untersuchungsgebiet (HEWITT et al 2004 und Revision durch SC-CAMLR 2010). Verglichen mit dem Ergebnis von 31 Mio. t aus dem FIBEX-Survey von 1981 täuscht dieser Wert jedoch, denn das Untersuchungsgebiet im Sommer 2000 war mit knapp 2,1 Mio. km<sup>2</sup> etwa fünfmal so groß wie das FIBEX Untersuchungsgebiet im Sommer 1981. Die mittlere Krilldichte lag 2000 bei 28,7 g/m<sup>2</sup> und war damit weit niedriger als 1981. ATKINSON et al (2009) haben anhand eines umfangreichen Datensatzes von Netzfängen eine mittlere langjährige Gesamtbio­masse des Krill von 379 Mio. t errechnet. Im Gegensatz dazu ergab die Hochrechnung aus dem CCAMLR 2000 Survey für 2000 nur eine hochgerechnete Gesamtbio­masse von 133 Mio. t für den zirkumantarktischen Bestand, was auf ein unterdurchschnittliches Jahr 2000 hindeutet (siehe auch *Abb. 3.4-2*) und/oder als eine Bestätigung des langfristigen abnehmenden Trends der Krillbiomasse interpretiert werden kann.

### **Fischerei: Entwicklung, Verbreitung, Maßnahmen**

Als sich ab 1973 in der Antarktis eine Krillfischerei mit jährlich stark steigenden Fangmengen etablierte, wuchs die Sorge um eine unkontrollierte Entwicklung der kommerziellen Nutzung dieses Schlüsselorganismus im marinen antarktischen Ökosystem. Die Schätzungen der potenziellen Gesamt-Krillbiomasse reichten in einer Studie der *Food and Agriculture Organisation* FAO (EVERSON 1977) von 500 bis 1.000 Mio. t. Darauf aufbauend wurde vermutet, dass eine jährliche Fangmenge von 150 Mio. t möglich sei. Teilweise war die Annahme darauf begründet, dass die großen Bartenwale als Krillkonsumenten in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark reduziert worden waren und es so zu einem Überschuss an Krill (»surplus«) gekommen sei. Es zeigte sich jedoch, dass im Gegensatz zur hohen Biomasse die Produktivität des Krill mit einem Produktion/Biomasse Index von  $P/B = 1.0$  recht gering war (SIEGEL 2000). Außerdem wurde der Nachweis erbracht, dass die »surplus«-Theorie, die auf der Annahme beruhte, dass die Krillbiomasse durch den Nahrungsbedarf der Prädatoren gesteuert wird (top-down control), nicht haltbar ist, sondern dass die Krill-Rekrutierung und Prädatoren-Häufigkeit entkoppelt sind (MURPHY 1995).

Bis 1980 waren die Krillfänge auf einen ersten Höchststand von nahezu 500.000 t geklettert (*Abb. 3.4-3a*). Diese Entwicklung bewirkte zwei Maßnahmen, zum einen die Schaffung des internationalen BIOMASS-Programms mit dem Ziel, u.a. die Krillbiomasse verlässlich abzuschätzen, und zum anderen die Ratifizierung einer Konvention zum Schutz der le-

benden Meeres-Ressourcen der Antarktis (CCAMLR). Dieses internationale Vertragswerk ist nicht nur eine reine Fischereikonvention, sondern hat auch den Schutz der Ressourcen und der von ihnen abhängigen Arten in seiner Satzung verankert.

Nach der anfänglich schnellen Entwicklung der Krillfischerei kam es ab 1982 zu einem kurzfristigen Rückgang im Fischereiaufwand, der seinerzeit mit Verarbeitungs- und Vermarktungsproblemen in der damaligen UdSSR begründet wurde. Nachdem das Problem der hohen Fluoridkonzentrationen im Krillfleisch technologisch gelöst worden war, stiegen ab 1985 die Gesamtfänge wieder auf über 400.000 t jährlich an. Waren in der Anfangsphase ein Großteil der Fänge im Indischen Ozean getätigt worden, so kam die Fischerei seit 1985 dort fast zum Erliegen. Zu dieser Zeit machte der Krillfang etwa 13% der Welterträge an Krebstieren aus. Eine neue Entwicklung trat nach dem Zusammenbruch der früheren UdSSR ein. Seit 1993 fielen die Fangzahlen auf etwa 100.000 t im Jahr und hatten sich bis 2007 etwa auf diesem Niveau eingependelt. Seit 2008 sind die Fangmengen wieder auf regelmäßig über 150.000 t angestiegen. Hauptfangnation ist seither Norwegen, gefolgt von Korea und in zunehmendem Maße von China, wohingegen der Anteil Japans – eine historisch dominierende Krillfischereination – kontinuierlich abnimmt (*Abb. 3.4-3b*). Auch bezüglich der Fangmethoden setzten sich neue Entwicklungen zur Effizienzsteigerung durch. Kamen vor 2004 vorwiegend konventionelle Schleppnetze in der Krillfischerei zum Einsatz, so erfolgt seitdem zunehmend der Einsatz von bis zu zwei Netzen gleichzeitig. Hierbei werden meist Pumpensysteme eingesetzt, die den Fang während des Schleppens aus dem Netzsteert pumpen und somit eine kontinuierliche Fischerei über mehrere Tage ohne Unterbrechung des Fangvorgangs ermöglichen.

Lag in der Anfangsphase der Krillfischerei das Hauptinteresse noch auf Produkten, die für den menschlichen Konsum geeignet waren (gekochter und geschälter Krill, Krill in Dosen, Proteinderivate), so hat sich mit den Jahren der Schwerpunkt verlagert. Die Produktpalette bestand zwischenzeitlich überwiegend aus folgenden Anteilen: 43% gehen als Futtermittel in die Aquakultur und den Aquarienhandel, 45% als Köder für die Sportfischerei und 12% wurden für den menschlichen Konsum produziert (NICOL et al. 2011). Zurzeit gehen etwa 90% des Fanges in die Krillmehlproduktion, wovon ein Drittel für Produkte des menschlichen Konsums genutzt werden. Die restlichen 10% werden zur Herstellung von Proteinpasten und hochwertigem Krillöl verwendet.

Die Produktpalette könnte sich in naher Zukunft jedoch erneut wandeln. Forschungen haben ergeben,

dass Krill eine Reihe von biochemisch interessanten Verbindungen enthält, z.B. Carotinoide, hochungesättigte Fettsäuren, proteolytische Enzyme zur Gewinnung von Proteinprodukten, Hydrolysate-Produkte für die Tierfuttermittelindustrie, Proteinkonzentrate als Additive für Lebensmittel, Chitin und Chitosan als Grundstoff für die chemische Industrie, eine Reihe von Enzymen wie Proteasen, Carbohydrasen, Phospholipasen mit hohem Wert für die pharmazeutische Industrie. Veränderungen in der Produktpalette lassen sich aus der Anmeldung von krillbezogenen Patenten ableiten. Die öffentlich zugängliche Patentdatenbank (<http://ep.espacenet.com/>) verzeichnet 38% der Krillpatente mit einem direkten Bezug zu medizinischen Produkten und weiteren 39%, die in Zusammenhang mit Aquakulturprodukten stehen (NICOL et al. 2011). Der Fang von Krill könnte dann zusätzlich auf die Gewinnung hochwertiger chemischer Produkte zielen. Diese Entwicklung würde die kommerzielle Nutzung weitaus rentabler machen und damit neue Anreize für eine Erhöhung der Krillfänge schaffen.

Vor dem Hintergrund einer möglichen Ausweitung der kommerziellen Nutzung des Krill war CCAMLR bestrebt, Schutzmaßnahmen für die Krillbestände zu entwickeln, bevor die Krillfischerei unkontrolliert expandiert. Ein erster Schritt war 1991 die Festsetzung einer vorsorglichen Höchstfangmenge für den Atlantischen Sektor des Südpolarmeeress, die sich an Ergebnissen des FIBEX-Surveys von 1981 orientierte. Durch den »CCAMLR Survey 2000« wurde eine fundierte Datenbasis geschaffen, nach der die geschätzte Krillbiomasse im Südatlantik 60 Mio. t betrug. Die Berechnung des möglichen Dauerertrages ergab für dieses Gebiet eine jährliche Höchstfangmenge von 5,61 Mio. t. Weitere Fangmengenbegrenzungen von insgesamt 3 Mio. t liegen inzwischen für den westlichen und östlichen Indischen Ozean vor.

Wenn auch die Krillfischerei auf dem gegenwärtigen Niveau keinen nachweisbaren negativen Effekt auf den Krill-Gesamtbestand hat – die berechnete potenzielle Höchstfangmenge liegt um den Faktor 50 niedriger als die aktuellen Fangzahlen – so stellt sich doch ein Problem dadurch ein, dass die gesamte Fischerei im atlantischen Sektor auf räumlich sehr begrenzten Fangplätzen operiert, nämlich den Seegebieten vor den South Shetland Inseln, den South Orkneys und Südgeorgien. Diese Gebiete stellen gleichzeitig die Regionen dar, in denen die größten Konzentrationen an landgestützten Krillkonsumenten (insbesondere Pinguine und Robben) leben und ihren Nachwuchs aufziehen. Um das Risiko zu verringern, dass die räumliche Überlappung zwischen Fischerei und Krillkonsumenten zu einer mittelfristigen Schädigung der krillabhängigen

Arten führt, wurden von CCAMLR so genannte kleinskalige Management-Einheiten (,Small-Scale Management Units', SSMU) erarbeitet. Diese berücksichtigen sowohl die Verteilung der Krill-Bestandsbiomasse als auch den Bedarf an Krillbiomasse für die Konsumenten. Solange die festgelegte Höchstfangmenge nicht auf die SSMUs aufgeteilt wurde, und um den Druck auf lokale Krillkonsumenten zu verringern, hat CCAMLR eine Zwischenlösung etabliert, die Festsetzung von so genannten Schwellenwerten (»trigger level«). Für den Südatlantik liegt der »trigger level« bei 620.000 t, der nicht überschritten werden darf, bevor nicht ein weitergehender Managementplan beschlossen ist. Dieser regionale Schwellenwert wurde zudem noch proportional auf die einzelnen Untergebiete aufgeteilt, somit liegt der Schwellenwert für das Gebiet der Antarktischen Halbinsel (Untergebiet 48.1) bei 25%, entsprechend 155.000 t pro Jahr. Tatsächlich wurde diese Fangmenge in der Saison 2010 und 2013 in diesem Untergebiet erreicht, so dass es für die verbleibende Zeit des Jahres vom CCAMLR-Sekretariat für die Krillfischerei geschlossen wurde.

Zwei Befürchtungen werden die Erforschung der Krillbestände und weitergehende Regulierung der Krillfischerei vorantreiben. Die erste ist eine potenzielle Expandierung der Krillfischerei, die aufgrund der Entwicklung neuer Produkte, effizienterer Fangmethoden sowie verbesserter und mengenmäßig steigender Absatzmöglichkeiten sehr schnell einsetzen könnte. Die zweite ist eine mögliche starke Abnahme der Krillbestände, ausgelöst durch den Wandel der klimatisch bedingten Umweltbedingungen (Stichwort »global warming«). Die Hintergründe sollen im nächsten Kapitel erläutert werden.

### **Umwelteinfluss durch Eis und Nahrungsangebot**

Als Langzeituntersuchungen im Gebiet der Antarktischen Halbinsel den Nachweis erbrachten, dass die Krillbestände starken jährlichen Schwankungen unterworfen sind (LOEB et al 1997, SIEGEL et al. 1998), wurde gleichzeitig deutlich, dass besonders die Überlebensrate der Rekruten der Altersgruppe 1 eine wesentliche Ursache darstellen (SIEGEL & LOEB 1995). Der Rekrutierungserfolg oder –misserfolg einzelner Jahrgänge war auf ozeanweiten Skalen nachweisbar, was die Hypothese bestätigte, dass großräumige Umweltbedingungen die Entwicklung der Krillbestände steuern.

Eine Reihe von Variablen wurde untersucht, um mögliche Abhängigkeiten zwischen Krillbestandsdichte und physikalischen und biologischen Parametern zu ergründen. Als wichtigster Parameter wurde die

winterliche Ausdehnung der Meereisbedeckung identifiziert, wobei diese weniger die Bestandsgröße oder –dichte des Krill direkt beeinflusst, sondern primär die Rekrutierung des Krill steuert. Neben der numerischen Abundanz der Rekruten beeinflusst die winterliche Eisausdehnung auch den Beginn der Laichzeit des Krill, so dass sich folgendes Szenario beschreiben lässt: Eine langanhaltende und räumlich weit ausgedehnte Eisbedeckung während des Winters wirkt sich positiv auf einen frühen Beginn der Krill-Laichzeit im folgenden Frühjahr aus. Die Larven wachsen schnell während des folgenden Sommerzeitraums und gehen gut konditioniert in den nächsten Winter, was ihre Überlebensrate verbessert. Gute Eisbedingungen (viel Meereis) ermöglichen den Rekruten im Spätwinter außerdem die Nutzung der Eisalgen als Nahrungsquelle. Hingegen können schwache Eiswinter (wenig Meereis) zu einem vollständigen Ausfall eines Krilljahrganges führen.

Aus den gemachten Beobachtungen können wir schlussfolgern, dass die Krillpopulation einerseits durch den Fortpflanzungserfolg der erwachsenen Tiere (zeitliche Einpassung der Laichzeit im Frühjahr/Sommer) und andererseits durch die Überlebensraten der Larven und frühen Jugendstadien im Winter gesteuert wird. Der Schlüsselfaktor Meereis stellt aber nur das »Habitat« und nicht die eigentliche Ursache für die Entwicklung eines erfolgreichen Jahrganges dar. Überwiegend besteht die Meinung, dass das Eis ein Indikator für die Verfügbarkeit der Nahrungsressourcen des Krill ist, seien es die Eisalgen im späten Winter oder das Phytoplankton der Frühjahrsblüte in der Eisrandzone.

### Schlussfolgerung

ATKINSON et al. (2004) haben eine statistisch signifikante Abnahme der Krillhäufigkeit im Südatlantik seit den 1920er Jahre nachgewiesen. Der eigentliche Bestandsrückgang setzte dabei erst Anfang der 1980er Jahre ein. Dies ist besonders bedenklich, da es sich um das Gebiet mit den größten Krillvorkommen der zirkumpolaren Population handelt.

Eine Erklärung für die dramatische Abnahme der mittleren Krillhäufigkeit lässt sich aus der Beziehung zwischen Rekrutierung und winterlicher Meereis-Ausdehnung ableiten. Wie die meisten Umweltparameter unterliegt auch die Eisbedeckung der Antarktis erheblichen Schwankungen zwischen den Jahren. Dies trifft besonders für den Bereich der Antarktischen Halbinsel zu. Da hier die Landmassen vergleichsweise weit nach Norden reichen, wird sowohl die saisonale Packeiszone als auch das Krillverbreitungsgebiet in der Drake-Passage kanalisiert und in ihrer Nord-Süd-Ausdehnung stark komprimiert. Geringe Veränderungen in den kli-

matischen Bedingungen können sich daher viel schneller und intensiver auf die Krill-Packeis-Interaktion auswirken als in Gebieten mit großräumiger Packeisausdehnung, wie zum Beispiel im Indischen Sektor des Südpolarmeeres. Von WHITE & PETERSON (1996) wurde die so genannte ‚circumpolar wave‘ beschrieben, eine zyklische Veränderung der Meereis-Bedingungen im Südpolarmeere. Extremsituationen in der Eisausdehnung treten demnach in Abhängigkeit von Klimabedingungen in verschiedenen Sektoren des zirkumpolaren Südpolarmeeres alle 4 bis 5 Jahre auf. Dies würde bedeuten, dass im Verlauf eines normalen Meereiszyklus der Krill während seiner Lebensspanne von sechs Jahren mindestens ein bis zwei optimale Bedingungen zur Fortpflanzung antreffen würde. Durch die relativ hohe Anzahl von bis zu sechs Altersklassen im Krillbestand wird der Einfluss von schwachen Jahrgängen auf die Bestandsbiomasse gedämpft. Erst die Abfolge von wiederholten Rekrutierungsausfällen oder überdurchschnittlich starken Jahrgängen wird sich in deutlichen Schwankungen der Bestandsbiomasse widerspiegeln.

Nachweislich ist die saisonale Eisbedeckung eng mit der mittleren monatlichen Lufttemperatur im Winter korreliert. Seit Mitte der 1940er Jahre ist für die Antarktische Halbinsel eine signifikante Zunahme der Temperatur um 4–5°C nachzuweisen. Dadurch hat die Häufigkeit von Jahren mit geringer winterlicher Eisbedeckung deutlich zugenommen (SMITH & STAMMERJOHN 2001). Meereis bietet nachweislich eine Reihe von Vorteilen während des Krill-Lebenszyklus; eine durch Klimaveränderungen ausgelöste Häufung von ungünstigen Eisjahren oder »Verspätungen« im saisonalen Eiszyklus, und somit in der Struktur des Krill-Winterhabitats, würde kumulative negative Effekte auf den Fortpflanzungserfolg, die Überlebensrate, Rekrutierung und Bestandsbiomasse der Art haben und mögliche negative Kaskadeneffekte in der Nahrungsnetzstruktur nach sich ziehen (FLORES et al 2012).

Wenn nicht ausreichend Krill zur Verfügung steht, kommt es sehr schnell zu hohen Sterblichkeitsraten bei den Krillkonsumenten, wie dies in den besonders kritischen Jahren 1978, 1983, 1991, 1994 und 2009 vor Südgeorgien der Fall war (REID & CROXALL 2001). Ein Wechsel in der Nahrung (»prey switching«) ist für die meisten Arten nur sehr eingeschränkt möglich. Oftmals kann durch die Nutzung energieärmerer Ersatznahrung zwar das Überleben der Elterntiere gesichert werden, doch wird der Aufzuchtserfolg des Nachwuchses stark eingeschränkt, bis hin zum Totalausfall eines kompletten Jahrgangs (TRIVELPIECE et al. 2010). Da dieses Phänomen allerdings auch immer wieder in einzelnen Jahren mit abweichenden Strömungssituationen auftreten kann, lassen sich nicht zwangsläufig sofortige



Rückschlüsse auf die langfristige Entwicklung des Krillbestandes ziehen.

Die Modelle zur Berechnung der potenziellen Krillfangmengen gehen von einem System aus, das langfristig stabil ist und um einen mittleren Zustand pendelt. Diese Annahme ist mit dem Nachweis einer negativen Langzeitentwicklung der Krillbestände nicht mehr haltbar. Wie die Vergangenheit gezeigt hat, sind großräumige Bestandsaufnahmen, die verlässliche Daten für einen repräsentativen Teil der zirkumantarktischen Gesamtpopulation liefern, wegen des immensen Forschungsaufwandes nur alle 10 bis 20 Jahre realistisch. Dies sind aber offensichtlich Zeiträume, in denen erhebliche umweltbedingte Bestandsveränderungen auftreten können. Damit könnten vormals richtige Managemententscheidungen über den Umfang eines möglichen Krill-Dauerertrages durch die Fische-

rei schon überholt sein, bevor signifikante Effekte im Ökosystem (hier: Rückgänge in den Krill- und Krillkonsumenten-Bestandszahlen) nachweisbar wären. Als prioritäre Aufgabe wird deshalb von CCAMLR zurzeit ein Modell entwickelt, das die Langzeit-Abnahme des Krillbestands berücksichtigt. Dieses adaptive Managementmodell (feedback management) soll unter Nutzung von aktuellen Monitoringergebnissen und fischereibezogenen Daten kurzfristige Schonmaßnahmen ermöglichen, die den Vorsorgeansatz beim Bestandsmanagement langfristig gewährleisten.

**Literatur**

ATKINSON A., V. SIEGEL, E. A. PAKHOMOV & P. ROTHERY (2004): Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. Nature (London) 432: 100-103.

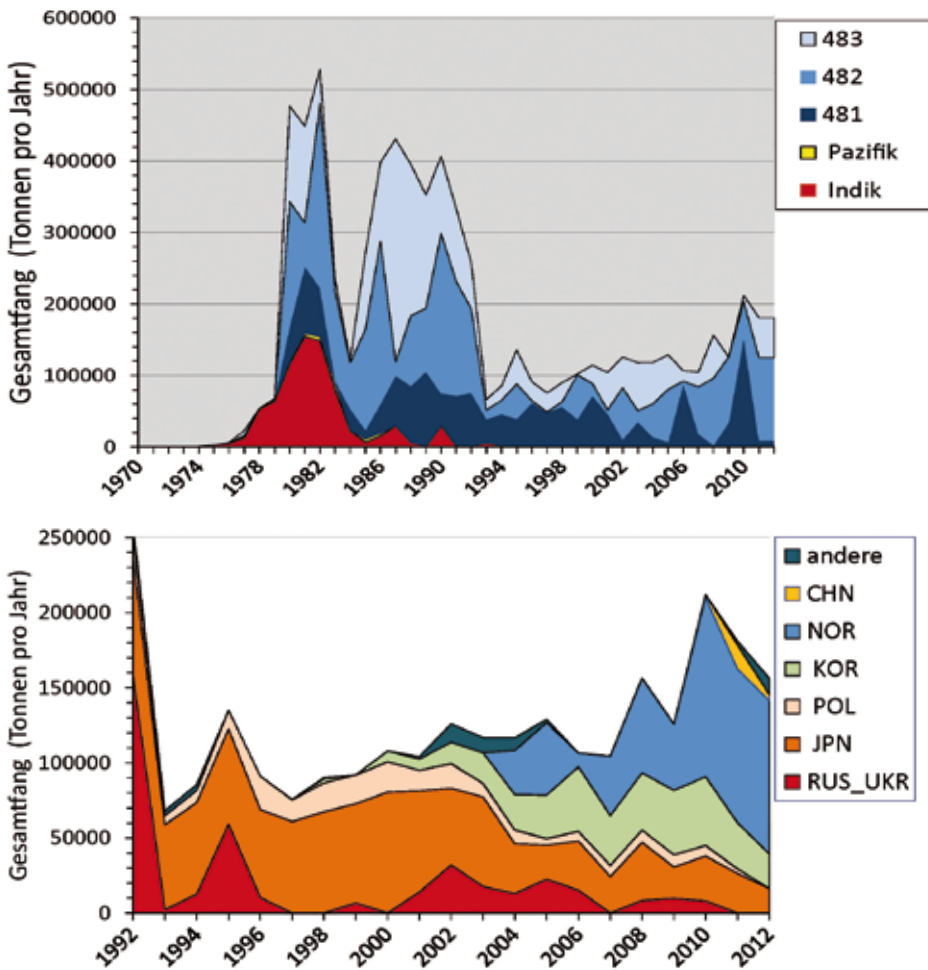


Abb. 3.4-3: Die Entwicklung der kommerziellen Krill-Fangmengen (in t) in der Antarktis. a) nach Großgebieten (oben), b) nach Fangnationen (unten).

- ATKINSON A., V. SIEGEL, E. A. PAKHOMOV, M. J. JESSOPP & V. LOEB (2009): A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill. *Deep-Sea Research I* 56: 727-740.
- EVERSON I. (1977): The living resources of the Southern Ocean. FAO, Rome. 156 S.
- FLORES H., ATKINSON, A., KAWAGUCHI, S.; KRAFFT B. A., MILINEVSKY G., NICOL S., REISS C., TARLING G.A., WERNER R., BRAVO REBOLLEDO E., CIRELLI V., CUZIN-ROUDY J., FIELDING S., VAN FRANEKER J. A., GROENEVELD J. J., HARALDSSON M., LOMBANA A., MARSCHOFF E., MEYER B., PAKHOMOV E. A., VAN DE PUTTE A. P., ROMBOLÁ E., SCHMIDT K., SIEGEL V., TESCHKE M., TONKES H., TOLLER J. Y., TRATHAN P. N., TREMBLAY N. & T. WERNER (2012): Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series* 458: 1-19
- HEWITT R., D. DEMER & J. H. EMERY (2003): An 8-year cycle in krill biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Islands during the austral summers of 1991-1992 through 2001-2002. *Aquatic Living Resources* 16: 205-213.
- HEWITT R. P., J. WATKINS, M. NAGANOBU, V. SU-SHIN, A. S. BRIERLEY, D. DEMER, S. KASATKINA, Y. TAKAO, C. GOSS, A. MALYSHKO, M.A BRANDON, S. KAWAGUCHI, V. SIEGEL, P. TRATHAN, J. EMERY, I. EVERSON & D. MILLER (2004): Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield. *Deep-Sea Research II* 51: 1215-1236.
- LOEB V., V. SIEGEL, O. HOLM-HANSEN, R. HEWITT, W. FRASER, W. TRIVELPIECE & S. TRIVELPIECE (1997): Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature* 387: 897-900.
- MURPHY E. J. (1995): Spatial structure of the Southern Ocean ecosystem: predator-prey linkages in Southern Ocean food webs. *Journal of Animal Ecology* 64: 333-347.
- NICOL S., I. FORSTER & S. KAWAGUCHI (2011): The fishery for Antarctic krill – recent developments. *Fish and Fisheries* 2011: 1-11.
- REID K. & J. P. CROXALL (2001): Environmental response of upper trophic-level predators reveals a system change in an Antarctic marine ecosystem. *Proceedings Royal Society London B* 268: 377-384.
- REISS C. S., A. M. COSSIO, V. LOEB & D. A. DEMER (2008): Variations in the biomass of Antarctic krill (*Euphausia superba*) around the South Shetland Islands, 1996-2006. *ICES Journal of Marine Science* 65: 497-508.
- SC-CAMLR (2010): Report of the Twenty-Ninth Meeting of the Scientific Committee, Hobart, Australia 25–29 October 2010, 420 S.
- SIEGEL V. (2000): Krill (*Euphausiacea*) demography and variability in abundance and distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57 (3): 151-167.
- SIEGEL V. (2005): Distribution and population dynamics of *Euphausia superba*: Summary of recent findings. *Polar Biology* 29: 1-22.
- SIEGEL V. & V. LOEB (1995): Recruitment of Antarctic krill (*Euphausia superba*) and possible causes for its variability. *Marine Ecology Progress Series* 123: 45-56.
- SIEGEL V., V. LOEB & J. GRÖGER (1998): Krill (*Euphausia superba*) density, proportional and absolute recruitment and biomass in the Elephant Island region (Antarctic Peninsula) during the period 1977 to 1997. *Polar Biology* 19: 393-398.
- SMITH R. C. & S. E. STAMMERJOHN (2001): Variations of surface air temperature and sea-ice extent in the western Antarctic Peninsula (WAP) region. *Annals of Glaciology* 33: 493-500.
- TRIVELPIECE W. Z., J. T. HINKE, A. K. MILLER, C. S. REISS, S. G. TRIVELPIECE & G. M. WATERS (2010): Variability in krill biomass links harvesting and climate warming to penguin population changes in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108 (18): 7625-7628.
- WHITE W. B. & R. G. PETERSON (1996): An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. *Nature* 380: 699-702.

### **Kontakt:**

*Dr. Volker Siegel*  
*Thünen-Institut für Seefischerei*  
*Das Bundesforschungsinstitut Johann Heinrich von*  
*Thünen für Ländliche Räume, Wald und Fischerei*  
*volker.siegel@ti.bund.de*