

# Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

## Losses in yield and revenue for cod, herring and sprat due to underfishing of cod in the eastern Baltic Sea.

---

**Eckhard Bethke**

**Fischerei Consulting Bethke, Königsbergstr. 54, 22880 Wedel, Germany,  
Email: eckhard.bethke@ficobe.de, Homepage: www.ficobe.de**

**Kurzfassung:** Aus dem aktuellen WGBFAS-Bericht des ICES geht hervor, dass Nahrungsmangel in der östlichen Ostsee Kümmerwachstum und damit einen Verlust an Produktivität bei Dorsch verursacht. Dieser Zustand, zunächst unbemerkt, verschlimmert sich seit etwa 30 Jahren. Hungernde Bestände müssen unbedingt vermieden werden, denn, nur der über den Grundbedarf hinausgehende Anteil der assimilierten Nahrung, wird für das Wachstum eingesetzt. Eine Reduktion der Bestandsgröße ist erforderlich! Der Internationale Rat für Meeresforschung (ICES) hat jedoch die Schließung der Fischerei auf Dorsch empfohlen. Betrachten wir die Fischerei durch die Brille der Aquakultur, stellen wir fest, dass diese Empfehlung kritisch hinterfragt werden muss. Nutzt man den „gemästeten“ Dorschbestand nicht ausreichend, werden mögliche Erträge ebenfalls nicht realisiert. Zusätzlich zu diesem Verlust verliert man das zur Mast eingesetzte Futter. Denn, als Alternative zur Dorschmast wären Erträge aus der Fischerei auf Hering und Sprotten möglich. Im Gegensatz dazu verursacht die Überfischung des Dorschbestandes zwar Ertragseinbußen, eröffnet aber gleichzeitig erweiterte Fangmöglichkeiten auf die Futterfischbestände. Die Überarbeitung der verwendeten Bestandsmodelle und die Hinwendung vom Einartenansatz über den Ökosystemansatz, hin zu Ansätzen, die Ökonomie und Ökologie vereinen, sind notwendig. Vergleicht man die Futterkosten mit den späteren Erlösen wird klar, dass bei der Mast von Dorsch über einer Körpermasse von etwa 1 kg mehr Geld in der alternativen Futterfisch-Fischerei verloren wird, als bei der Fischerei auf Dorsch gewonnen wird. Ein reflexartig geforderter Bestandsschutz verursachte in den vergangenen Jahrzehnten geringe Wachstumsraten bei Dorsch durch Unterfischung in der östlichen Ostsee und damit einen Rückgang der Produktivität auch bei anderen Arten. Man kann keine ertragreiche Fischerei auf Dorsch, Hering und Sprotten erwarten, wenn man einen hungernden Dorschbestand duldet. Um nun aber größere Dorsche fangen zu können, muss die Zahl der Rekruten ausreichend gering sein. Wir wissen es aus unserem Kleingarten. Wenn wir die Radieschenreihen nicht ausdünnen, können wir nur kleine Radieschen ernten. Das Gleiche gilt für den Kabeljau in der Ostsee. Wenn wir die Zahl der Rekruten nicht frühzeitig reduzieren, werden wir immer kleinen Kabeljau zu unattraktiven Preisen fangen.

You can find the English version of the manuscript here: <https://ssrn.com/abstract=3419758>

**Abstract:** The latest ICES WGBFAS report shows that food shortages in the eastern Baltic Sea are causing poor growth and thus a loss of cod productivity. This situation, initially unnoticed, has been worsening for about 30 years. It is essential to avoid starving stocks, because only the part of assimilated food that exceeds basic needs is used for growth. A reduction of the stock size is necessary! However, the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) has recommended the closure of the cod fishery. If we look at fishing through the eyes of aquaculture, we see that this recommendation must be questioned critically. If the "fattened" cod stock is not used sufficiently, potential yields will not be realised either. In addition to this loss, the feed used for fattening is also lost. Because, as an alternative to cod fattening, yields from fishing for herring and sprat would be possible. In contrast, overfishing of the cod stock may result in a loss of yield, but at the same time it opens up greater fishing opportunities for forage fish stocks. A revision of the stock models used and a shift from the one-species approach via the ecosystem approach to approaches that combine economy and ecology are necessary. If one compares the feed costs with the later revenues, it becomes clear that when fattening cod beyond a body mass of about 1 kg more money is lost in the alternative forage-fish fishery than is gained when fishing for cod. A reflex-like demand for stock protection has caused low growth rates for cod in recent decades due to underfishing in the eastern Baltic Sea and thus a decline in productivity for other species as well. You cannot expect high-yield fishing for cod, herring and sprat if you tolerate a starving cod population. In order to catch larger cod, however, the number of recruits must be sufficiently low. We know this from our allotment garden. If we don't thin out the rows of radishes, we can only harvest small radishes. The same applies to cod in the Baltic Sea. If we do not reduce the number of recruits beforehand, we will always catch small cod at unattractive prices.

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

### Einleitung

Das Ökosystem der Ostsee ist einfach, wenn es um kommerziell genutzte Fischarten geht: Die wirtschaftlich wichtigsten Arten sind Dorsch, Hering und Sprotte. Einen kontinuierlichen Überblick über die Bestandsentwicklung liefert die Web-Seite Fischbestände-Online des Thünen-Instituts für Ostseefischerei Rostock (Barz, K et al. 2019). Der Dorschbestand in der östlichen Ostsee nimmt seit dem Höhepunkt im Jahre 1984 beständig ab. Dies gilt teilweise auch für den Heringsbestand in der Zentralen Ostsee. Seit 2001 stieg die Biomasse dieses Bestandes aber wieder kontinuierlich an. Die Sprotte lebt in der Ostsee an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze. Die Überlappung der Verbreitungsgebiete der einzelnen Fischarten entscheidet darüber, ob Hering und Sprotte als Nahrung für den Dorsch zur Verfügung stehen oder eben nicht. Nahrungsmangel bei Dorsch verursacht kümmerliches Wachstum und infolgedessen vermehrt Rückwürfe. Nach dem WGBFAS-Bericht des ICES (2019) wurde im letzten Jahr etwa 16 % des Fanges zurückgeworfen. Genauere Werte für die Wachstumsparameter können wegen ungenauer Altersschätzung nicht angegeben werden. Es offenbaren sich Widersprüche und Ungereimtheiten:

- Der östliche Dorschbestand hungert jetzt bereits seit etwa 30 Jahren (ICES, 2019). Der ICES empfiehlt für das Jahr 2020 in den Untergebieten (24 - 32) die Fischerei einzustellen, obwohl eine Hegefischerei bei hungernden Beständen üblich ist und hier angezeigt wäre.
- Sterblichkeit (und Wachstumsraten) sind kontinuierliche Zinsraten von biologischen Kapitalanlagen. Die natürliche Sterblichkeit für Dorsch ist gestiegen und wird für die letzten Jahre als etwa dreimal höher als die fischereiliche Sterblichkeit eingeschätzt: Die Beute der natürlichen Feinde ist demnach, absurder Weise, dreimal höher als der fischereiliche Ertrag.
- Als Proxy für  $F_{MSY}$  wird in der Regel  $F_{max}$ , berechnet mit dem Ertragsmodell von Beverton und Holt (1957). In dem Buch von B&H steht explizit, dass der Maximalertrag pro Rekrut (Satzfisch in der Aquakultur) ausschließlich für eine unendlich hohe fischereiliche Sterblichkeit bei angepasster Maschenöffnung erreicht wird. Warum also wird eine permanente Reduktion der fischereilichen Sterblichkeit gefordert und nicht eine Erhöhung der Maschenöffnung?
- Innerhalb des Ertragsmodells von Beverton und Holt wird die Wachstumsfunktion von von Bertalanffy (1934) verwendet. Die vBGF hat zwei Eingangsparameter: die Grundbedarfsrate  $K_M$ , die in der Regel fälschlich als Wachstumsrate gedeutet wird und die asymptotische Endmasse des Fisches. Die asymptotische Endmasse ist Wirkung und nicht Ursache von Wachstum und ist die Hauptursache der Modellfehler. Erstaunlicherweise fehlt die Nahrungsaufnahme als Eingangsparameter. Dieser Mangel wurde in Bethke (2011) korrigiert und seitdem ignoriert.
- Die Europäische Kommission hat den ICES aufgefordert, für das Jahr 2020 einen Bewirtschaftungsvorschlag auf der Grundlage des Vorsorgeansatzes vorzulegen. Hier stellt sich die Frage: Ist mittels Vorsorgeansatz ein maximaler Dauerertrag erzielbar?

Der Dorschbestand in der östlichen Ostsee ist zweifellos in einer prekären Situation. Derzeit wird auf der NGO-Webseite (Lundgren et al., 2019) beklagt, dass trotz alledem der Europäische Fischereirat in der Vergangenheit Fangbeschränkungen festsetzt, die über die wissenschaftlichen Gutachten hinausgingen. Richtig festgelegte Grenzwerte würden die unter Druck geratenen Ostseebestände unterstützen, sich zu erholen und die Erhaltung der biologischen Vielfalt des Ökosystems, die Schaffung von Arbeitsplätzen in Küstengemeinden und die Bereitstellung lokaler Lebensmittel für [www.ficobe.de](http://www.ficobe.de)

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

den menschlichen Konsum sicherstellen. Aber sind die vom ICES vorgeschlagenen Grenzwerte richtig? Diese Frage soll hier für den östlichen Ostseedorsch näher beleuchtet werden.

### Material und Methoden

An dieser Stelle möchte ich zu einem Gedankenexperiment anregen und die Ostsee als eine riesige Aquakulturanlage betrachten. Wie in allen Aquakulturanlagen besteht der Gesamtproduktionsprozess aus zwei voneinander getrennten Einzelprozessen, nämlich der Satzfishproduktion und der Mast. Für gewöhnlich finden beide Teilproduktionsprozesse vollständig getrennt voneinander statt.

Der Vorsorgeansatz sorgt für eine ausreichende Satzfishproduktion und damit für die Erfüllung eines Hauptziels des Naturschutzes. Im Bundesnaturschutzgesetz ist festgelegt, dass die biologische Vielfalt zu erhalten ist – hier ist das Naturschutzgesetz strikt. Erst nachfolgend, bei der Festlegung der Befischungsmuster, der Kombination aus fischereilicher Sterblichkeit und Maschenöffnung, wird bestimmt, dass die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter zu erhalten ist. Hier gestattet das Naturschutzgesetz einen Spielraum. Bei unserem Gedankenexperiment nehmen wir an, dass durch Vorsorge immer sicherstellt ist, dass eine ausreichende Rekrutenanzahl zur Verfügung steht.

Wir beleuchten im Folgenden nacheinander verschiedene Ertragsmodelle, die beispielhaft an einer Kohorte des Dorsches eines unbefischten Bestandes für eine unbegrenzte und eine begrenzte Nahrungsverfügbarkeit erklärt werden.

- Ertragsverluste durch Mangelernährung
- Beverton und Holt-Ertragsmodell
- Mehrartenmodell und MSY
- Erweiterter Vorsorgeansatz
- Ökosystemansatz und Erlös

Im Wesentlichen stehen sich hier jedoch das B&H-Ertragsmodell und ein erweiterter Vorsorgeansatz gegenüber. Ökonomische Betrachtungen wären jedoch wünschenswert. Hierfür wird ein neuer Ansatz skizziert und ein Lösungsansatz wird aufgezeigt.

### Ertragsverluste durch Mangelernährung

Derzeitig strebt man bei der Mast einen maximalen nachhaltigen Dauerertrag (MSY) an, wobei davon ausgegangen wird, dass immer ausreichend Rekruten zur Verfügung stehen. Dies gilt als sicher, solange man Probleme mit Rückwürfen beklagt. Für die Ableitung von MSY-Befischungsmustern gibt es kein schlüssiges mathematisches Modell. Ersatzweise wird auf das Ertragsmodell von Beverton und Holt (B&H, 1957) zurückgegriffen. Abbildung 1A zeigt den Verlauf der Bestandszahlen als Funktion der Körpermasse eines Dorsches. Üblicherweise wird der Zeitverlauf dargestellt. In diesem Fall soll jedoch die Wirkung von Mangelernährung demonstriert werden. Aus Abbildung 1A kann abgelesen werden, dass bis zum Erreichen der Fangmasse  $m_{B\&H}$  bei geringerem Wachstum (graue Kurve, geringere Referenzassimilationsrate  $ARF_{min}$ ) die natürliche Sterblichkeit länger auf den Bestand einwirkt. Die schwarze Kurve zeigt den zahlenmäßigen Bestandsverlauf für die maximale

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

Referenzassimilationsrate  $ARF_{max}$ . Was genau ist eine Referenzassimilationsrate? Die Assimilationsrate ist der Teil der aufgenommenen Nahrung, der in körpereigene Biomasse umgewandelt und nicht gleich wieder ausgeschieden wird (Bethke, 2011). Die Assimilationsrate ist abhängig von der Körpermasse. Um die Nahrungsverfügbarkeit beurteilen zu können, vergleicht man die Assimilationsraten bei der Referenzmasse  $m_{RF} = 1$  kg. Dies klingt zunächst kompliziert, lässt sich aber leicht deuten: Wenn zwei Fische die gleiche Körpermasse haben, dann ist der Fisch, der sich mit  $ARF_{max}$  ernähren konnte jünger, als der Fisch, dem weniger Nahrung ( $ARF_{min}$ ) zur Verfügung stand. Diese Maximalrate kann nicht überschritten werden: Wenn der Fisch satt ist, frisst er nicht mehr. Die Referenzassimilationsrate kann mittels Markierungsexperimenten gemessen werden. Hier werden zunächst Ergebnisse für Schwankungen bei der Nahrungsverfügbarkeit innerhalb normaler Grenzen präsentiert. Erst später wird auf den derzeitigen Ausnahmezustand eingegangen, in dem sich der Bestand zurzeit befindet.

### Beverton und Holt-Ertragsmodell – Maximalertrag pro Rekrut

Den Biomasseverlauf pro Rekrut einer zunächst unbefischten Kohorte (Abbildung 1B) erhält man durch Multiplikation der Bestandskurve mit der aktuellen Körpermasse. Aus dieser Kurve lässt sich das Biomassemaximum und damit die optimale Fangmasse  $m_{B\&H}$  ablesen, um den maximalen Ertrag pro Rekrut zu erzielen. Bei guter Nahrungsverfügbarkeit muss der Fisch, der eine Masse von  $m_{B\&H} = 11$  kg erreicht hat, mit einer Maschenöffnung von etwa 30 cm augenblicklich abgefischt werden. Ist das Nahrungsangebot schlechter ( $ARF_{min}$ ) muss der Fisch, der eine Masse von  $m_{B\&H} = 6$  kg überschreitet, mit einer Maschenöffnung von etwa 25 cm zügig abgefischt werden. Abbildung 1B zeigt jedoch auch, dass das Ertragsmaximum um etwa 45 % absinkt, wenn der Fisch mangelernährt wird! In beiden Fällen werden nach der Theorie sehr große Maschen erforderlich. Eine Fischerei mit derartig großen Maschenöffnungen führt zu großen Bestandsbiomassen und entsprechend großem Nahrungsbedarf. Für eine solche Fischerei gibt es keine historischen Beispiele.

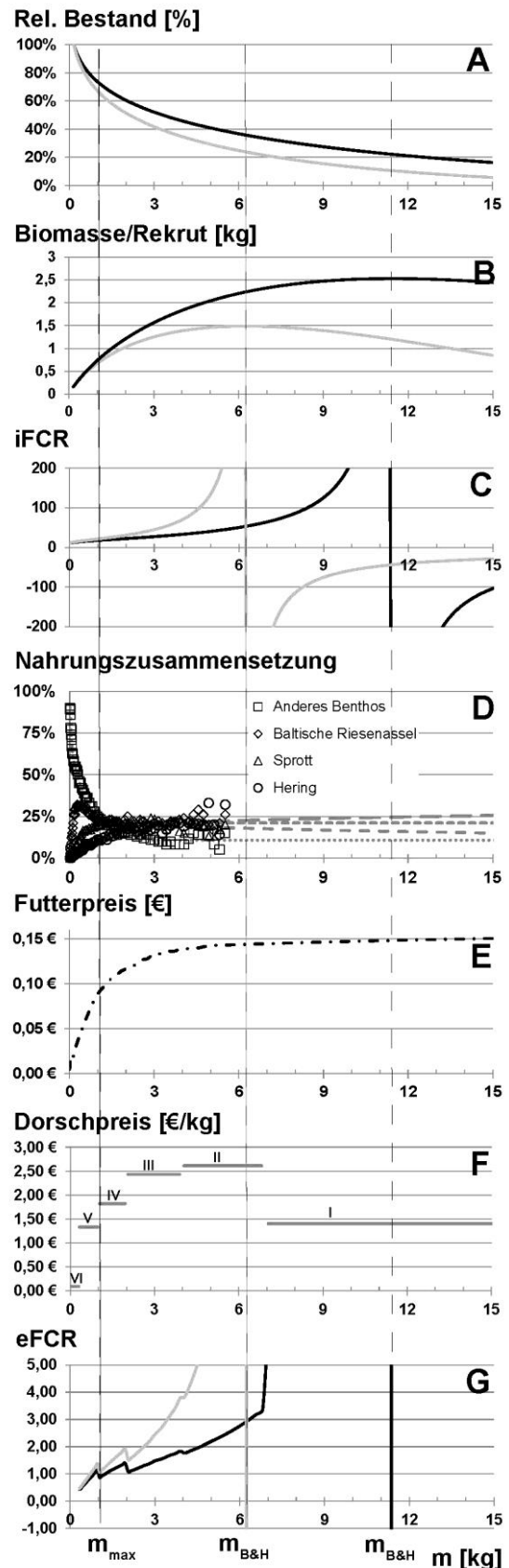
Das Modellergebnis fordert eine unendlich hohe fischereiliche Sterblichkeit, womit klar wird, dass es keinen biologischen Grund gibt, die fischereiliche Sterblichkeit zu begrenzen (Bethke, 2013a). Wählt man aus ökonomischen Gründen jedoch eine kleinere Sterblichkeit, so muss man früher mit der Ernte beginnen und eine kleinere Maschenöffnung wählen. Außerdem muss man bereit sein, Ertragseinbußen hinnehmen. Bei den Ertragsmaxima, die Biologen benutzen, um Aufwandsbeschränkungen zu begründen, handelt es sich um bedingte Maxima. Sie ergeben sich nur, wenn die Maschenöffnung konstant gehalten und gleichzeitig davon ausgegangen wird, dass Futtermangel das Wachstum nicht begrenzt. Dann und nur dann ergibt sich ein bedingtes Maximum! Von diesen bedingten Maxima gibt es unzählige, für jede fischereiliche Sterblichkeit eine andere passende Maschenöffnung, oder umgekehrt. Das wird oft aber nicht erwähnt, um nicht in Erklärungsnot zu kommen. Fischt man den Bestand zum berechneten Erntezeitpunkt ab, scheint das Überfischungsproblem gelöst zu sein. Nahrungsmangel lässt sich relativ leicht verhindern, indem man die Rekrutenzahl begrenzt. Überzählige Rekruten können z.B. durch die Industriefischerei zu Fischmehl verarbeitet werden. Äquivalente Vorgehensweisen sind aus der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Gartenbau bekannt. Die Rekrutenreduktion wäre deshalb Teil des normalen Produktionsprozesses. Beachten wir all dies, gehören Rekrutierungs- und Wachstumsüberfischung der Vergangenheit an und Rückwürfe werden als Problem bedeutungslos. Die Umweltverbände können sich gelassen zurücklehnen. Kein Fischer sägt mehr an dem Ast auf dem er selber sitzt.

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

### Mehrartenmodell und MSY – ein offensichtlicher Widerspruch

Alles ist gut, könnte man denken, wenn es die Veröffentlichung über den afrikanischen Lake Kariba (Kolding and van Zwieten, 2011) nicht gäbe. Dieser Stausee bildet die Grenze zwischen Sambia und Simbabwe. Auf der einen Seite existiert ein herkömmliches Fischereimanagement. Auf der gegenüberliegenden Seite werden den Fischern seit etwa 40 Jahren keine Beschränkungen auferlegt: Hier gibt es einen offenen Zugang zur Ressource. Ein Vergleich beider Managementstrategien ergibt ein seltsames Ergebnis. Die Gesamterträge über alle Fischarten sind dort, wo es keine fischereilichen Beschränkungen gibt bei gleichen ökologischen Bedingungen, etwa sechsmal so hoch wie auf der anderen, gemanagten Seite. Das herkömmliche Management, so wie auch wir es kennen, verursacht Kosten und bewirkt niedrige Erträge! Was läuft da falsch? Abbildung 1C zeigt den Funktionsverlauf des augenblicklichen Futterverwertungsverhältnisses (iFCR). Das iFCR drückt aus, wieviel Futter pro Massezuwachs bei der gegenwärtigen Einzelfischmasse für die Kohorte benötigt wird. Es wird ersichtlich, dass der Futterbedarf mit jedem Schritt steigt, mit dem man sich dem angestrebten Bewirtschaftungsziel nach dem B&H-Kriterium nähert. Bis zum Heranwachsen des Fisches auf die Körpermasse  $m_{B\&H}$  steigt die Kohortenbiomasse. Genau bei  $m_{B\&H}$  bewirkt das eingesetzte Futter keinen Zuwachs mehr. Dies wird durch das augenblickliche Futterverwertungsverhältnis (iFCR) ausgedrückt. Das iFCR ist definiert als Futterverbrauch pro Körpermassezuwachs. Überschreitet der Fisch die Körpermasse  $m_{B\&H}$ , kehrt sich das Vorzeichen um: Obwohl der Fisch weiter gefüttert wird, müssen Biomasseverluste hingenommen werden. Durch Kot und den Grundbedarf der Fische ist das iFCR immer

**Abbildung 1:** A: Relativer Bestand, B: Biomasse pro Rekrut, C: augenblickliches FCR, D: Nahrungszusammensetzung, E: Futterpreis, F: Preis pro Größenklasse und G: ökonomisches FCR als Funktion der Körpermasse von Dorsch in der Ostsee (grau: Nahrungsmangel, schwarz: Nahrungsüberschuss).



## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

größer als eins (Abbildung 1C). Man benötigt daher immer mehr Futter, als man an Biomasse-Zuwachs erhält. Oder andersherum: Verzichtet man auf die Erzeugung eines kleinen Teils der Zielart-Biomasse, dann spart man einen viel größeren Teil der Futter-Biomasse. Dieser Teil kann dann alternativ abgefischt werden. Dies erklärt die Ergebnisse der Veröffentlichung über den Lake Kariba. Will man den gemeinsamen Ertrag der Fischerei auf die Zielart und auf den Futterfisch maximieren, erhält man stets das gleiche Ergebnis. Der Bestand der Zielart muss minimiert werden, damit der Ertrag auf den vorher konsumierten Futterfisch maximiert werden kann. Hier ist die Nahrungskette jedoch noch längst nicht zu Ende. Mit der Minimierung jeder trophischen Ebene könnte man den Ertrag mindestens verzehnfachen. Es gibt jedoch nicht für jeden erzielten Fang auch einen entsprechenden Markt. Betrachtungen bezüglich der Wertschöpfungskette bleiben in aller Regel in Europa im Anfangsstadium stecken. Der Grund dafür ist, dass, im Gegensatz zu Erlösbetrachtungen, Betrachtungen, die ausschließlich auf Erträgen beruhen, nie logisch schlüssige Konzepte ergeben. Wie das Beispiel Lake Kariba zeigt, sind erhebliche Ertragssteigerungen möglich. Das hat mit dem afrikanischen Markt zu tun: In Afrika kann kleiner, schnellwachsender und großer, aber langsam wachsender Fisch nahezu zum gleichen Preis verkauft werden. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn man exportorientiert produzieren will. Deshalb sollte nicht leichtfertig geschlussfolgert werden, dass auf der einen Seite alles richtig gemacht wird und auf der anderen Seite alles falsch.

### Erweiterter Vorsorgeansatz – Maximalertrag pro Futtermenge

Eine übergroße Anzahl von Laichern wird derzeit immer als ein bestandssichernder Vorteil begriffen. Hier wollen wir jedoch den ertragsmindernden Nachteil beleuchten, denn mit jedem unnötig ablaichenden Fisch geht etwa 20 % seiner Masse und entsprechende Erträge pro Jahr verloren. Die traditionelle Rechtfertigung für die Festlegung der Mindestanlandegröße bestand darin, die Bestände zu schützen, indem die Mindestgröße größer als die Größe bei Geschlechtsreife festgelegt wurde (Donaldson and Donaldson, 1992). Ein äußerst fragwürdiges Argument. Mit der gleichen Rechtfertigung kann man fordern, dass nur jeder zehnte Fisch, oder aber jeder Fisch zehnmals ablaichen muss, denn für beide Szenarien könnte die Rekrutenzahl mehr als ausreichend sein. Die Anzahl der Rekruten ist hauptsächlich von den gerade vorherrschenden Umweltbedingungen und nur in geringem Maße von der Laicherbiomasse abhängig und fluktuiert beträchtlich. Sie ist dann nicht ausreichend, wenn die Klagen über Rückwürfe verstummen. Derzeit wird der Vorsorgeansatz verwendet, um sicherzustellen, dass immer eine ausreichende oder eine darüber hinausgehende Zahl von Rekruten zur Verfügung steht. In diesem Kapitel geht es um den Vergleich von Bewirtschaftungsstrategien für den Fall, dass die Futtermenge nicht ausreicht, um eine Kohorte bis zum Maximalertrag pro Rekrut zu mästen. Vergleicht man das Management von Meeresgebieten mit dem Management von Aquakulturanlagen, stellt man folgendes fest: Wachstumsüberfischung im Meer wird seit langem als Problem angesehen und muss scheinbar unbedingt vermieden werden. Dagegen spielt die Nahrungsverfügbarkeit bisher kaum eine Rolle. In der Aquakultur ist es umgekehrt. Wachstumsüberfischung ist hier bedeutungslos, wogegen ein Hauptaugenmerk auf den Fütterungskosten liegt. Aquakulturanlagen versuchen Mastfisch mit einem möglichst geringen Futtereinsatz zu erzeugen und das bei möglichst geringen Futterkosten. Das gelingt nur, wenn der Fisch frühzeitig geerntet wird, denn das iFCR steigt mit der Körpermasse des Fisches (Abbildung 1C). Dies ist jedoch nur möglich, wenn die vom Ökosystem produzierte Nahrung durch einen ausreichend großen Fischbestand auch konsumiert werden kann. An dieser Stelle soll der Begriff Nahrungsüberfischung eingeführt werden. Mit einem frühen Erntezeitpunkt sinken die Laicherbiomasse und damit die Wahrscheinlichkeit, dass im Mittel eine ausreichende Zahl von

www.ficobe.de

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

Rekruten erzeugt wird. Von Nahrungsüberfischung sprechen wir deshalb dann, wenn der Bestand so stark abgefischt wird, dass ein Überangebot an Nahrung entsteht, welches der Dorsch niemals vollständig konsumieren kann. Nahrungsüberfischung würden wir in der Aquakultur Überfütterung nennen. Zunächst scheint es sinnvoll zu sein, Nahrungsproduktion und Nahrungsverbrauch in ein Gleichgewicht zu bringen. Das oberste Ziel muss immer sein, eine Mangelernährung des Bestandes zu vermeiden. Danach stehen sich zwei Strategien gegenüber. Zum Ersten können starke Jahrgänge zu Nahrungsmangel führen. Man kann dann die Kohorte abernten, wenn das Futter verbraucht ist, indem man kleinere Maschen zum Fischen verwendet. Dies führt dazu, dass genügend Futter zur Verfügung steht, ist aber mit Fängen verbunden, die in Bezug auf die Sortierung nicht attraktiv sind (Abbildung 1F). Zum Zweiten können schwache Jahrgänge zu Nahrungsüberschuss führen. Durch die Verwendung einer größeren Maschenöffnung kann nun der Bestand länger gemästet und das überschüssige Futter verbraucht werden. Für die Planung der Änderungen ist ausreichend Zeit vorhanden, denn die Anzahl der Rekruten ist immer weit vor dem ersten Fangalter bekannt.

Die Reduktion der Anzahl der Rekruten auf die erforderliche Anzahl kann jedoch auch künstlich herbeigeführt werden. Ein großer Anteil von kleinem Fisch wird derzeit im normalen Fangprozess mitgefangen und wird, wenn der Fisch das Mindestmaß nicht erreicht, gleich wieder über Bord geworfen, oder aber an Land entsorgt. Dieses Vorgehen bei der Rekrutenreduktion macht nicht viel Sinn und erzürnt zudem die Umweltorganisationen. Würden überschüssige Rekruten reduziert, bevor sie große Mengen Futter gefressen haben, stände den verbleibenden Rekruten mehr Futter zur Verfügung und höhere Erträge wären möglich. Die Industriefischerei könnte die Rekruten auf eine Anzahl reduzieren, die später ohne Nahrungsmangel auf die gewünschte Endmasse gemästet werden kann. Wird der einfache Vorsorgeansatz um die Rekrutenreduktion erweitert, sollten wir vom erweiterten Vorsorgeansatz sprechen und auch explizit zum Ausdruck bringen, dass eine Rekrutenreduktion notwendig ist, wenn das Futter nicht ausreicht. Wenn der Ertrag Maximalertrag nach dem Beverton und Holt-Ansatz wegen Futtermangel nicht erreichbar ist, hinaus stellt sich nun die Frage, ist es sinnvoller wenige Rekruten auf eine große Endmasse zu bringen, oder ist es besser eine größere Rekrutenzahl zu mästen und bei einer geringeren Endmasse abzuernten. Hier helfen ökonomische Abschätzungen weiter, denn ein Maximalertrag pro aufgewendeter Futtermenge muss nicht zwangsläufig zu einem ökonomisch sinnvollen Ergebnis führen.

### Ökosystemansatz und Erlös

Ziel der Fischerei, auch wenn anderes häufig vermutet und gesagt wird, ist immer die quotenbezogene Gewinnmaximierung und nicht die Ertragsmaximierung. Das heißt, wir müssen den Einfluss von Futterkosten einführen. Aquakulturanlagen versuchen Mastfisch mit einem möglichst geringen Futtereinsatz zu erzeugen und das bei möglichst geringen Futterkosten. Welche Rolle spielen die Futterkosten in der Fischerei? An dieser Stelle wird der Einwand erwartet, dass Fischer den Dorsch nicht füttern müssen. Ist das Futter kostenlos? Dem ist jedoch nicht so, denn zumindest für den Anteil an Fisch in der Dorschnahrung gibt es eine alternative Nutzung, nämlich eine Fischerei auf Sprotte und Hering. Die Dorschfischer mästen den Dorsch und bezahlen das verwendete Futter im Wesentlichen mit den optionalen Einnahmen der Herings- und Sprottenfischer. Ökonomen legen für knappe Ressourcen sogenannte Schattenpreise fest, wenn sich keine Preise im Marktgeschehen ermitteln lassen. Futter hat also immer einen Preis. Die Futterkosten ergeben sich in diesem Fall aus der Nahrungszusammensetzung. Das Futter für den Dorsch besteht hauptsächlich aus vier Komponenten (Huwer et al., 2014). Das Verhältnis zwischen den Komponenten ändert sich mit der

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

erreichten Körpermasse (Abbildung 1D). Junger Dorsch ernährt sich zunächst von Benthos und später zusätzlich von der Baltischen Riesenassel (*Saduria entomon*). Nimmt die Körpermasse des Dorsch weiter zu, erhöht sich im Anschluss der Anteil der Fische an der Nahrung. Die Änderungen der Verhältnisse zwischen den Nahrungskomponenten verändern auch den Gesamtpreis des Futters (Abbildung 1E). Den Futterkosten müssen den Verkaufserlösen von Dorsch gegenübergestellt werden. Die mittleren Dorschpreise pro kg der einzelnen Sortierungen (BLE, 2018) werden in Abbildung 1F dargestellt. Es scheint zunächst lohnenswert zu sein, den Fang der hochpreisigen Sortierung II und III anzustreben. Man braucht dazu jedoch mehr Futter. Aus dem augenblicklichen Futterverwertungsverhältnis iFCR (Abbildung 1C) und dem masseabhängigen Futterkosten/Sortenpreis-Verhältnis lässt sich das ökonomische Futterverwertungsverhältnis eFCR (Abbildung 1G) berechnen (Bethke, 2019b). Dies Verhältnis sagt aus, wieviel Futterkosten pro Erlös für gemästeten Dorsch aufgewendet werden müssen.

Wieviel Futter ist nun vorhanden und welches Befischungsmuster kann gewählt werden? Seit 2019 gibt es wieder eine analytische Bestandsberechnung (Barz, K et al. 2019). Der ICES (2019) ermittelte unter Verwendung von Fangdaten und zwei unabhängigen wissenschaftlichen Forschungsreisen für weitere Rechnungen verwendbare Parameter. Da der Bestand hungert, kann eine Nahrungsüberfischung ausgeschlossen werden und aus den gegebenen Parametern die verfügbare assimilierbare Futterbiomasse berechnet werden (Bethke, 2019b). Ziel dieser Arbeit ist, das Befischungsmuster so zu wählen, dass aus der berechneten Futterbiomasse der größte Gesamterlös durch die Fischerei auf Dorsch und auf Futterfisch generiert wird.

### Ergebnisse

Die Überlegungen können wie folgt zusammengefasst werden: Tritt, wie es in der östlichen Ostsee der Fall ist Nahrungsmangel auf, ist Kümmerwachstum die unmittelbare Folge (siehe Abbildung 2.1.16. des aktuellen Berichtes des ICES (2019)). Der Bestand muss ausreichend versorgt werden, damit er produktiv bleibt und konsumierte Nahrung nicht vorwiegend für den Grundumsatz verwendet wird. Nur die über den Grundumsatz hinausgehende Nahrung wird für das Wachstum verwendet. Abbildung 1A zeigt den Verlauf der Bestandszahlen als Funktion der Körpermasse eines Dorsch. Es kann abgelesen werden, dass durch das geringere Wachstum die natürliche Sterblichkeit länger auf den Bestand einwirkt, bis eine bestimmte Fangmasse erreicht ist. Der Nachteil, der durch ein schlechtes Wachstum bezüglich der Population entsteht wird mit steigender Körpermasse des Fisches stetig größer. Vergleicht man in Abbildung 1 die schwarzen Kurven (ARF<sub>max</sub>: Nahrungsüberschuss) mit den grauen Kurven (ARF<sub>min</sub>: Nahrungsmangel) zeigt sich dieser Sachverhalt gleichermaßen in den Abbildungen 1A - 1C. Den Maximalertrag pro Rekrut (Abbildung 1B) erhält man, wenn man im Biomassemaximum die gesamte Kohorte möglichst zügig abfischt ( $F \rightarrow \infty \text{ Jahre}^{-1}$ ). Das Biomassemaximum der Kohorte entsteht je nach vorgefundener Nahrungsverfügbarkeit bei unterschiedlichen Körpermassen des Fisches  $m_{B\&H}$ . Will man den Maximalertrag pro Rekrut erzielen, muss man die Maschenöffnung dem anpassen. Der Dorsch muss, wenn man dem B&H-Modell strikt folgt, bei einer Körpermasse von 11.46 kg für Nahrungsüberschuss (ARF<sub>max</sub>) und bei 6.26 kg für Nahrungsmangel (ARF<sub>min</sub>) abgefischt werden. Im ersten Fall wäre eine Maschenöffnung von etwa 30 cm und im zweiten Fall eine Maschenöffnung von 24 cm zu verwenden (Es wurde ein Selektionsfaktor von SF = 3,5 zugrunde gelegt). Wie aus Abbildung 1B ersichtlich, wächst die Kohortenbiomasse im Maximum nicht mehr. Berechnet man nun das aus der Aquakultur



## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

bekannte augenblickliche Futtermittelverwertungsverhältnis (iFCR), stellen wir fest, dass im Biomassemaximum das iFCR gegen Unendlich strebt (Abbildung 1C). Das iFCR und der Bestandswirkungsgrad (Bethke, 2017) drücken in etwa den gleichen Sachverhalt aus, jedoch invers. Der Bestandswirkungsgrad ist der Biomassezuwachs pro assimilierter Futtermenge und nicht pro aufgewendeter konsumierter Futtermenge. Damit wird dieser Parameter unabhängig von der Futterzusammensetzung und lässt sich bei variierender Futterzusammensetzung mathematisch leichter handhaben. Mit jedem Schritt in Richtung Maximum der Kohortenbiomasse wird der Futterbedarf, der zur Produktion des nächsten Kilogramms der Kohortenbiomasse immer größer. An dem Punkt an dem das iFCR unendlich wird ist der Bestandswirkungsgrad  $\eta_{\text{Stock}} = 0$ . Ab diesem Punkt ist die Bestandsentwicklung negativ, obwohl gefüttert wird - das Futter wird verschwendet. Abbildung 1D zeigt die Futterzusammensetzung für Dorsch in der Ostsee (Huwer et al., 2014). Je größer der Dorsch wird, umso größer wird auch der Anteil von Fisch in der Nahrung. Damit steigt auch der Preis des Futters (Abbildung 1E). Bei den Berechnungen wurde zugrunde gelegt, dass eine Hälfte des Fisches aus marktfähigem Fisch, die andere Hälfte jedoch aus preiswertem Futterfisch besteht. Abbildung 1F zeigt die Preise für die Handelsklassen des Dorsches (BLE, 2018). Aus den Ergebnissen, die in den Abbildungen 1C, 1E und 1F dargestellt werden, lässt sich das augenblickliche ökonomische Futtermittelverwertungsverhältnis (eFCR) berechnen (Abbildungen 1G). Im Bereich  $eFCR < 1$  handelt man ökonomisch sinnvoll. Der Einsatz des Futters bewirkt bei der Dorschfischerei mehr Gewinn, als der Verlust den die Herings- und Sprottenfischer durch den Verzicht auf Futterfisch erleiden. Nach Abbildung 1G muss der Dorsch mit einer Körpermasse von etwa  $m_{\text{max}} = 1$  kg zügig abgefischt werden. Man müsste hierfür eine Maschenöffnung von etwa 13 cm verwenden und eine hohe fischereiliche Sterblichkeit ( $F \rightarrow \infty \text{ y}^{-1}$ ). Wählt man aus ökonomischen Gründen eine geringere fischereiliche Sterblichkeit  $F$ , so muss die Maschenöffnung entsprechend verringert werden. Für  $eFCR = 1$  sind die aufgewendeten Futterkosten genauso groß, wie der hierdurch erreichte Zuwachs an Erlös. Im Bereich  $eFCR > 1$  macht man Verluste, das Futter ist teurer als der Erlöszuwachs. Hier wäre es ökonomisch sinnvoller, den Futterfisch den Herings- und Sprottenfischer als Fang zu überlassen.

Berechnungen (Bethke, 2019b) ermöglichen die Gegenüberstellung von drei MSY-Befischungsmuster bei üblichen natürlichen Sterblichkeiten ( $M = 0,2 \text{ Jahre}^{-1}$ ) für einen Bestand, bei dem das Wachstum des Dorsches, weder durch erhöhten Parasitenbefall ( $K_M = 0,31 \text{ Jahre}^{-1}$ ) noch durch Nahrungsmangel ( $ARF_{\text{max}} = 1,15 \text{ Jahre}^{-1}$ ) behindert wurde.

	ARF [ $\text{Jahre}^{-1}$ ]	F [ $\text{Jahre}^{-1}$ ]	$m_{50}$ [kg]	i [cm]	$B_F$ [kg/R]	$B_A$ [kg/R]	$\eta_{\text{Stock}}$	FCR
MSY-Muster	1,15	1000	11,5	30	<b>2,53</b>	<b>8,56</b>	0,277	35,1
Muster 0,4	1,15	0,4	7,4	26	<b>2,36</b>	<b>9,07</b>	0,243	40,0
Muster 0,1	1,15	0,1	3,3	19	<b>1,66</b>	<b>11,51</b>	0,131	74,2

Tabelle 1: Gegenüberstellung von MSY-Befischungsmustern für einen Dorschbestand ohne Nahrungsmangel ( $ARF = 1,15 \text{ Jahre}^{-1}$ ), ohne erhöhten Parasitenbefall ( $K_M = 0,31 \text{ Jahre}^{-1}$ ) und mit üblicher natürlicher Sterblichkeit ( $M = 0,20 \text{ Jahre}^{-1}$ ).

Den in Tabelle 1 gezeigten Parameter und Ergebnissen für ideale Bedingungen stellen wir nun die gegenwärtigen realen Bedingungen in der Ostsee gegenüber. Der Bestand weist jetzt durch die Unternutzung einen massiven Nahrungsmangel ( $ARF = 0,776 \text{ Jahre}^{-1}$ ), einen erhöhten Grundumsatz durch Parasitenbefall ( $K_M = 0,45 \text{ Jahre}^{-1}$ ) und eine ungewöhnlich hohe natürliche Sterblichkeit ( $M = 0,69 \text{ Jahre}^{-1}$ ) auf. Die verfügbare Nahrung reicht offensichtlich nicht aus, um den Bestand mit

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

dem gegenwärtig verwendeten Befischungsmuster erfolgreich zu befischen. Der negative Bestandswirkungsgrad  $\eta_{\text{Stock}}$  und das negative FCR signalisieren (Tabelle 2), dass trotz Futterverbrauchs, die zu Beginn der Betrachtungen bestehende Rekruten-Bestandsbiomasse langsam aufgezehrt wird. Nahrungsüberfischung liegt in diesem Fall sicher nicht vor. Aus diesem Grund kann dieses Befischungsmuster als Mess-Muster verwendet werden, um die verfügbare assimilierbare Nahrungsmenge zu Berechnen. Berechnen wir das adäquate MSY-Befischungsmuster für den Satz von Eingangsparametern, stellen wir fest, dass, auch wenn sich nichts an der hohen Grundbedarfsrate ( $K_M = 0,45 \text{ Jahre}^{-1}$ ) und der ungewöhnlich hohen natürlichen Sterblichkeit ( $M = 0,69 \text{ Jahre}^{-1}$ ) ändert, der Bestand nicht hungern würde. Die erforderliche assimilierbare Nahrungsmenge ist nur etwa halb so groß, wie die vom Ökosystem bereitgestellte, verfügbare Nahrungsmenge. Ein normales Wachstum würde sich einstellen. Es wird nun ein alternatives Bewirtschaftungs-Muster gesucht und vorgeschlagen, welches eine ökonomisch mögliche fischereiliche Sterblichkeit mit einer Maschenöffnung kombiniert, so dass ein Gleichgewicht zwischen Futterproduktion des Ökosystems und Futterverbrauch entsteht. Vergleicht man, bei einem identischen Nahrungsangebot die jetzigen Erträge mit den zu erwartenden Erträgen, stellt man fest, dass erheblich höhere Erträge generiert werden könnten. Der zu erwartende Ertrag pro Rekrut ist jedoch nur etwa ein Zehntel so groß, wie der MSY-Ertrag, der bei unbegrenzter Futterverfügbarkeit erreicht werden würde (Tabelle 1).

	ARF [ $\text{Jahre}^{-1}$ ]	F [ $\text{Jahre}^{-1}$ ]	$m_{50}$ [kg]	i [cm]	$B_F$ [kg/R]	$B_A$ [kg/R]	$\eta_{\text{Stock}}$	FCR
Mess-Muster	0,776	0,21	0,570	11	<b>0,029</b>	<b>0,40</b>	-0,031	-309
MSY-Muster	0,776	1000	0,314	9	<b>0,088</b>	<b>0,20</b>	0,232	42,0
Expl.-Muster	1,15	1,15	0,225	8	<b>0,240</b>	<b>0,40</b>	0,260	37,5

Tabelle 2: Vergleich des MSY- und des aktuellen Befischungsmusters für einen Dorschbestand mit einem massiven Nahrungsmangel ( $\text{ARF} = 0,78 \text{ Jahre}^{-1}$ ) und einem vorgeschlagenen Befischungsmusters für eine ausreichende Nahrungsverfügbarkeit ( $\text{ARF} = 1,15 \text{ Jahre}^{-1}$ ). In allen drei Fällen wird angenommen, dass der Parasitenbefall und damit die erhöhte Grundbedarfsrate ( $K_M = 0,45 \text{ Jahre}^{-1}$ ) und die ungewöhnlich hohe natürliche Sterblichkeit ( $M = 0,69 \text{ Jahre}^{-1}$ ) gleichbleiben.

Auf den ersten Blick erstaunlich ist, dass der Bestandswirkungsgrad  $\eta_{\text{Stock}}$  und das FCR etwa gleich groß sind (Tabelle 1, Zeile 1 vs Tabelle 2, Zeile 3). Dies wird dadurch verursacht, dass in Tabelle 2 von einer erhöhten Grundbedarfsrate und einer ungewöhnlich hohen natürlichen Sterblichkeit ausgegangen wird. Es wird viel Fisch gefüttert, der aber nicht gefangen werden kann, weil er natürlichen Feinden zum Opfer fällt. Durch die starke Befischung mit kleinen Maschen (siehe vorgeschlagenes Befischungsmuster) wurde lediglich der Nahrungsmangel behoben. Die Parameter, Grundumsatz und natürliche Sterblichkeit blieben bei den Berechnungen jedoch konstant. Hieraus ergibt sich ein Hegeauftrag für das Management: Grundumsatz und natürliche Sterblichkeit müssen wieder gesenkt werden.

Um die gefangenen Sortierungen aus der gegebenen Nahrungsverfügbarkeit in einen preislich attraktiven Bereich zu bringen, muss die Anzahl der Rekruten, bevor sie Unmengen an Futter verzehrt haben, reduziert werden. Tabelle 3 stellt drei Fälle gegenüber. Die mittlere Rekrutenzahl wird auf die Hälfte, ein Drittel und letztendlich auf ein Viertel abgesenkt. Dies hat zur Folge, dass die Futtermenge pro Rekrut verdoppelt, verdreifacht oder vervierfacht wird. Eine Mast auf eine höhere Endmasse wird möglich. Vergleicht man die Ergebnisse, ist ersichtlich, dass in allen drei Fällen der Bestandswirkungsgrad und das Futterverwertungsverhältnis in etwa konstant bleiben. Die bisherig

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

verwendete Kenngröße Ertrag pro Rekrut nach dem Beverton und Holt-Modell verliert weitgehend seine Aussagekraft.

	ARF [Jahre <sup>-1</sup> ]	F [Jahre <sup>-1</sup> ]	m <sub>50</sub> [kg]	i [cm]	B <sub>F</sub> [kg/R]	B <sub>A</sub> [kg/R]	η <sub>Stock</sub>	FCR
1:2-Muster	1,15	1,0	<b>0,225</b>	8	0,615	0,80	<b>0,58</b>	<b>16,8</b>
1:3-Muster	1,15	1,0	<b>0,450</b>	10,2	0,829	1,20	<b>0,565</b>	<b>17,2</b>
1:4-Muster	1,15	1,0	<b>0,717</b>	11,9	1,024	1,60	<b>0,546</b>	<b>17,8</b>

Tabelle 3: Befischungsmuster für eine Rekrutenreduktion vor der Mast für einen Dorschbestand ohne Nahrungsmangel (ARF = 1,15 Jahre<sup>-1</sup>), ohne erhöhten Parasitenbefall (K<sub>M</sub> = 0,31 Jahre<sup>-1</sup>) und mit üblicher natürlicher Sterblichkeit (M = 0,20 Jahre<sup>-1</sup>).

An dieser Stelle muss noch erwähnt werden, dass die Rekruten eine Anfangsmasse haben, die beim Ertrag dazuzählt, bei der Berechnung des Nahrungsbedarfes, aber keine Rolle spielt. Dies ist in der Aquakultur auch so üblich. Es wird mit der Summation erst beim Erreichen des Rekrutierungsalters begonnen. Vergleicht man das FCR für erhöhten Parasitenbefall und hohe natürliche Mortalität (Tabelle 2, Zeile 3) mit den Werten in Tabelle 3, so stellt man im letzteren Fall fest, dass die Futtermenge, die für die Produktion von 1 kg Kabeljaufleisch benötigt wird, nur halb so hoch ist.

## Diskussion

### Prinzipielles

Die Produktion von Ökosystemen unterteilt man in aufbauende (primäre) Produktion und abbauende (sekundäre) Produktion. Es kann dabei nur abgebaut werden, was vorher auch aufgebaut wurde. Die Fischerei gehört zur abbauenden Produktion und ist ein gleichberechtigter Teil des Gesamtökosystems. Die Aufgabe der Fischerei ist es, einen Teil der produzierten Biomasse für die menschliche Ernährung bereitzustellen. Dabei ist die Fischerei bestrebt, den Gewinn zu maximieren und die durch das Ökosystem bereitgestellten Gegebenheiten möglichst geschickt auszunutzen. Das Fischereimanagement soll dies ermöglichen, ist dabei aber auch dafür verantwortlich, dass keine irreversiblen Schäden am Ökosystem verursacht werden. Bisher geht man bei unklarer Datenlage davon aus, dass es besser ist, den betrachteten Bestand zu schützen, als ihn versehentlich zu überfischen. Managementziel war bisher immer das Erreichen des maximalen Dauerertrages. Die Berechnungen ergeben, dass man den Dorschbestand mit absurd hohen Maschenöffnungen befischen müsste, um dieses Ziel zu erreichen. Hätte man dies jemals tatsächlich versucht, wäre klar geworden, dass das Futter niemals ausreicht eine durchschnittliche Rekrutenzahl auf die erforderliche Endmasse zu mästen. Die theoretische Annahme, dass eine heutige Bestandsschonung zu einer MSY-Erträgen in der Zukunft führt, konnte durch die Fänge der Fischer in der Praxis deshalb nie bestätigt werden. Dies führte zu einem Dauerstreit zwischen Forschern und Fischern.

Ertragsverluste entstehen durch Übernutzung, aber auch durch Unternutzung der Fischbestände (Bethke 2013a). Eine Unternutzung von Beständen führt zu einer Unterversorgung mit Nahrung. Der Bestand wird unproduktiv, das Wachstum geht zurück und die Erträge sinken. Bei einer Übernutzung des Bestandes sinken die Erträge auch, jedoch kann das überschüssige Futter verkauft werden. Diese Zusammenhänge sind in der Landwirtschaft, wo sich Zusammenhänge leicht beobachten lassen, tiefverwurzeltes Wissen. Auch in der Landwirtschaft orientiert man sich für strategische Überlegungen an erzielten Erträgen in der Vergangenheit. Für die Ableitung des unmittelbaren Vorgehens spielen jedoch historische Ergebnisse keine Rolle. Kurzfristig geht es immer darum, möglichst ein Gleichgewicht zwischen Futterproduktion und Futterverbrauch herzustellen. Die [www.ficobe.de](http://www.ficobe.de)

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

Nahrungsüberfischung kann durch ein Ansteigen des Futterfischbestandes festgestellt werden. Eine Unternutzung eines Bestandes ist messbar durch die Bestimmung der Wachstumsraten mittels biologischer Untersuchungen basierend auf der Alterslesung. Noch zuverlässiger lassen sich Wachstumsraten jedoch über Markierungsexperimente bestimmen. Die oben dargestellten Ergebnisse lassen sich erreichen, wenn die Nahrungsverfügbarkeit in den üblichen Grenzen schwankt. Dies ist in der östlichen Ostsee derzeit nicht der Fall. Der Dorsch ist mit Nahrung massiv unterversorgt.

### Das kanadische Beispiel

Welchen Ausgang eine beständige Unternutzung nehmen kann, kann in Kanada studiert werden (Lilly, 2001; Bethke, 2011). Der Zusammenbruch des Kabeljaubestandes vor Neufundland verlief nach dem gleichen Muster ab. Der Kabeljaubestand hungerte dort vor dem Zusammenbruch bereits fünf Jahre und hungerte noch weitere zwei Jahre nach der Schließung der Fischerei. Den Platz der Fischerei in der Nahrungskette haben nach und nach Robben eingenommen. Robben verursachen Ertragsverluste durch Fraß, aber auch dadurch, dass sie als Wirte an den Lebenszyklen von Parasiten teilnehmen und dadurch die Reduktion des Kabeljauwachstums befördern. Der Bestand hat sich seit dem Zusammenbruch im Jahre 1992 noch nicht wieder erholt. Ein hoher Parasitenbefall und eine hohe natürliche Sterblichkeit sorgt dafür, dass dies auch so bleibt (Trzcinski et al. 2006)).

### Derzeitige Herangehensweise

Nahrungsverfügbarkeit spielt bisher eine untergeordnete Rolle. Vergleichen wir die erforderliche assimilierbare Nahrungsmenge für verschiedene MSY-Befischungsmuster (Tabelle 1:  $B_A \approx 10$  kg) mit den tatsächlich gemessenen Ergebnissen (Tabelle 2:  $B_A \approx 0,4$  kg), stellen wir fest, dass, statt der tatsächlich vorhandenen Nahrungsmenge, etwa die 25-fache Nahrungsmenge für die Erreichung der Ziele mit den beabsichtigten MSY-Befischungsmuster benötigt wird. Die verfügbare Nahrung reicht nicht näherungsweise aus, um das MSY-Ziel zu erreichen! Damit dies nicht sofort offensichtlich wird, fordert man anstatt der Verwendung einer großen Maschenöffnung in Kombination mit einer großen fischereilichen Sterblichkeit, die Verwendung einer kleinen Maschenöffnung in Kombination mit einer geringen fischereilichen Sterblichkeit. Vergleichen wir die Ergebnisse aus Tabelle 1, versucht man anstatt eines aussichtslosen Ansatzes, einen noch sinnloseren Ansatz zu wählen: Die notwendige assimilierbare Nahrungsmenge für einen geringeren Ertrag steigt von  $B_A = 8,6$  kg  $\rightarrow$   $B_A = 11,5$  kg. Man muss sich zwangsläufig mit weniger zufrieden geben! Es gab schon immer Zeiten mit guter und weniger guter Nahrungsverfügbarkeit und dementsprechend guten und weniger gute Erträgen. Das hier zur Berechnung benutzte Modell (Bethke, 2013a) gibt aus, dass der Maximalertrag pro Rekrut um etwa 45 % sinkt, wenn die Referenzassimilationsrate lediglich um 18 % sinkt ( $ARF_{max} \rightarrow ARF_{min}$ ). Ertragschwankungen durch eine schwankende Nahrungsverfügbarkeit sind also normal. Weiterhin zeigt dieses Modell (Bethke, 2013a), dass die Fischerei auf diesen Bestand unweigerlich zusammenbricht, wenn der Bestand unternutzt wird. Das Fischereimanagement ignoriert diesen Sachverhalt und verwendet das Ertragsmodell von Beverton und Holt (1957) stoisch weiter. Man versucht die Bestandsbiomasse an historischen Bestandsgrößen auszurichten (Barz, K et al. 2019) und ignoriert dabei die Futtermengeverfügbarkeit und missdeutet dabei die Ergebnisse von Beverton und Holt (1957). Prognosen für Bereiche, außerhalb des unmittelbaren untersuchten Bereiches, werden die zwangsläufig falsch, wenn sich bei Änderungen des Befischungsmusters auch die Nahrungsverfügbarkeit ändert. Im WGBFAS-Bericht des ICES (2019) sucht man derzeit vergebens nach Angaben über  $F_{MSY}$ , der optimalen fischereilichen Sterblichkeit, welche die Erzielung des

www.ficobe.de

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

maximalen Dauerertrages ermöglichen soll. Es gibt für die Berechnung von  $F_{MSY}$  bisher kein schlüssiges Konzept. Erstaunlich, denn der Kampf gegen die Überfischung gehörte zu den Aufgaben, die sich der ICES bei seiner Gründung gestellt hat (Carus, 1902). Man behilft sich mit der Berechnung von  $F_{max}$  und verwendet den berechneten Wert dann als Proxy für  $F_{MSY}$ . Für die Berechnung von  $F_{max}$  wird das Ertragsmodell von Beverton und Holt (1957) verwendet. Wie wir aus oben gesagtem wissen, erreicht man den Maximalertrag pro Rekrut ( $B_{F_{max}}$ ) ausschließlich bei der Verwendung von  $F \rightarrow \infty \text{ Jahre}^{-1}$  und nicht, wie es der ICES (2011) darstellt, durch eine Absenkung der fischereilichen Sterblichkeit. So steht es auch explizit im Buch von Beverton und Holt (1957). Tatsächlich ist es so, dass  $B_{F_{max}}$  immer dann erzielt wird, wenn die gesamte bislang unbefischte Biomasse im Maximum ( $B_{max}$ ) abfischt wird. Die fischereiliche Sterblichkeit  $F$  kommt in der Gleichung bei der Berechnung von  $B_{max}$  und demnach auch bei der Berechnung von  $B_{F_{max}}$  gar nicht vor. Das Ertragsmodell von Beverton und Holt (1957) ist lediglich dazu geeignet den Ertragsverlust relativ zum Ertragsmaximum zu berechnen, falls man sich aus ökonomischen Gründen entschließt und eine kleinere fischereiliche Sterblichkeit wählt, um den Fischereiaufwand ökonomisch erträglichen zu halten. Ziel bleibt die Befischung nahe am Maximum. Ein Teil der Biomasse wird vor Erreichen des Maximums und der andere, etwa gleichgroße Teil, nach Erreichen des Biomassemaximums abgefischt. Dann und nur dann sind die Erträge wenigstens in der Nähe des Maximums. Verringert man die fischereiliche Sterblichkeit weiter, hat dies zur Folge, dass ein Teil des Bestandes wachstumsüberfischt wird und dass der andere Teil der Bestandsbiomasse Futter verbraucht, jedoch trotzdem immer kleiner wird. Aus Abbildung 1C ersehen wir, dass dieser Teil bereits einen negativen Bestandswirkungsgrad hat. Die Forderung nach immer geringeren fischereilichen Sterblichkeiten führte letztendlich den Dorschbestand in die Situation, in der er heute ist.

### Krisensituation und Antwort

Der Dorschbestand in der östlichen Ostsee befindet sich gegenwärtig in einer Ausnahmesituation. Der Bericht des ICES (2019) besagt, dass die Bestandsbiomasse von Dorsch in handelsüblicher Größe ( $\geq 35 \text{ cm}$ ) sich derzeit auf dem niedrigsten Stand seit den 1950er Jahren befindet. Die unterdurchschnittliche Kondition deutet darauf hin, dass der Fisch Hunger leidet und ein geringes Wachstum aufweist. Im Bericht des ICES (2019) wird weiterhin festgestellt, dass der Bestand derzeit eine niedrige Produktivität aufweist und voraussichtlich bis 2024 unter  $B_{lim}$  bleibt, auch wenn keine Fischerei betrieben wird. Die auf den Bestand stattfindende Fischerei zielt zwangsweise auf den verbliebenen mäßigen Fisch ( $\geq 35 \text{ cm}$ ) ab. Es wird befürchtet, dass dies die Bestandsstruktur weiter verschlechtert und das Reproduktionspotenzial verringert. Der Umfang der Fischerei (ICES 2019) ist gering, so dass die natürliche Sterblichkeit etwa dreimal so hoch ist, wie die fischereiliche Sterblichkeit. Stellen Sie sich nun für einen Moment vor, dass Sie ein Landwirt sind und Rinder auf einer Weide mästen. Die Anzahl der Rinder, die auf ihrer Weide aus natürlichen Gründen sterben ist etwa drei Mal so hoch, wie die Zahl der Rinder, die Sie zum Schlachthof fahren. Würden Sie von sich glauben, dass Sie ein guter Landwirt sind? Die etwas hilflos wirkende Schlussfolgerung der Fischereibiologen war, der Politik zu empfehlen ein Fangmoratorium auszusprechen: In das Beispiel übersetzt wurde vorgeschlagen, also gar keine Rinder mehr zu schlachten. Der ICES-Vorschlag zur Verhängung eines Moratoriums basiert mehr auf einer Vermutung als auf einer Berechnung. Wendet man, wie es der ICES sonst auch tut, das Ertragsmodell von Beverton und Holt (1957) konsequent an (Tabelle 2), ist ersichtlich, dass eine Verringerung der Maschenöffnung in Kombination mit einer hohen fischereilichen Sterblichkeit eine Antwort auf das gegenwärtige Problem wäre, natürlich bei Beachtung der Nahrungsverfügbarkeit. Welches der anstehenden Probleme soll durch ein

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

Moratorium gelöst werden? Kleinen Fisch gibt es in einer übergroßen Anzahl, denn es werden BMS-Fänge (below minimum reference size) in großem Umfang beklagt. Die Rekrutierung scheint gesichert zu sein. Unzweifelhaft richtig ist, dass der Dorsch in der östlichen Ostsee unzureichend mit Nahrung versorgt wird. Das wird von keiner Seite bestritten, denn der WGBFAS-Bericht des ICES (2019) gibt weiterhin an, dass die asymptotische Länge des Dorsches auf etwa die Hälfte zurückgegangen ist. Das Wachstum geht, zunächst unbemerkt, seit etwa dreißig Jahren kontinuierlich zurück. Dies spricht eindeutig dafür, dass der Bestand nicht überfischt, sondern unterfischt wird. Die Aufgabe wäre jetzt, die Ursachen des Ertragsrückganges zu bekämpfen und nicht den Bestand sich vollständig selbst zu überlassen. Wir erinnern uns, dass sich der kanadische Kabeljaubestand seit 1992 nicht wieder erholt hat. Warum sollte es in der Ostsee anders sein? Ein Moratorium ändert an keiner der genannten Ursachen etwas. Weder die Nahrungsverfügbarkeit verbessert sich, noch geht die Parasitierung oder die natürliche Sterblichkeit zurück.

Was muss geändert werden, um die Unterversorgung des Dorsches mit Nahrung zu beenden. Zufüttern kann man in der offenen See nicht. Die einzige Möglichkeit die Ernährungssituation zu verbessern ist die Bestandsreduktion. Man könnte nun mutmaßen, dass der ohnehin schon kleine Bestand nun noch kleiner wird. Der verbleibende Fisch hat danach jedoch mehr Futter zur Verfügung und das derzeit schlechte Wachstum wird wieder besser. Der Bestandsrückgang durch Fischerei wird zu einem großen Umfang durch besseres Wachstum kompensiert. Dies wurde in der Arbeit von Swingle and Smith (1942) gezeigt. Eine Biomasse, bestehend aus vielen, hungernden und deshalb unproduktiven kleinen Fischen wird in etwa in die gleiche Biomasse überführt, die wegen des schnellen Wachstums nun aus größeren Fischen besteht. Die Kompensation funktioniert nicht unbegrenzt. Ist die Zahl der Fische so gering, dass das vorhandene Futter nicht mehr konsumiert werden kann (Nahrungsüberfischung), findet keine Kompensation des Biomasseverlustes durch Fang mehr statt. Verursacht wird die dramatische Verringerung des Ertrages durch eine geringere Referenzassimilationsrate, sehr hohe natürliche Sterblichkeit und eine höhere Grundbedarfsrate, die vermutlich auf den Parasitenbefall zurückzuführen ist. Was sollte man also tun? Genau das, was jeder Angelerverband mit seinen verbütteten Gewässern auch machen würde. Eine intensive Hegefischerei wäre notwendig! Dazu muss jedoch das unsinnige gesetzlich vorgeschriebene Mindestmaß aufgehoben werden. Mit einem Mindestmaß versucht man bereits toten Fisch zu schützen; eine Mindestmaschenöffnung verhindert den Fang kleiner Fische bevor sie getötet werden. Die Steuerung der Fischerei, ausschließlich durch eine Mindestmaschenöffnung ist völlig ausreichend. Gleichzeitig stellt man sicher, dass mit der Hegefischerei, wenn möglich, Geld verdient werden kann und nicht der Steuerzahler für die Hege zur Kasse gebeten werden muss. Mit der Reduktion der Maschenöffnung von 11 cm auf 8 cm reduziert man die Masse beim ersten Fang von  $m_{50} = 0,570$  kg auf  $m_{50} = 0,220$  kg (Tabelle 2), bzw. die Länge beim ersten Fang von  $l_{50} = 38,5$  cm auf  $l_{50} = 28,0$  cm. An dieser Stelle soll daran erinnert werden, dass die Ostsee in der Vergangenheit (Madsen 2007) bereits über größere Zeiträume mit noch kleineren Maschen befischt wurde, ohne dass der Dorschbestand zusammengebrach.

Ein maximal nachhaltiger Ertrag klingt zunächst gut, aber kann man das Managementziel in der Praxis erreicht? Die klare Antwort ist nein! Der hierfür erforderliche Nahrungsbedarf kann durch das Ökosystem nicht bereitgestellt werden (Tabelle 1). Auch die Bewirtschaftung des afrikanischen Lake Kariba zeigt dies. Wie oben erläutert, ist es nicht sinnvoll das Wachstumspotential eines Fisches voll auszunutzen. Mit dem vorhandenen Futter kann etwa doppelt so viel Fisch, jedoch nur mit einer

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

geringeren Endmasse gemästet werden (Vergleiche FCR, Tabelle 1 und Tabelle 3). Alternativ kann überschüssiges Futter auch der Industriefischerei als Quote zur Verfügung gestellt werden. Hier sind die Ökonomen gefragt. Die Verhinderung der Nahrungsüberfischung ist das Kriterium der Wahl. Eine neue Aufgabe für die Fischereiforschung ist deshalb die stetige Überwachung des Wachstums der Fische. Die Ableitung von Quoten ist danach einfach. Geht das Wachstum zurück, fischt man mehr. Bleibt es konstant und steigt der Futterfischbestand, dann ermöglicht eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, die Einstellung eines neuen Gleichgewichts von Futterproduktion und Futtermittelverbrauch. Bevor der Nahrungsmangel nicht behoben ist, besteht jedoch keine Hoffnung auf eine ertragreiche Fischerei. Das hier verwendete Modell bildet die vorgefundene Tatsache in etwa richtig ab.

### Einordnung der Ergebnisse

Überfischung ist seit langem im Fokus der Fischereiforschung, die Mathematik zur Modellierung von verbütteten Beständen fehlt jedoch bisher. Hungernde Fische sind unproduktive Fische, denn nur der über den Grundbedarf hinausgehende Anteil der assimilierten Nahrung wird für das Wachstum eingesetzt. Folglich ist der Kampf gegen die Überfischung bereits dann gewonnen, wenn Fische hungern. Ein hungernder Bestand muss nicht weiter geschützt werden. Die von Froese and Proelß (2010) gestellte Frage „Wiederauffüllung der Fischbestände bis spätestens 2015 – wird Europa die Frist einhalten“? kann für den östlichen Ostseedorsch mit ja beantwortet werden. Das war vor dreißig Jahren schon der Fall.

Für die Erläuterungen wurde ein einfaches Gleichgewichtsmodell verwendet. Für die Anwendung in der Praxis sind jedoch dynamische Modelle erforderlich (Bethke, 2013b). Mit jedem Fisch der gefangen wird, erhöht sich unmittelbar die Nahrungsverfügbarkeit, der in der See verbleibenden Fische. Die Reduktion der Biomasse durch den Fang wird durch ein besseres Wachstum kompensiert, solange der Fisch hungert. Mit dem Einsetzen der Nahrungsüberfischung, geht jedoch die Bestandsbiomasse zurück. Die Berechnung eines entsprechenden Zeitverlaufes sollte Gegenstand eines neuen Projektes. Die Vorliegende Arbeit ist lediglich eine Diskussionsgrundlage und ausdrücklich kein anwendbares Verfahren.

Abschließend soll noch bemerkt werden, dass hier nicht die Mainstream-Meinung der Fischereiforschung vertreten wird. Die Ergebnisse vorausgegangener Arbeiten sind noch nicht peer-reviewed veröffentlicht, sie wurden aber bereits vom International Institute of Fisheries Economics & Trade (IIFET) verbreitet und zur Diskussion gestellt. Wegen der besonderen Relevanz und dem zeitlichen Bezug zur gegenwärtigen Situation des Dorschbestands in der östlichen Ostsee, soll diese Veröffentlichung hier zur Diskussion beitragen. Für Rückfragen und tätige Unterstützung stehe ich selbstverständlich zur Verfügung.

### Literatur

- Barz, K., Zimmerman, C. 2019. Fischbestände online (In Thünen-Institut für Ostseefischerei Rostock).
- Bethke, E. 2011. Reference-growth rate – a simple and handy parameter summarizing the influence of environmental conditions. Informationen aus der Fischereiforschung (Information on Fishery Research), 58: pp. 1-11.
- Bethke, E. 2013a. Beverton and Holt Reloaded—Incorporating Variable Growth into a Yield Per Recruit Model. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2310545>: 16 pp.

## Ertrags- und Einnahmeverluste bei Dorsch, Hering und Sprotte durch Unterfischung von Dorsch in der östlichen Ostsee.

- Bethke, E. 2013b. The Eco<sup>2</sup> Model – a Basic Bio-Economic Module Describing the Dynamics of the Cohort Biomass to Exploitation. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2309280>: 31 pp.
- Bethke, E. 2017. Overfishing as a legitimate management goal. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2963689>: 24 pp.
- Bethke, E. 2019a. Food Overfishing-The Cod Fishery in the Baltic Sea Through the Eyes of Aquaculture. Available at SSRN 3321855.
- Bethke, E. 2019b. The Missing Theoretical Part—Influence of the Stock Efficiency in Yield Maximization, Using Bluefin Tuna as an Example. Using Bluefin Tuna as an Example (February 25, 2019).
- Beverton, R. J. H., and Holt, S. J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Min Agric Fish and Food [Gt Brit] Fish Invest Ser li*, 19: 5-533.
- BLE 2018. Monatsbericht über die Fischerei und die Marktsituation für Fischereierzeugnisse in der Bundesrepublik Deutschland. *In Monatsberichte*. [https://www.ble.de/DE/Themen/Fischerei/Fischwirtschaft/fischwirtschaft\\_node.html](https://www.ble.de/DE/Themen/Fischerei/Fischwirtschaft/fischwirtschaft_node.html).
- Carus, P. V. 1902. II. Mittheilungen aus Museen, Instituten etc. *Zoologischer Anzeiger*: 1.
- Donaldson, William E.; Donaldson, Wayne K. (1992): A review of the history and justification for size limits in Alaskan king, Tanner, and snow crab fisheries: Alaska Department of Fish and Game, Division of Commercial Fisheries.
- Froese, R., and Proelß, A. 2010. Rebuilding fish stocks no later than 2015: will Europe meet the deadline? *Fish and Fisheries*, 11: 194-202.
- Gordon, H. S. 1953. An economic approach to the optimum utilization of fishery resources. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 10: 442-457.
- Huwer, B., Neuenfeldt, S., Rindorf, A., Andreassen, H., Levinsky, S.-E., Storr-Paulsen, M., Ross, S. D., et al. 2014. Study on stomach content of fish to support the assessment of good environmental status of marine food webs and the prediction of MSY after stock restoration.
- ICES 2011. Joint EU–Norway request on the evaluation of the long-term management plan for cod. In Report of the ICES Advisory Committee. ICES Advice 2011, Book 6, Section 6.3.3.3.
- ICES. 2019. Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group 2019 (WGBFAS). ICES Scientific Reports. 1:20. 661 pp.
- Khan, Rasul A. (2009): Parasites causing disease in wild and cultured fish in Newfoundland.
- Kolding, J., and van Zwieten, P. A. 2011. The tragedy of our legacy: how do global management discourses affect small scale fisheries in the south? *In Forum for development Studies*, pp. 267-297. Taylor & Francis.
- Lilly, G. 2001. Changes in size at age and condition of cod (*Gadus morhua*) off Labrador and eastern Newfoundland during 1978–2000. *ICES CM*, 15: 34.
- Lundgren, M., Karlsson, A., Tano, S., Fröcklin, S., Näslund, I., and Alm, A. 2019. The Fisheries Secretariat.
- Madsen, Niels (2007): Selectivity of fishing gears used in the Baltic Sea cod fishery. In: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 17 (4), S. 517–544.
- Schaefer, M. B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, Inter-American Tropical Tuna Commission.
- Swingle, H. S., and Smith, E. V. 1942. The Management of Ponds with Stunted Fish Populations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 71: 102-105.
- Trzcinski, M. Kurtis; Mohn, Robert; Bowen, W. Don (2006): Continued decline of an Atlantic cod population: how important is gray seal predation? In: *Ecological Applications* 16 (6), S. 2276–2292.
- von Bertalanffy, L. 1934. Untersuchungen ueber die Gesetzlichkeit des Wachstums. *Development Genes and Evolution*, 131: 613-652.