

# Begrenzung des Fischereiaufwandes oder Erhöhung der Mindestmaschenöffnung – Ein Vergleich der Alternativen bei der Dorschfischerei in der Ostsee

## Limitations of fishing effort or increase of mesh opening - A comparison of the alternatives for the cod fishery in the Baltic Sea

E. Bethke

Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Institut für Fischereitechnik und Fischereiökonomie, Palmallee 9, 22767 Hamburg, Germany  
eckhard.bethke@ifh.bfa-fisch.de

### Abstract

The basis for a long-term profitable fishery is a precautionary and environment-compatible use of fish stocks. The fishery management presently models the exploitation through the parameters of fishing mortality and the age at first capture. These two parameters are translated into the technical measures of fishing effort and mesh openings and quotas, which are then used in practice for controlling the fishery. Stock protection can be achieved by reducing the fishing effort, by assigning smaller quotas, by reducing the number of days at sea, or by increasing the mesh opening. The respective protection measures have different effects on the development of the stocks but also on the revenue obtained by the fishery. These alternatives have been examined taking as an example the cod stock in the western Baltic. The optimization goal was the maximization of profit observing at the same time the prerequisites for stock protection according to the precaution approach. For these calculations the same models and data have been used as are being used in the stock management of the ACFM of ICES. The response of altered technical measures to the recruitment of cod stock was considered, and a proposal to overcome overfishing of cod in the western Baltic Sea was derived.

### Kurzfassung

Für eine langfristig gewinnbringende Fischerei ist eine vorsorgende und umweltverträgliche Nutzung der Fischbestände Grundvoraussetzung. Das Fischereimanagement modelliert gegenwärtig die Nutzung über die fischereiliche Sterblichkeit und das Fangeintrittsalter. Diese beiden Parameter werden in die technischen Maßnahmen „Fischereiaufwand“, „Maschenöffnung“ und in „Fangquoten“ umgesetzt, die dann in der Praxis zur Steuerung der Fischerei benutzt werden. Der Schutz des Bestandes kann durch die Verringerung des Fischereiaufwandes, d. h. durch die Festlegung geringerer Fangquoten oder die Reduktion der Anzahl der Fangtage, aber auch durch die Erhöhung der Maschenöffnung erfolgen. Die jeweiligen Schutzmaßnahmen haben unterschiedliche Wirkungen auf die Bestandsentwicklung, aber auch auf den Erlös der Fischerei. Diese Alternativen wurden am Beispiel des Dorschbestandes in der westlichen Ostsee untersucht. Optimierungsziel war die Maximierung des Gewinnes bei gleichzeitiger Gewährleistung eines sicheren Bestandsschutzes nach dem Vorsorgeansatz. Für die Berechnungen wurden die gleichen Modelle und Daten wie für das Bestandsmanagement des ACFM des ICES verwendet. Die Rückwirkungen von geänderten technischen Maßnahmen auf die Rekrutierung des Bestandes wurden berücksichtigt und ein Lösungsvorschlag für das Überfischungsproblem für Dorsch in der westlichen Ostsee abgeleitet.

### Einleitung

Der Fischhandel ist ein weltweit operierender dynamischer Sektor der Ernährungswirtschaft. Fischpreise werden im Wesentlichen durch die Verfügbarkeit auf dem Weltmarkt bestimmt. Durch den Abbau der deutschen Fernfischerei sank der Anteil an diesem Markt in den vergangenen Jahren stetig. Die verbliebene Flotte mit ihren relativ kleinen Fangfahrzeugen ist deshalb auf stabile lokale Fischbestände angewiesen.

Die deutschen Fischer müssen im internationalen Wettbewerb bei Weltmarktpreisen mit den Erlösen aus den lokalen Fangmöglichkeiten bestehen können. Trotz großer Bemühungen gelang es nicht, Fischbestände vor Überfischung zu schützen, da die international festgelegten Schutzmaßnahmen nur unzureichend griffen. Die vorsorgende und umweltverträgliche Nutzung der Ressourcen ist jedoch eine Grundvoraussetzung für eine langfristig gewinnbringende Fischerei. Zur

Steuerung der Fischerei stehen dem internationalen Management die Parameter fischereiliche Sterblichkeit  $F$  und Fangenintrittsalter (age at first capture  $a_{fc}$ ) zur Verfügung. Aus diesen beiden Parametern leiten sich die technischen Maßnahmen „Maximaler Fischereiaufwand“ und „Mindestmaschenöffnung“ ab.

In einer früheren Veröffentlichung wurde ein relativ einfaches Modell für die Ertragsoptimierung der Fischerei (Bethke 2005) dargestellt bei dem davon ausgegangen wurde, dass geänderte technische Maßnahmen keine Rückwirkungen auf die Eingangsparameter des Modells haben. Bei geänderten technischen Maßnahmen verändern sich jedoch zwangsläufig die Eingangsparameter des Modells. In einem iterativen Prozess muss dann die gesamte Rechnung fortlaufend wiederholt werden, was wiederum zu geänderten technischen Maßnahmen führt, die es dann jeweils anzusteuern gilt.

Die hier vorgestellte Arbeit stellt eine Weiterentwicklung des vorhandenen Ansatzes dar. Im Gegensatz zu Bethke (2005) wird in der nun vorgestellten Arbeit der Einfluss der Bestandsgröße auf die Rekrutierung und die damit verbundenen Auswirkungen auf die technischen Maßnahmen berücksichtigt. Es wird gezeigt, dass die derzeit verwendeten technischen Maßnahmen zur Fangregulierung sehr weit von den noch unbekannten optimalen Maßnahmen entfernt liegen. Dadurch ist die Treffsicherheit bei der Vorhersage mit beiden Modellen gering. Während man sich bei dem ersten Modell schrittweise an die optimalen technischen Maßnahmen herantastet, werden jetzt genauere Vorhersagewerte für die endgültigen optimalen technischen Maßnahmen erwartet. Letztendlich sollten in der Nähe des optimalen Zustandes beide Modelle nahezu identische Ergebnisse zeigen. Als Beispiel für die Beschreibung des Modells wird wieder der Ostseedorsch verwendet, da er den weitestgrößten Ertrag in der Grundfischerei in der Ostsee liefert. Anfallender Beifang bei der Dorschfischerei (Flunder, Schellfisch) ist ökonomisch unbedeutend. Daher muss bei der Optimierung auf diese Arten keine Rücksicht genommen werden.

Der Internationale Rat für Meeresforschung (ICES) benutzt derzeit hauptsächlich die fischereiliche Sterblichkeit zur Steuerung der Fischerei innerhalb des Vorsorgeansatzes. Man geht davon aus, dass bei der Bewirtschaftung des Bestandes die aus historischen Daten ermittelte, minimal erforderliche Laicherbiomasse  $B_{lim}$  nicht unterschritten werden darf, wenn man keinen Bestandszusammenbruch riskieren will. Um Zusammenbrüche sicher zu vermeiden, sieht man wegen statistischer Unsicherheiten bei der Bestandsermittlung und großen natürlichen Schwankungen bei der Rekrutierung vorsorglich (deshalb Vorsorgeansatz) eine Pufferzone vor, die den Minimalwert auf die Vorsorge-Laicherbiomasse  $B_{pa}$  vergrößert. Für eine vorgegebene Maschenöffnung stellt

die Fischereiforschung  $F$ -Referenzwerte bereit, die dann vom Management in langfristige Bewirtschaftungspläne umgesetzt werden und verhindern sollen, dass die minimale Laicherbiomasse unterschritten wird.

Im Gegensatz zu den Berechnungen des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) wird in der vorliegenden Untersuchung nicht nur ein einziges erstes Fangalter und eine einzige Maschenöffnung zur Optimierung verwendet. Mit den gleichen Modellen und Daten, die für das Bestandsmanagement des ACFM des ICES werden, werden für einen Bereich des ersten Fangalters von zwei bis fünf Jahren (Maschenöffnung: 90 mm bis 170 mm) die langfristig möglichen Erträge errechnet. Damit ergibt sich ein Überblick über den Gesamtbereich der Möglichkeiten und ein Lösungsvorschlag für das Überfischungsproblem für Dorsch in der westlichen Ostsee.

## Datenbasis und Grundlagen

Für die optimale Bewirtschaftung eines Bestandes ist eine wissenschaftliche Begleitung und damit die Ermittlung von biologischen, fischereilichen und ökonomischen Parametern notwendig. Die Erfassung von biologischen und fischereilichen Daten erfolgt durch die Fischereiforschung im internationalen Rahmen. Der ICES koordiniert die nationalen Datensammelprogramme und stellt die ermittelten und zusammengefassten Daten den Anwendern zur Verfügung. Die hier verwendeten biologischen und fischereilichen Daten sind Mittelwerte aus den Jahren 1970 bis 2002 der ICES-Gebiete 22, 23 und 24 (ICES 2003). Hierbei ist zu beachten, dass ab 2002 rückwirkend die Rückwürfe (Discards) in die Berechnungen eingeflossen sind. Als Konsequenz daraus haben sich gegenüber früheren Berechnungen auch historische Daten zum Teil erheblich verändert. Die ebenfalls benötigten Selektionseigenschaften der verwendeten Steerte wurden verschiedenen internationalen Veröffentlichungen entnommen (Wileman 1992; Wileman et al. 1996; Wileman 1998). Daten über die Kostenstruktur der Kutterfischerei wurden aus einer EU-Studie abgeschätzt (Lasch 1996) und die für die Berechnungen notwendigen Fischpreise sind Mittelwerte aus den Frischfischberichten des Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 1989 – 2001).

Es wurden im Einzelnen folgende Daten zugrunde gelegt:

### Biologische Daten:

• $l_{\infty}$	Asymptotische Fischlänge	146 cm
• $m_{\infty}$	Asymptotische Fischmasse	36 kg
• $N_R$	Mittlere jährliche Anzahl der Rekruten	$105,8 \times 10^6$
• $k$	Wachstumskonstante (BLGF)	$0,1 \text{ Jahre}^{-1}$
• $M$	Natürliche Sterblichkeit	$0,2 \text{ Jahre}^{-1}$
• $a_M$	Mittleres Laichalter (50 % Reife)	2,68 Jahre

- $a_T$  Übergangszeit (25 % – 75 % Reife) 1,09 Jahre
- $S_{PKmed}$  Minimale Laicherbiomasse pro Rekrut 0,268 kg
- $S_{max}$  Maximale Laicherbiomasse  $116,8 \times 10^3$  t
- $a_R$  Rekrutierungsalter 1 Jahr

#### Fischereiliche Daten:

- $a_{fc}$  Mittleres erstes Fangalter 2,47 Jahre
- $F_P$  Mittlere fischereiliche Sterblichkeit  $1,18 \text{ Jahre}^{-1}$
- $S_F$  Selektionsfaktor 3,28

#### Ökonomische Daten:

- $p_c$  Gesamtkostenanteil des Aufwandes 25 %
- $V$  Mittlerer Fischpreis 1,29 €/kg

Während die biologischen und ökonomischen Daten einfach deutbar sind, sollen die fischereilichen Daten näher erläutert werden. Die benutzten Modelle sind zeitbasiert und verwenden eine idealisierte Selektionsfunktion, die knife-edge-Selektionsfunktion. Bei dieser Selektionsfunktion tritt der Dorsch übergangslos mit Fangeintrittsalter  $a_{fc}$  in die Fischerei ein. Es wird angenommen, dass er vor dem ersten Fangalter durch die Maschen schlüpfen kann, während er nach dem ersten Fangalter immer gefangen wird, wenn er in das Netz gerät. Ändert man nun, als eine technische Maßnahme die Maschenöffnung des Steertes, dann ändert man damit das erste Fangalter. Ein höheres Alter ermöglicht dem Jungfisch weiter heranzuwachsen, denn dieses korrespondiert über die von Bertalanffy-Wachstumsfunktion mit den entsprechenden Fischlängen und -massen. Die fischereiliche Sterblichkeit ist die zweite technische Maßnahme, die vom Management zur Steuerung der Fischerei benutzt wird. Was ist das nun? Durch die Befischung einer Altersgruppe wird ein Prozentsatz der Fische pro Zeiteinheit gefangen, während der restliche Anteil im Meer verbleibt. Mit dem Fortschreiten der Fischerei wird die Fischkonzentration immer niedriger, so dass trotz konstanter fischereilicher Sterblichkeit die Fänge immer geringer werden. Am anschaulichsten ist dies vergleichbar mit der Aufzehrung eines Geldbetrages durch Steuern. Übertragen auf dieses Beispiel bedeutet eine Sterblichkeit von  $0,2 \text{ Jahre}^{-1}$ , dass etwa 20 % des Betrages pro Jahr verbraucht werden. Im Folgejahr ist der verbrauchte Geldbetrag dann natürlich geringer, denn dann beziehen sich die 20 % auf den geringeren Betrag am Ende des Vorjahres. Die fischereiliche Sterblichkeit ist abhängig von der Effizienz der Flotte und ist bei konstanter Effizienz proportional dem Fischereiaufwand. Die fischereiliche Sterblichkeit ( $F$ ) ist ein wichtiges Kriterium für das Fischereimanagement und eine Überschreitung des Vorsorgereferenzpunktes  $F_{pa}$  führt zu Forderungen die fischereiliche Sterblichkeit mit technischen Maßnahmen, wie der Fangtageregelung, der Begrenzung der Flottengröße oder auch mit Gebiets-schließungen zu begrenzen. Dies hat oft gewaltige ökonomische Konsequenzen und verursacht tiefe Einschnitte in das Erwerbsleben der Fischer. Man verbindet jedoch damit die Hoffnung, dass durch weniger

Aufwand die Fischereiflotte auf diese Weise mittel- bis langfristig höhere Erträge erwirtschaften kann. Eine scheinbar attraktive Lösung, bei der Untätigkeit durch höhere Erträge belohnt wird. Aber wie verträgt sich dieser Ansatz mit der allgemeinen Lebenserfahrung und den alten deutschen Sprichwörtern „Ohne Fleiß kein Preis“, „Sich regen bringt Segen“ oder auch „Vor den Erfolg hat der liebe Gott den Schweiß gesetzt“? Diese Sprichwörter scheinen in der Fischerei nicht zu gelten, oder doch?

Im Folgenden werden nacheinander die drei grundlegenden und dennoch einfachen Gleichungen behandelt. Der an mathematischen Details interessierte Leser möge die Arbeit von Bethke (ASC 2005) durcharbeiten.

$$\begin{aligned} \text{Ertrag} &= \text{Ertrag pro Rekruten} \times \text{Anzahl der Rekruten} \\ \text{Erlös} &= \text{Ertrag} \times \text{Preis} \\ \text{Gewinn} &= \text{Erlös} - \text{Kosten} \end{aligned}$$

#### Zusammenhang zwischen Laicherbiomasse und Rekrutierung

Ein wesentlicher Grundpfeiler für die Stabilität von Beständen ist, dass ausreichend Nachwuchs (Rekruten) produziert wird. Für die Modellierung des Zusammenhanges von Laicherbestand und Rekrutierung wird das Konstruktionsmodell nachhaltiger Ertragskurven nach Shepherd (1982) verwendet (Abbildung 1). Das Beratungsgremium für das Fischereimanagement des ICES (Advisory Committee on Fishery Management – ACFM) geht dabei davon aus, dass die Anzahl der Rekruten eine Funktion der Laicherbiomasse ist, die der Rickerfunktion (Ricker 1954) gehorcht (Abbildung 1, blau). Deren Parameter werden im unteren Teil der Kurve (Punktwolke, Abbildung 1) durch Anpassung an historischen Daten gewonnen. Der Abfall des Funktionsverlaufes bei hohen Laicherbiomassen  $S$  kann nur vermutet werden, denn aus den vorliegenden Daten ist er nicht ableitbar. Der Zusammenhang zwischen Anzahl der Rekruten und Laicherbiomasse ist nur schwach, denn nur etwa 25 % der Schwankungen bei der Rekrutierung werden tatsächlich durch die Schwankungen der Laicherbiomasse erklärt. Einen weitaus größeren Einfluss haben bekanntlich die Umwelteinflüsse. Diese können jedoch nicht beeinflusst werden, so dass man nur die Möglichkeit hat, darauf zu achten, dass ein ausreichend großer Laicherbestand im Meer verbleibt. Wissend um den unsicheren und schwachen Zusammenhang werden die vom ACFM ermittelten Parameter der Rickerfunktion auch in dieser Arbeit verwendet. Sowohl die Rekrutierung als auch der Fischereiertrag sind damit Funktionen des ersten Fangalters und der fischereilichen Sterblichkeit und abhängig von den gewählten technischen Maßnahmen, der Maschenöffnung, die das erste Fangalter steuert, und dem Fischereiaufwand, zur Steuerung der fischereilichen Sterblichkeit. Die Laicherbiomasse ist nach der

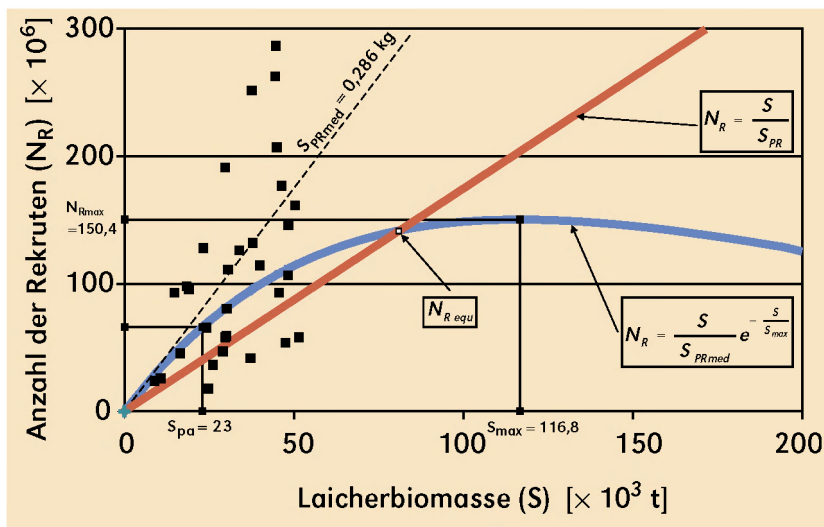


Abbildung 1: Rekrutierung  $N_{Requ}$  und Laicherbiomasse  $S$  im Gleichgewichtszustand für Ostseedorsch in Abhängigkeit von der Laicherbiomasse pro Rekrut  $S_{PR}$  – Konstruktionsmodell nachhaltiger Ertragskurven (Shepherd 1982).

Figure 1: Recruitment  $N_{Requ}$  and spawning-stock biomass  $S$  in the equilibrium for Baltic cod as a function of the spawning-stock biomass per recruit  $S_{PR}$  – construction model of sustainable yield curves (Shepherd 1982).

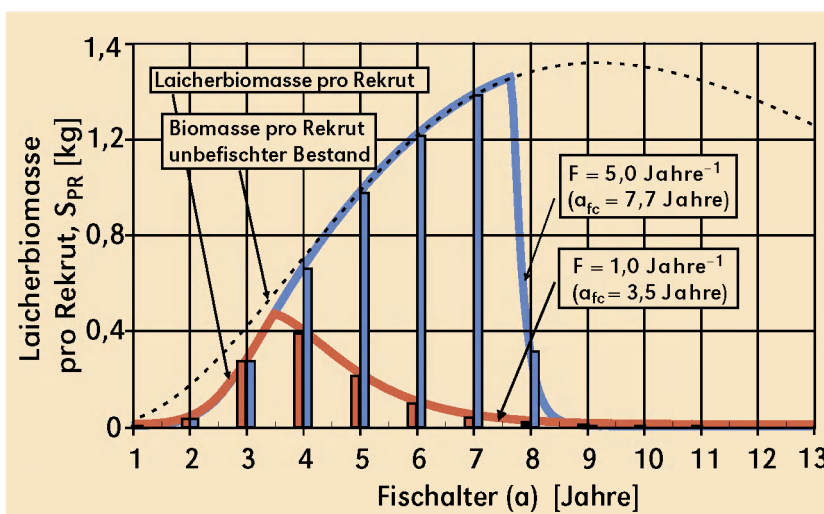


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Laicherbiomasse pro Rekrut  $S_{PR}$  als Funktion der fischereilichen Sterblichkeit  $F$  und des Fangeintrittsalter  $a_{fc}$ .

Figure 2: Time response of the spawning-stock biomass per recruit  $S_{PR}$  as a function of fishing mortality  $F$  and age at first capture  $a_{fc}$ .

Normierung auf die Anzahl der Rekruten bestandsunabhängig und bestimmt den Anstieg der Geraden,  $S_{PR}^{-1}$  (Abbildung 1, rot). Bei dem Shepherd-Modell geht nun man davon aus, dass sich bei einer Befischung mit langfristig konstanten technischen Maßnahmen ein Gleichgewichtszustand im Schnittpunkt der Geraden und der Rickerkurve einstellt. Da die Rickerkurve einen fest vorgegebenen Verlauf hat, ist nach dem Modell von Shepherd ausschließlich der Anstieg der Geraden,  $S_{PR}^{-1}$  und damit die Laicherbiomasse pro Rekrut für die Anzahl der produzierten Nachkommen maßgebend.

von 3,5 Jahren befishet und im zweiten Fall mit einer fischereilichen Sterblichkeit von  $F = 5 \text{ Jahre}^{-1}$  und einem Fangeintrittsalter von 7,7 Jahren. Gewöhnlich geht man davon aus, dass mit steigender fischereilichen Sterblichkeit die Laicherbiomasse pro Rekrut sinkt. Es ist jedoch so, dass ein erhöhter Fischereidruck leicht durch eine Erhöhung des Fangeintrittsalters kompensiert werden kann. Für die im ersten Fall des Beispiels gewählten Parameterpaare ist die Laicherbiomasse pro Rekrut trotz geringerer fischereilicher Sterblichkeit erheblich geringer, als bei der wesentlich größeren

Im statistischen Mittel wird im Gleichgewichtszustand im Schnittpunkt die Rekrutenzahl  $N_{Requ}$  produziert, wobei die einzelnen Realisierungen in der Regel deutlich davon abweichen. Mit der Virtuellen Populations-Analyse (VPA) kann der zeitliche Verlauf der Anzahl der Individuen  $N$  (normiert auf die Anzahl der Rekruten  $N_R$ ) modelliert werden. Betrachtet man zunächst einen unbefischten Bestand, existieren am Anfang sehr viele Individuen, die jedoch nur eine geringe Einzelfischmasse aufweisen. Die Anzahl der Fische nimmt durch die natürliche Sterblichkeit ab, während durch das Wachstum die Einzelfischmasse zunimmt. Multipliziert man den normierten Zeitverlauf der Individuenzahl mit der Fischmasse des entsprechenden Alters, erhält man die Biomasse pro Rekrut als Funktion des Alters (Abbildung 2). Erst mit einem höheren Alter wird der Dorsch laichreif, so dass nicht die gesamte Biomasse der Laicherbiomasse zuzurechnen ist. Mit einem Alter von 2,68 Jahren sind erst 50 % der Fische laichreif. Mit dem Einsetzen der Fischerei verringert sich die Laicherbiomasse pro Rekrut in Abhängigkeit von der fischereilichen Sterblichkeit und des Fangeintrittsalters. In einem theoretischen Beispiel für eine mittlere Rekrutierung werden in Abbildung 2 zwei Fälle dargestellt: Im ersten Fall wird ein Bestand mit einer fischereilichen Sterblichkeit von  $F = 1 \text{ Jahre}^{-1}$  und einem Fangeintrittsalter



fischereilichen Sterblichkeit im zweiten Fall, da hier das Fangeintrittsalter größer ist (vergleiche Abbildung 2: Summe der roten Balken ist kleiner als die Summe der blauen Balken). Der Einfluss beider technischer Maßnahmen auf die Anzahl der Rekruten (hier normiert auf die maximal erreichbare Anzahl von Rekruten  $N_{Rmax}$ ) als Funktion des ersten Fangalters (gesteuert durch die Maschenöffnung) und der fischereilichen Sterblichkeit (gesteuert durch den Fischereiaufwand) ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass man für jede fischereiliche Sterblichkeit die maximale Anzahl von Rekruten erreichen kann, wenn nur das Fangeintrittsalter geeignet ge-

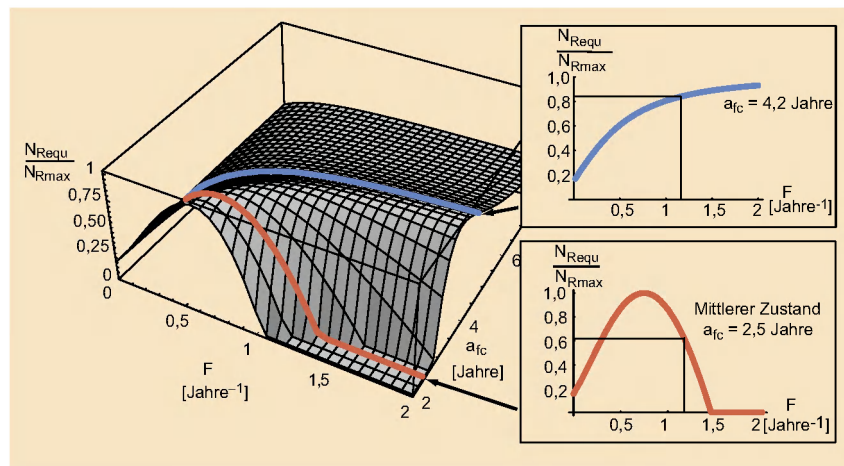


Abbildung 3: 3D-Plot der Rekrutierung (normiert auf die maximal erreichbare Anzahl  $N_{Rmax}$ ) als Funktion des Fangalters  $a_{fc}$  und der fischereilichen Sterblichkeit  $F$  für Dorsch in der westlichen Ostsee. Die Einzelgrafiken rechts zeigen Schnitte durch die 3D-Graphik bei zwei Fangaltersaltern (oben:  $a_{fc} = 4,2$  Jahre, unten  $a_{fc} = 2,5$  Jahre)

Figure 3: 3D-Plot of recruitment (normalized on the maximally attainable number of  $N_{Rmax}$ ) as a function of age at first capture  $a_{fc}$  and fishing mortality  $F$  for cod in the western Baltic Sea. The single diagrams at the right show cross sections of the 3D-plot with two initial ages at first capture (above:  $a_{fc} = 4,2$  years, down  $a_{fc} = 2,5$  years)

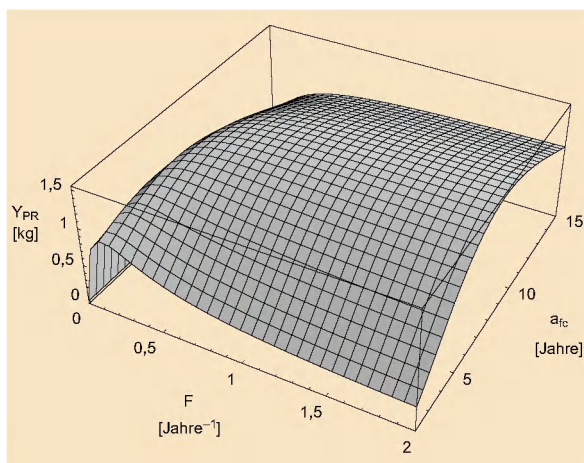


Abbildung 4: 3D-Plot des Ertrages pro Rekrut  $Y_{PR}$  als Funktion des Fangalters  $a_{fc}$  und der fischereilichen Sterblichkeit  $F$  für Dorsch in der westlichen Ostsee nach Beverton und Holt (1957).

Figure 4: 3D-Plot of the yield per recruit  $Y_{PR}$  as a function of age at first capture  $a_{fc}$  and fishing mortality  $F$  for cod in the western Baltic Sea according to Beverton and Holt (1957).

wählt wird. Hier wird deutlich, dass die viel zitierten „F-Referenzpunkte“ keine Punkte sondern Funktionen des ersten Fangalters sind und dass es neben den, aus den „F-Referenzpunkten“ abgeleiteten Forderungen des Managements sehr viele Alternativen gibt. Für das in Abbildung 3 gewählte erste Fangalter  $a_{fc} = 4,2$  Jahre verschwindet die zu unterschreitende fischereiliche Sterblichkeit nach dem Vorsorgeansatz im Unendlichen  $F_{pa} \rightarrow \infty$  Jahre<sup>-1</sup>. Das heißt, dass man zumindest theore-

tisch den Fischereiaufwand beliebig steigern kann ohne die Rekrutierung auch nur annähernd zu gefährden, denn es entkommen immer ausreichend viele Fische durch die großen Maschen.

## Ertrag in Abhängigkeit von technischen Maßnahmen

Das Beverton und Holt Ertragsmodell (1957) ermöglicht die Berechnung des Fischereiertrages pro Rekrut als Funktion des Fangalters ( $a_{fc}$ ) und der fischereilichen Sterblichkeit ( $F$ ) und ist in vielen Fachbüchern beschrieben. Das Modell basiert auf der Verwendung einer knife-edge-Selektionsfunktion und der Annahme einer konstanten fischereilichen und natürlichen Sterblichkeit für den betrachteten Zeitraum (siehe auch Bethke 2005). Dieses Modell ist eine anschauliche Vereinfachung des Thompson-und-Bell-Modells (1934) und kann für qualitative Untersuchungen herangezogen werden. Abbildung 4 zeigt den Fischereiertrag pro Rekrut als Funktion des ersten Fangalters ( $a_{fc}$ ) und der fischereilichen Sterblichkeit  $F$  nach Beverton und Holt. Der Ertrag (Yield,  $Y$ ) ist das Produkt aus Ertrag pro Rekrut  $Y_{PR}$  (Abbildung 4) und Anzahl der Rekruten  $N_R$  (Abbildung 3). Durch die Multiplikation der dreidimensionalen Funktionsverläufe erhält man den Ertrag als Funktion des ersten Fangalters ( $a_{fc}$ ) und der fischereilichen Sterblichkeit ( $F$ ) (Abbildung 5). Die erreichbaren Maximalerträge für ein bestimmtes erstes Fangalter bilden eine Maximalkontur  $F_{MSY}$  auf dem „Rücken des Gebirges“. Dadurch, dass in diesem Modell über die Rickerfunktion erwartete Rückwirkungen

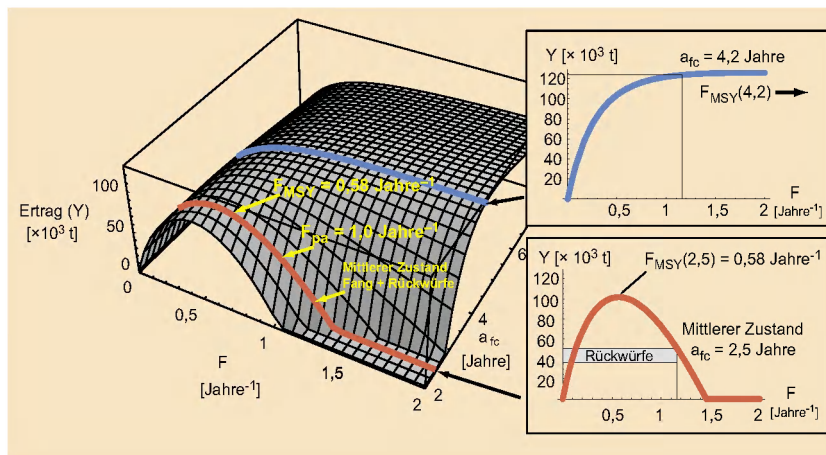


Abbildung 5: 3D-Plot des Ertrages  $Y$  als Funktion des Fangenintrittsalters  $a_{fc}$  und der fischereilichen Sterblichkeit  $F$  für Dorsch in der westlichen Ostsee – mittlerer und optimaler Befischungsmodus.

Figure 5: 3D-Plot of the yield  $Y$  as a function of age at first capture  $a_{fc}$  and fishing mortality  $F$  for cod in the western Baltic Sea – mean and optimal fishing mode.

mitberücksichtigt wurden, verschiebt sich die Kontur, die sich durch den Maximalertrag bei gegebenem ersten Fangalter ergibt gegenüber der Maximalkontur für den Ertrag pro Rekrut erheblich (vergleiche Abbildung 4 und Abbildung 5). Die Rückwirkungen verursachen eine sinkende Rekrutierung bei steigender Laicherbiomasse, weshalb die jeweiligen Maximalerträge bei einem geringerem ersten Fangalter erreicht werden. Die Berücksichtigung der Bestandsrückwirkungen ist der entscheidende Unterschied zur vorangegangenen Arbeit (Bethke 2005). Mit welchen technischen Maßnahmen erreicht man bei diesem Modell nun den Maximalertrag? Dieser wird bei einem optimalen Fangalter und einer sehr hohen fischereilichen Sterblichkeit erreicht und kann deshalb niemals durch Aufwandsbegrenzungen erreicht werden. Der maximale Dauerertrag ist auch hier kein sinnvolles ökonomisches Ziel, denn es macht ökonomisch keinen Sinn, (nach dem Motto „Manch einer verbrennt für drei Taler Licht, um einen Pfennig zu suchen“) den letzten fangreifen Fisch mit großem Aufwand aus dem Wasser zu filtern.

### Optimale technische Maßnahmen für den Ostseedorsch

Für ökonomische Betrachtungen ist der Erlös (Revenue  $R$ ) maßgebend, den man erhält, wenn man den Ertrag mit dem Preis der betreffenden Fischart multipliziert. Da in der Modellrechnung nur ein mittlerer Preis verwendet wird, ergibt sich gegenüber Abbildung 5 nur eine Maßstabsänderung. Für die Berechnung des Gewinns, sind die Kosten von den Erlösen zu subtrahieren (Abbildung 6). Da die Kosten und der Erlös für die gegenwärtigen Bedingungen bekannt sind, wird

die weitere Berechnung auf den aktuellen Fischereiaufwand bezogen. Der relative Aufwand  $E_{rel}$  (Aufwand normiert auf gegenwärtigen Aufwand) hat gleichermaßen Einfluss auf den Erlös wie auch auf die Kosten, wobei wir annehmen, dass die Aufwandskosten nicht vom ersten Fangalter (Maschengröße) abhängen. Typische Beispiele für Fixkosten sind Versicherungen, die Abschreibung des Kutters und, bei Kauf auf Kredit, die Zinsen und der Kreditabtrag

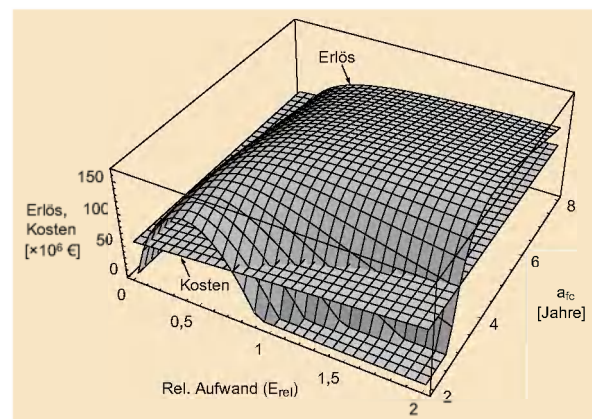


Abbildung 6: Erlös und Kosten als Funktion des Fangenintrittsalters  $a_{fc}$  und des relativen Fischereiaufwandes  $E_{rel}$  (normiert auf den mittleren Fischereiaufwand) für Dorsch in der westlichen Ostsee.

Figure 6: Revenue and costs as a function of age at first capture  $a_{fc}$  and relative fishing effort  $E_{rel}$  (normalized on the mean fishing effort) for cod in the western Baltic Sea.

für den Kutter. Beispiele für Aufwandskosten sind die Anteile von Lohn und Kraftstoff, die für das Schleppen aufgewendet wurden. Die derzeitige Kostenstruktur der deutschen Kutterflotte wurde von Lasch (1996) analysiert. Aus diesen Daten wurde abgeschätzt, dass bei jetzigem Fischereiaufwand etwa 25 % der Gesamtkosten dem Fischereiaufwand zuzuordnen sind. Demzufolge verbleiben dem Fischer etwa 75 % der Gesamtausgaben, auch wenn er nicht zum Fischen hinausfährt. Um die optimalen technischen Maßnahmen zur Erzielung des Maximalgewinns für die Fischerei auf Ostseedorsch aus einer Grafik leicht ablesen zu können, wird die Differenz aus Erlös und Kosten als Konturdiagramm dargestellt

(Abbildung 7). In der Abbildung sind zusätzlich zwei wichtige Referenzlinien eingezeichnet ( $F_{MSY}$ - und  $F_{pa}$ -Kontur). Die  $F_{MSY}$ -Kontur ist eine ökonomische Befischungsgrenze (Maximalkontur des Ertrages, siehe auch Abbildung 5), denn überschreitet man diese Sterblichkeitsgrenze, erzielt man wegen der Proportionalität zwischen Sterblichkeit und Aufwand mit höherem Fischereiaufwand geringere Erträge als mit einem geringeren Aufwand. Das macht ökonomisch natürlich keinen Sinn. Die  $F_{pa}$ -Kontur kennzeichnet die Maßnahmenpaare  $a_{fc}$  und  $E_{rel}$ , die im Gleichgewichtszustand die konstante Vorsorgelaicherbiomasse  $B_{pa}$  erzeugen und ist eine ökologische Überfischungsgrenze. Eine größere fischereiliche Sterblichkeit als  $F_{pa}$  führt zur Unterschreitung der Vorsorgelaicherbiomasse  $B_{pa}$  und damit zur Verletzung des Vorsorgeansatzes. Zurzeit sind beide, die ökonomische als auch die ökologische Befischungsgrenze überschritten. Wie aus Abbildung 7 ersichtlich, gewährleistet die ökonomische Befischungsgrenze ( $F_{MSY}$ -Kontur) einen zuverlässigeren Bestandsschutz als der Vorsorgeansatz ( $F_{pa}$ -Kontur) und durch die Verwendung optimaler technischer Maßnahmen wird erwartungsgemäß keine der beiden Grenzen überschritten. Die Modellierung ergibt für die optimale Befischung des Dorsches in der Ostsee ein Fangeintrittsalter  $a_{fc} = 4,13$  Jahren bei einer fischereilichen Sterblichkeit von  $F = 1,06 \text{ Jahre}^{-1}$  ( $E_{rel} = 0,897 \text{ Jahre}^{-1}$ ). Der Ertrag ist hier nur geringfügig niedriger als der erreichbare Maximalertrag. Für das dargestellte Beispiel sind die Aufwandskosten ( $F_p = 1,18 \text{ Jahre}^{-1}$ ) etwa gleich groß wie bei der jetzigen Dorschfischerei, aber das Fangeintrittsalter ist nahezu doppelt so groß.

### Bestandsschutz beim Übergang in den Optimalbereich

Wie schafft man nun den Übergang von den jetzigen zu den optimalen technischen Maßnahmen? Im Gegensatz zu den vorherigen Modellen wird für diese Berechnungen eine reale Selektionsfunktion in dem Thompson-und-Bell-Modell (1934) verwendet. Als Ausgangssituation wird ein mittlerer Bestand mit mittlerer Rekrutierung im Gleichgewichtszustand angenommen und man geht davon aus, dass wieder nur mit Schleppnetzen gefischt wird. Eingangsparameter

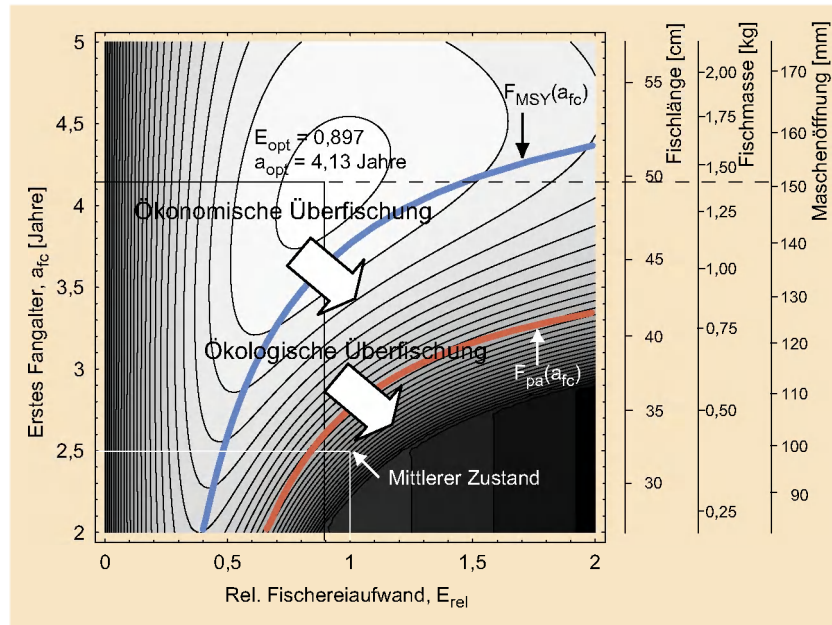


Abbildung 7: Konturplot des Gewinns als Funktion des Fangeintrittsalters  $a_{fc}$  und des relativen Fischereiaufwandes  $E_{rel}$  (normiert auf den mittleren Fischereiaufwand) für Dorsch in der westlichen Ostsee.

Figure 7: Contour plot of the profit as a function of age at first capture  $a_{fc}$  and relative fishing effort  $E_{rel}$  (normalized on the mean fishing effort) for cod in the western Baltic Sea.

sind jetzt mittlere Parameter der letzten drei Jahre und der Betrachtungszeitraum beginnt mit der Laichzeit. Aus Abbildung 8 (grün) ist ersichtlich, dass während des Sommerfangverbotes die Laicherbiomasse ansteigt, aber während der restlichen Zeit des Jahres absinkt. Da es sich hier um einen Gleichgewichtszustand handelt, ist die Laicherbiomasse am Anfang und am Ende des betrachteten Zeitraums gleich groß. Für den Übergang zu den optimalen technischen Maßnahmen werden im ersten Schritt alle bisherigen Schonmaßnahmen, durch eine Heraufsetzung der Mindestmaschenöffnung ersetzt. Das zweimonatige Sommerfangverbot entfällt damit und die Mindestanlandelänge von 38 cm wird durch eine Anlandelänge von 35 cm ersetzt. Die Fischer werden nun nicht mehr gezwungen, kleinen Fisch in erheblichem Umfang über Bord zu werfen. Die Heraufsetzung des ersten Fangalters von jetzt 2,70 Jahre auf 3,40 Jahre durch die Maschenvergrößerung wurde so gewählt, dass am Jahresende genauso viel Dorsch gefangen wird wie ohne Änderung der Managementmaßnahmen. Ziel war es den Übergang zum optimalen Befischungsmodus so zu gestalten, dass den Fischern keine Fangeinbußen entstehen. Die Änderungen haben zur Folge (Abbildung 8 blau), dass die Laicherbiomasse steigt und die Discards zu einem großen Teil vermieden werden, da kleiner Fisch in erheblich geringerem Umfang gefangen wird. Der zweite Schritt bei der Erhöhung des ersten Fangalters fällt kleiner aus, da keine Schutzmaßnahmen mehr ausgetauscht werden können. Die Heraufsetzung des ersten Fangalters von 3,40 Jahre auf 3,85 Jahre wurde



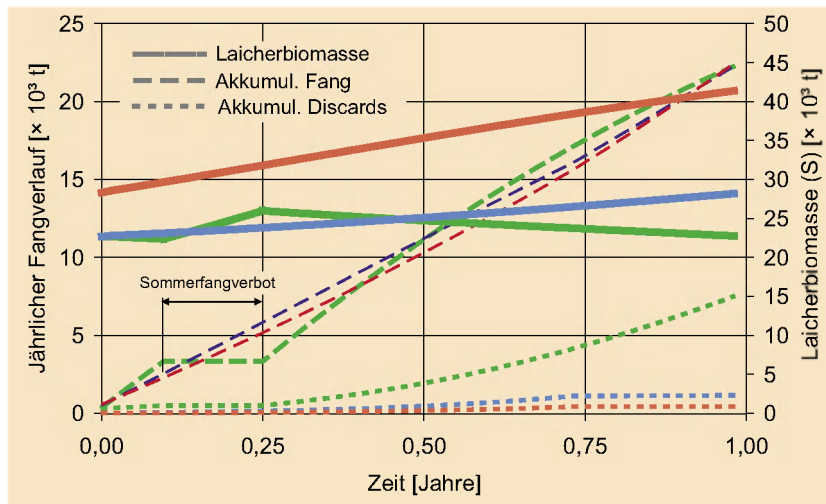


Abbildung 8: Bei mittlerer Rekrutierung kann ohne Fangseinbußen innerhalb von zwei Jahren das ökologische Überfischungsproblem bei Ostseeadorsch gelöst werden. (Der betrachtete Zeitraum beginnt mit der Laichzeit am 1. 5. und stellt den Jahresverlauf von drei aufeinander folgenden Jahren dar. Die Farbe codiert das Jahr, die Linienart den Parameter: Ausgangszustand (grün):  $a_{fc} = 2,70$  Jahre, erster Schritt (blau):  $a_{fc} = 3,40$  Jahre, zweiter Schritt (rot):  $a_{fc} = 3,85$  Jahre).

Figure 8: Assuming a mean recruitment the problem of ecological overfishing can be solved for Baltic cod without losses in yield within two years (the regarded period starts with the spawning time at 1st May. and represents the variation in time of three sequential years. The color codes the year, the line type the parameter: Initial situation (green):  $a_{fc} = 2.70$  years, first step (blue):  $a_{fc} = 3.40$  years, second step (red):  $a_{fc} = 3.85$  years).

wiederum so gewählt, dass keine Fangseinbußen hinzunehmen sind (Abbildung 8 rot). Es wird deutlich, dass dadurch die Discards noch geringer sind. Der wesentliche Vorteil aber ist, dass sich die Laicherbiomasse nach zwei Jahren fast verdoppelt hat und, wird weiterhin mit einem ersten Fangalter von 3,85 Jahren gefischt, der Bestand nach dem Vorsorgeansatz zuverlässig und unabhängig von der Höhe der fischereilichen Sterblichkeit vor ökologischer Überfischung geschützt ist. Das ökonomische Überfischungsproblem ist damit aber noch nicht gelöst (Abbildung 7). Bei optimalem Fischereiaufwand ist eine weitere Erhöhung des ersten Fangalters notwendig ( $a_{opt} = 4,13$  Jahre).

## Diskussion

Ein gemeinsames Ziel der Fischer und Fischereiforscher ist die zuverlässige Verhinderung von Bestandszusammenbrüchen, denn diese haben katastrophale Folgen für das Ökosystem aber auch für die Ökonomie der Fischereibetriebe. Im internationalen Wettbewerb sehen sich diese Betriebe mit globalen Preisen konfrontiert, die nur mit den lokalen Fangmöglichkeiten realisiert werden können. Daraus ergibt sich der Zwang zur Effektivität, aber auch die Notwendigkeit, die lokalen Bestände produktiv zu halten. Wenn ein Fischer hohe Raten für den auf Kredit gekauften Kutter zahlen muss ist er zwangsläufig an einer langfristigen Sicherung des Einkommens interessiert. Argumente, dass die Fischer

nur an kurzfristigen Lösungen interessiert sind, sind deshalb wenig plausibel. Bei der Frage, wie der Bestandsschutz erreicht werden soll, gibt es dennoch bedeutende Unterschiede zwischen Fischern und Fischereiforschern. Zum Ziel der Fischereiforschung wurde mit der Einführung des Vorsorgeansatzes als Grundlage für die Berechnung der technischen Maßnahmen lediglich der ökologische Bestandsschutz. Wie gezeigt wurde (siehe auch Bethke 2005a), gibt es hier viele Möglichkeiten eine Überfischung zu verhindern (Abbildung 7), durch Verminderung der fischereilichen Sterblichkeit aber durch die Erhöhung des ersten Fangalters. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Überwachung der Schutzmaßnahmen jedoch am einfachsten ist, wenn zum Schutz vor ökologischer Überfischung der Fischereiaufwand zur Ver-

ringerung der fischereilichen Sterblichkeit begrenzt wird. Die hierzu festgelegten Fangtageregeln haben in der Vergangenheit jedoch häufig nicht den erwünschten Erfolg gebracht. Deshalb geht man jetzt dazu über, Gebiete einfach zeitweilig oder dauerhaft zu sperren. Aus der Sicht der Fischer ist ein Schutz vor ökologischer Überfischung jedoch nicht ausreichend, denn durch die Bewirtschaftung nach dem Vorsorgeansatz werden die Bestände auf einem dauerhaft niedrigem Niveau gehalten. Die Laicherbiomasse ist dabei eben gerade so hoch, dass die Rekrutierung ausreicht, einen Zusammenbruch des Bestandes mit großer Sicherheit zu verhindern. Die Produktivität des Gewässers wird dabei nicht annähernd ausgenutzt. Darum geht es jedoch bei der Bewirtschaftung nach ökonomischen Kriterien und deshalb um die Frage, wie viel Fisch kann ich mit der vorhandenen Nahrung zur Fangreife bringen. Bei optimaler Bewirtschaftung muss nach derzeitiger Modell- und Datenlage die Laicherbiomasse von 18 300 t (ICES 2003) auf 168000 t steigen. Das ist etwa das Neunfache und das Siebenfache der Vorsorge-Laicherbiomasse! Bei der gewinnoptimierten Bewirtschaftung muss das Wachstum der Fische beobachtet und danach die Fischerei gesteuert werden; die Biomasse ist ausreichend klein zu halten, damit durch einen Überbestand nicht die Rekrutierung durch Kannibalismus verringert und das Wachstum durch Nahrungskonkurrenz der Fische behindert werden (Abbildung 3). Die Rekrutierung zu



sichern, damit der Bestand nicht zusammenbricht, ist für die Hauptfischart überhaupt nicht relevant, denn die Mindestvoraussetzungen nach dem Vorsorgeansatz sind automatisch gesichert, wenn die ökonomische Überfischungsgrenze nicht überschritten wird. Hier wird deutlich, dass die alten Sprichwörter auch in der Fischerei gelten, denn wird das Fangeintrittsalter geeignet gewählt, steigen mit dem Fischereiaufwand (und mit steigender fischereilicher Sterblichkeit) die Anzahl der Rekruten (Abbildung 3) und auch der Ertrag (Abbildung 5). Mit optimalen technischen Maßnahmen ( $F = 1,05 \text{ Jahre}^{-1}$ , Maschenöffnung  $i = 150 \text{ mm}$  bei  $S_F = 3,28$ ) kann man nach der aktuellen Modell- und Datenlage mehr als den doppelten Ertrag erzielen. Außerdem wird mit einer ersten Fangmasse  $m_{fc} = 1,4 \text{ kg}$  eine hochpreisigere Sortierung gefangen (Abbildung 7). Dies könnte in der Summe zu einer Steigerung des Erlöses auf etwa das Dreifache führen. Es gäbe dann keinen Grund mehr, den Fischereiaufwand durch komplizierte Aufwandsregelungen zu begrenzen, denn der wird bei höher werdendem Aufwand durch geringer werdende Einheitsfänge betriebswirtschaftlich begrenzt. Bei einer kleinen Maschenöffnung erreicht man mit der Verringerung der fischereilichen Sterblichkeit, dass wenigstens ein Teil der Fische zur Fang- und Laichreife heranwachsen kann. Durch die Erhöhung der Maschenöffnung erreicht man jedoch, dass unabhängig vom Fischereiaufwand ein größerer Anteil der Fische fang- und geschlechtsreif wird. Das Ziel ist beide Male das gleiche, es wird durch die Erhöhung des ersten Fangalters nur zuverlässiger erreicht. Die Fischereiökonomie schränkt die möglichen Schutzmaßnahmen ein, denn nur wenige ökologisch sinnvolle technische Maßnahmen sind gleichermaßen ökonomisch sinnvoll und damit auch politisch durchsetzbar. Die Verringerung des Fischereiaufwandes ist unpopulär, weil unsozial. Um ökonomisch sinnvoll zu fischen, müsste der Fischereiaufwand etwa auf die Hälfte gesenkt werden, womit viele Fischer ihre Arbeit verlieren würden. Mit der Erhöhung des Fangeintrittsalters erzielt man fast den theoretisch möglichen Maximalertrag und der Fischereiaufwand könnte etwa konstant bleiben. Bei geeigneter Wahl der Schrittweite hin zu größeren Maschen, sind von den Fischern noch nicht einmal Fangeinbußen hinzunehmen. Eine solche Regelung ist sicher leichter durchzusetzen, als die Verringerung des Fischereiaufwandes. Um Variantenrechnungen für die entsprechenden Seegebiete durchzuführen, müssen die von der Fischereiforschung bearbeiteten Probleme bewertet, zusammengefasst und mathematisch modelliert werden. Durch die Beschränkung der internationalen Fischereiforschung auf ökologischen Bestandsschutz entstand eine strukturelle Lücke, die noch nicht geschlossen ist und dazu führte, dass ökonomische Aspekte in die Bestandsbewirtschaftung der einzelnen Seegebiete kaum noch einfließen. Hierdurch wurde der derzeitige beklagenswerte Zustand vieler

Fischereien verursacht. Dieses Problem soll nun durch die neu eingerichteten regionalen Beiräte (RAC – Regional Advisory Council) gelöst werden. Die Regionalisierung des Managements ist sinnvoll, einmal um regionale Gegebenheiten berücksichtigen zu können, aber auch um betriebswirtschaftliche Daten und die Kenntnisse und Erfahrungen der Fischer über den praktischen Fischereibetrieb einfließen zu lassen. Mit einer Mitarbeit in den RACs behalten die Fischer Einfluss auf die gefundenen Lösungswege für das Überfischungsproblem und können dafür sorgen, dass betriebswirtschaftlich sinnvolle Lösungen gefunden werden.

Abschließend noch ein Vergleich der gewonnenen Ergebnissen mit denen aus der Veröffentlichung (Bethke 2005) zum gleichen Thema aber ohne Systemrückwirkungen. Hier wurde eine optimale Maschenweite von 240 mm ermittelt. Diese unterscheidet sich beträchtlich von der in dieser Arbeit ermittelten Maschenweite von 150 mm. Aber um es klar zu sagen, beide Ergebnisse sind mit großer Sicherheit falsch, die 150 mm etwas weniger als die 240 mm etwas mehr, nicht aber die gefundene Zielrichtung. Bei der Berechnung der Ergebnisse erforderten die Modelle eine Extrapolation der Funktionen weit über die derzeit durch Daten abgedeckten Bereiche hinaus. Wie sich das Ökosystem wirklich verhält, wenn der optimale Gleichgewichtszustand erreicht ist, ist völlig offen. Das Ergebnis der Arbeit ist deshalb nur die Ableitung des nächsten kleinen Schrittes in die aufgezeigte Richtung, nicht aber das Endziel, denn immer nur der nächste kleine Schritt lässt sich durch die weitere Beobachtung des Ökosystems relativ sicher prognostizieren. Gezeigt wurde, dass aus ökonomischen Gründen die Erhöhung des ersten Fangalters und damit die Erhöhung der Maschenöffnung allen anderen Schutzmaßnahmen vorzuziehen ist.

### Zitierte Literatur:

- Bethke, E., 2005: Gewinnmaximierung der Fischerei schützt den Dorsch der westlichen Ostsee vor Überfischung – Nur ein theoretischer Ansatz? *Inf. Fischereiforsch.* 52, 12–20
- Bethke, E., 2005: A rebuilding and recovery plan for Baltic ground-fish stocks by long-term profit maximization. ICES Coun. Meet. Pap./W 15. 18 pp.
- Beverton, R. J. H., Holt, S. J., 1957: On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Fisheries Investment Series 2, Vol. 19, London: Ministry of Agriculture and Fisheries. 533 pp.
- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung), 1989 – 2001: Frischfischbericht. [www.ble.de/fisch/fiwirt\\_f.htm](http://www.ble.de/fisch/fiwirt_f.htm)
- ICES, 2003: Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group. ICES Coun. Meet. Pap./ACFM 21: 97–154.
- Lasch, R., 1996: Measurement of Economic Impacts of Fishery Management Decisions – Model-based Approaches in Specific

Fleet Sectors. Study – FAIR-CT 96/1454, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Germany. 191 pp.

Ricker, W. E., 1954: Stock and recruitment. J. Fish. Res. Bd Can., (191):382 pp.

Shepherd, J.G., 1982: A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries and the construction of sustainable yield curves. J. Cons. Int. Explor. Mer, 40(1): 67–75.

Thompson, W.F.; Bell, F.H. 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery. 2. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. Rep. Int. Fish. (Pacific Halibut) Comm., (8).

Wileman, D.A., 1992: Codend Selectivity: Updated review of available Data, Commission of the European Communities. Directorate General for Fisheries, Study Contract No. 1991/15.

Wileman, D.A.; Ferro, R. S. T.; Fonteyne, R.; Millar, R. B., 1996: Manual of Methods of Measuring the Selectivity of Towed Fishing Gears. ICES Cooperative Res. Rep. No. 215.

Wileman, D.A., 1998: Gear selectivity estimates for Danish Baltic and Kattegat fleets. Danmarks Fiskeriundersøgelser, Charlottenlund, DFU Rreport no. 51-98: 27 pp.