

FISCHEREITECHNIK

Ist die Steigerung des dauerhaften Fischereiertrages durch Maschengrößenoptimierung möglich?

Eckhard Bethke, Institut für Fischereitechnik und Fischqualität

Ziel der Bewirtschaftung eines Fischbestandes ist die Maximierung des Fischereiertrages. Modelle für die Ertragsoptimierung gibt es seit langer Zeit. Sie werden bisher hauptsächlich dazu genutzt, die fischereiliche Sterblichkeit zu optimieren. Mit dem gleichen Modell lässt sich aber auch der Fangzeitpunkt über die Maschenöffnung optimieren. Passt man die Maschenöffnung an die fischereiliche Sterblichkeit an, wird ersichtlich, dass der Fischereiertrag mit dem Fischereiaufwand steigt. Ausgehend vom heutigen Zustand lässt sich der Fischereiertrag durch die Optimierung der Maschenöffnung langfristig beträchtlich steigern. Ein weiterer Vorteil der Maschenvergrößerung ist die Erhöhung der Wachstumsdauer, mit der eine Steigerung der Laicherbiomasse einhergeht. Der Fisch hat damit die Möglichkeit in seinem Leben mehrfach zu laichen, für Nachwuchs zu sorgen und somit Fangsteigerungen in der Zukunft zu ermöglichen. Außerdem erzielen größere Fische meist bessere Preise.

Die Bewirtschaftung eines Fischbestandes hat zum Ziel, den Fischereiertrag aus dem Bestand zu maximieren. Obwohl Ansätze für die Lösung dieses Problems seit langem bekannt sind, wurde das Problem in der Fischerei noch nicht zufriedenstellend gelöst. Ein entsprechendes Modell für die Ertragsoptimierung ist das Modell nach Thompson und Bell aus dem Jahre 1934. Aber auch das Beverton-und-Holt-Ertragsmodell ist für qualitative Untersuchungen geeignet. Es ist eine Vereinfachung des Thompson-und-Bell-Modells und wurde im Jahre 1957 veröffentlicht. Bisher unternommene Schritte die Fischereierträge zu steigern und die Überfischung der Fischbestände zu verhindern waren die Verringerung der fischereilichen Sterblichkeit durch Begrenzung der Einsatzzeiten der Schiffe oder die Verkleinerung der Fischereiflotte und die Vergabe von Fangquoten. Die Maschenweite wurde bisher meist so gewählt, dass die Fische mindestens einmal am Laichprozess teilnehmen können. Es stellt sich sofort die Frage, warum sie nicht mehrmals am Laichprozess teilnehmen sollten, aber auch, ob dies wirklich ein geeignetes Kriterium zur Festlegung der Maschengröße ist. Je später die Fische gefangen werden, um so größer ist die Laicherbiomasse und damit die Wahrscheinlichkeit, dass ausreichend Nachwuchs erzeugt wird. Der Lösungsansatz zur Optimierung des Fangzeitpunktes und damit zur Optimierung der Maschengröße steckt in den Ertragsmodellen.

Is it possible to increase the sustainable yield of fishery by optimising of the mesh opening ?

The management of a fish aimed at maximising the fishing yield of the managed fish stock. There are models for the yield optimisation since long time. They are used so far mainly to optimise the fishing mortality. Starting point of this paper is a number of fish of an age group of a fish stock. This age group is accompanied over its lifetime. A result of the investigations is that the term growth overfishing is linked not as frequently assumed exclusive with a too large fishing mortality, but likewise with a mismatch of the mesh opening. The investigations show that the fishing yield increases with the fishing effort on condition that fishing is carried out with an optimised mesh opening. For the calculated example Baltic cod data are used. At present the cod is caught far before reaching the yield optimum. Now the fish is substantially too small when it is caught and did not reach its optimal mass at this time. Therefore the sustainable fishing yield could be increased considerably by the optimisation of the mesh opening. During the conversion from the state of the art to fishing with optimised mesh sizes, however, a loss of profit has to be expected. A further advantage of the mesh enlargement is an increase of the spawning stock size accompanying with it, since the fish is caught at a later age. By the use of substantially larger mesh openings the cod has the opportunity to spawn several times and generate descendants and this will also lead to an increased yield in future. In addition better prices could be obtained at the market by catching larger cod.

Dieses soll anhand des Ertragsmodells von Beverton und Holt gezeigt werden.

Hierbei wird vorausgesetzt, dass der Bestand ausschließlich mit Schleppnetzen befischt wird. Ausgangspunkt der Betrachtung ist eine Altersgruppe des Bestandes. Die hierfür erzielten Ergebnisse können später auf alle anderen Altersgruppen übertragen werden, da man davon ausgehen kann, dass die Beeinflussung zwischen den Altersgruppen gering ist. Diese Altersgruppe wird über ihre Lebenszeit begleitet. Eingangsgrößen bei der Optimierung der Maschenöffnung sind die fischereiliche und natürliche Sterblichkeit, die Selektionsparameter des Netzes sowie die Wachstumsparameter der von-Bertalanffy-Funktion. In diesem Beitrag soll am Beispiel des Dorsches der westlichen Ostsee die Frage beantwortet werden, wie die Maschenöffnung und damit die Wachstumsdauer des Fisches zu wählen ist, damit der Ertrag maximal wird. Der Ostseedorsch ist als Beispiel besonders gut geeignet, da der Dorsch den weitaus größten Ertrag in der Grundfischerei in der Ostsee liefert. Bei gemischter Fischerei und der Fischerei auf andere Grundfischarten ist die gleiche Maschenweite wie bei der Dorschfischerei vorgeschrieben. Dorschbeifänge aus diesen Fischereien müssen nicht gesondert behandelt werden.

Grundlagen und Datenbasis

Um einen Fischbestand optimal bewirtschaften zu können, ist die Ermittlung von Wachstums-, Selektions- und Bestandsparametern notwendig. Es wurden im einzelnen folgende Daten zugrundegelegt:

- Länge l des Fisches für $t \rightarrow \infty$, $l_{\infty} = 146$ cm
- Masse m des Fisches für $t \rightarrow \infty$, $m_{\infty} = 36$ kg
- Längenwachstumsrate $k = 0,1$ Jahre⁻¹
- Natürliche Sterblichkeit der Altersgruppe 1; $M_1 = 0,242$ Jahre⁻¹
- Natürliche Sterblichkeit höherer Altersgruppen; $M = 0,2$ Jahre⁻¹
- Fischereiliche Sterblichkeit $F = 1,0$ Jahre⁻¹
- Selektionsfaktor, $SF = 2,74$
- Maschenöffnung $MO = 130$ mm

Für die fischereiliche wie auch für die natürliche Sterblichkeitsrate wurden Mittelwerte des ICES der vergangenen Jahre verwendet (ICES 2001). Die Gesamtsterblichkeit Z ist die Summe aus natürlicher und fischereilicher Sterblichkeit und wie folgt definiert:

$$Z = F + M = \frac{-\frac{\partial N_M}{\partial t}}{N(t)} + \frac{-\frac{\partial N_F}{\partial t}}{N(t)} \quad (1)$$

Die Sterblichkeitsraten sind vergleichbar mit dem Ra-

tenabtrag eines Kredites. Ein bestimmter Prozentsatz der Fische der Altersgruppe fällt entweder natürlichen Feinden, ∂N_M , (Krankheiten, Raubfische) oder der Fischerei, ∂N_F , in einer Zeiteinheit, ∂t , zum Opfer (Gleichung 1). Je größer die Sterblichkeitsraten um so größer ist die Abnahme der Anzahl der Fische der Altersgruppe. Durch den Menschen direkt beeinflussbar ist jedoch nur die fischereiliche Sterblichkeit. Dieses geschieht über den Fischereiaufwand der proportional zur fischereilichen Sterblichkeit ist. Der Fangzeitpunkt wird über die Maschenöffnung beeinflusst. Der Zusammenhang zwischen der Fischlänge und dem im Schleppnetz zurückgehaltenem Anteil (retained fraction, rf) wird durch die Selektionsfunktion gegeben wogegen der zeitliche Verlauf der Fischlänge durch die von-Bertalanffy-Funktion beschrieben wird. Durch Einsetzen der Wachstumsfunktion in die Selektionsfunktion bekommt man eine altersabhängige Selektionsfunktion. Die Wachstumsparameter wurden dem Bericht der ICES-Arbeitsgruppe „Baltic Fishery Assessment“ (ICES 2001) oder Ernst et al. (2000) entnommen, während der Wert für den Selektionsfaktor, der den Zusammenhang zwischen Fischlänge und Maschenöffnung herstellt, einer EU-Studie (Wileman 1992) entstammt. Dieser Selektionsfaktor ist ein Mittelwert für Normalmaschensteerte. Wie in einem kürzlich beendeten EU-Projekt (Suuronen 2000) gezeigt wird, unterliegen die Selektionsfaktoren großen Schwankungen, beeinflusst durch den Steertyp, das Steertmaterial, aber auch die Einholmethode des Netzes. Deshalb ist es an sich notwendig die Selektionswirkung vorzuschreiben, nicht aber die Maschenweite. Die absolute Bestandszahl, N , ist für die Ertragsoptimierung nicht unmittelbar erforderlich, da der Ertragswert auf die Anzahl der Rekruten, R (hier = N_1 – Anzahl der Fische der Altersgruppe 1), normiert wird. Gesetzlich vorgeschrieben für einen Normalsteert ist zur Zeit eine Maschenöffnung von 130 mm. Dieses entspricht einem l_{50} -Wert (Länge, bei der 50 % der Fische im Steert zurückgehalten werden) von 35,6 cm. Für die Modellierung wird eine Knife-edge-Selektionsfunktion zugrunde gelegt. Damit tritt der Dorsch in einem Alter von 2,8 Jahren übergangslos in die Fischerei ein. In der Realität ist dies ein kontinuierlicher Vorgang, dessen Dauer durch den Selektionsbereich bestimmt wird.

Bestandsentwicklung des nicht befischten Bestandes

Zunächst nehmen wir an, dass der Bestand nicht befischt wird. Ein bestimmter Teil der Fische stirbt aus natürlichen Gründen, durch Krankheit oder als Beute von Raubfischen. Die „Virtuelle Populations-Analyse“ (VPA) bietet eine Methode den Verlauf der Abnahme zu modellieren. Da die geschätzte Sterblichkeitsrate für

die 0-Gruppe sehr unsicher ist, beginnen die Untersuchungen mit der Altersgruppe 1. Diese werden Rekruten genannt. Die im Folgenden erläuterten Zusammenhänge werden durch Abbildung 1 illustriert. Nach dem Schlüpfen wachsen die Fische heran. Das Längen- und Massenwachstum eines Fisches der Altersgruppe lässt sich durch die von-Bertalanffy-Funktion beschreiben. Wie ersichtlich, ändert sich der Anstieg der Massenfunktion mit der Zeit. Im höheren Lebensalter ist der Massezuwachs geringer. Obwohl die Altersgruppe im Verlauf ihres Bestehens stetig kleiner wird, steigt die Biomasse, das Produkt aus Anzahl der Fische und Masse des Einzelfisches, der Altersgruppe zunächst an und erreicht bei $t_{\max} = 9,16$ Jahre sein Maximum. Danach übersteigt der Verlust an Biomasse durch die natürliche Sterblichkeit den Gewinn an Biomasse durch das Wachstum der Fische, und die Biomasse nimmt wieder ab. Der Zeitpunkt des Massenmaximums ist ausschließlich vom Wachstum der Fische und der natürlichen Sterblichkeit abhängig. Der theoretisch maximal mögliche Ertrag ist die Kohortenbiomasse zu diesem Zeitpunkt. Will man ein Maximum an Biomasse erbeuten, ist klar, dass die Altersgruppe zu diesem Zeitpunkt komplett weggefischt werden muss. Um den Maximalertrag zu erzielen ist jedoch eine unendlich hohe fischereiliche Sterblichkeit, verbunden mit einem unendlich hohen Fischereiaufwand, erforderlich. Da es aus technischen Gründen nicht möglich ist die Biomasse komplett im Biomassenmaximum abzufischen, ist intuitiv klar, dass der Fisch möglichst in der Nähe des Biomassenmaximums gefangen werden muss, um mit akzeptablem Aufwand den maximalen möglichen Ertrag zu erzielen.

Bestandsentwicklung des befischten Bestandes

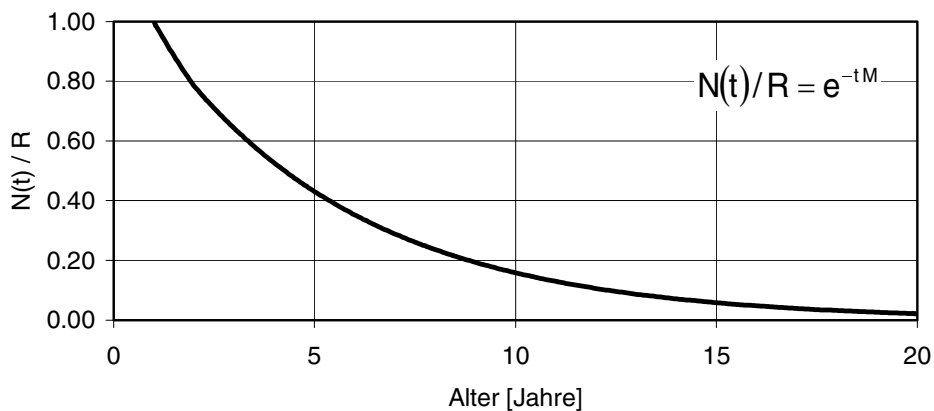
Der früheste Fangzeitpunkt von Fisch kann durch die Maschenöffnung gesteuert werden. Die Wachstumsfunktion beschreibt den Verlauf der Fischlänge als Funktion der Zeit. Über das Einsetzen der Wachstumsfunktion in die Selektionsfunktion, die wiederum den im Netz zurückgehaltenen Anteil als Funktion der Fischlänge beschreibt, erhält man eine altersabhängige Selektionsfunktion. In dieser Arbeit wird für die Betrachtungen des befischten Bestandes ein vereinfachtes Selektionsmodell verwendet, die sogenannte Knife-edge-Selektionsfunktion (Abbildung 2). Diese Funktion ist zwar nur eine grobe Näherung der realen Selektionskurve (graue Kurve), lässt sich mathematisch aber sehr leicht handhaben und erzeugt im weiteren leicht zu diskutierende Funktionsverläufe. Bei der Knife-edge-Selektionsfunktion tritt der Fisch übergangslos voll in die Fischerei ein. Vor Erreichen des Rekrutierungsalters wird die Modellkohorte nicht befischt ($F = 0 \text{ Jahre}^{-1}$), danach wird die Kohorte mit $F = 1,0 \text{ Jahre}^{-1}$ befischt.

Bei dieser fischereilichen Sterblichkeit wird nach Erreichen des Rekrutierungsalters die Modellkohorte innerhalb von etwa vier Jahren komplett abgefischt. Über die von-Bertalanffy-Längenwachstumsfunktion lässt sich die zu diesem Rekrutierungsalter, t_r , gehörige Fischlänge, l_r , und aus dieser Fischlänge über die verwendete Selektionsfunktion die dazugehörige Maschenöffnung bestimmen. Das Rekrutierungsalter wurde in Abbildung 2 so gewählt, dass die Modellkohorte nahezu symmetrisch zum Biomassenmaximum befischt wurde (vergleiche Abbildung 1). Etwa die Hälfte des Ertrages wurde vor dem Erreichen des Biomassenmaximums, die andere Hälfte nach dem Erreichen des Maximums erlangt. Der Ertrag wird geringer, je weiter außerhalb des Ertragsmaximums gefangen wird. Ist das Rekrutierungsalter zu gering wird der Bestand befischt, bevor der Fisch auf die optimale Fanggröße herangewachsen ist und man erleidet gegenüber dem Maximalertrag einen Verlust. Ist jedoch das Rekrutierungsalter zu hoch, dann ist schon ein beträchtlicher Anteil der Fische aus natürlichen Gründen gestorben und kann nicht mehr gefangen werden. Auch in diesem Fall erleidet man einen Ertragsverlust. Die Verluste nehmen zu, je weiter zeitlich entfernt Fisch von t_{\max} gefangen wird und um so geringer ist der erzielbare Ertrag. Der Ertrag sinkt deshalb auch mit einer geringen fischereilichen Sterblichkeit weil viel Fisch außerhalb des Maximums gefangen wird und steigt mit einer hohen fischereilichen Sterblichkeit, weil der Fisch dann in der Nähe des optimalen Zeitpunktes gefangen werden kann. Eine hohe fischereiliche Sterblichkeit ist jedoch mit einem hohen fischereilichen Aufwand verbunden, sodass durch die Kosten der Aufwandserhöhung eine Gewinnminderung eintreten kann. In Abbildung 2, unten wird der Fang- und Ertragsverlauf für das Parameterpaar $t_r = 8,25$ Jahre und $F = 1,0 \text{ Jahre}^{-1}$ gezeigt. Mit Einsetzen der Fischerei auf die Altersgruppe sinken die Fänge in Abhängigkeit von der fischereilichen Sterblichkeit. Der mögliche Ertrag aus dieser Altersgruppe ist erzielt, wenn die gesamte Altersgruppe abgefischt ist. Will man die Ertragsentwicklung für eine Vielzahl von Parameterpaaren darstellen, führt dies zu einem 3D- oder Konturplot. Das Beverton-und-Holt-Modell, das den Zusammenhang zwischen Rekrutierungsalter, fischereilicher Sterblichkeit und Ertrag beschreibt, ermöglicht deren Berechnung.

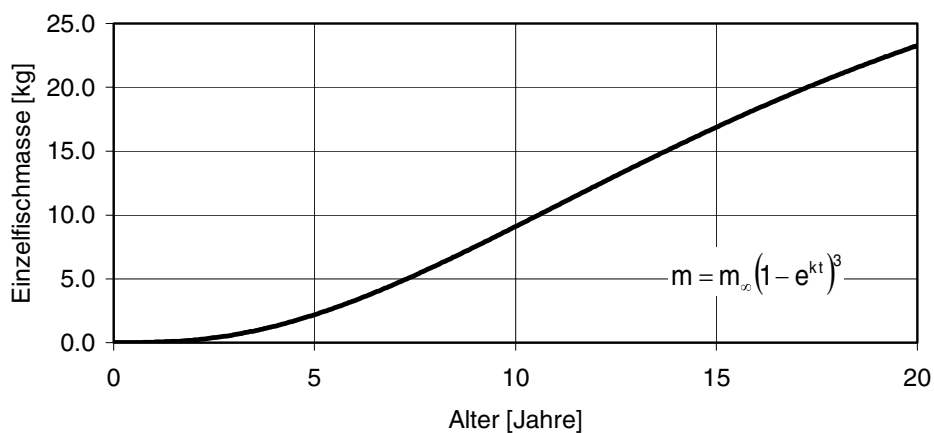
Das Beverton-und-Holt-Ertragsmodell

Erst ab einer bestimmten Länge beginnt der Fisch wirtschaftlich interessant zu werden. Fische ab einer bestimmten Länge sollen gefangen werden, wogegen kleinere Fische geschont werden müssen, um sie zu einem späteren Zeitpunkt fangen zu können. Aber welches ist der richtige Rekrutierungszeitpunkt? Aus Abbildung 1 ist ersichtlich, dass mit der Befischung kurz vor Errei-

Verlauf der Stückzahl pro Rekrut der Altersgruppe



Einzelfischmasse in Abhängigkeit von der Zeit



Biomasse - Produkt aus N(t)/R und Einzelfischmasse

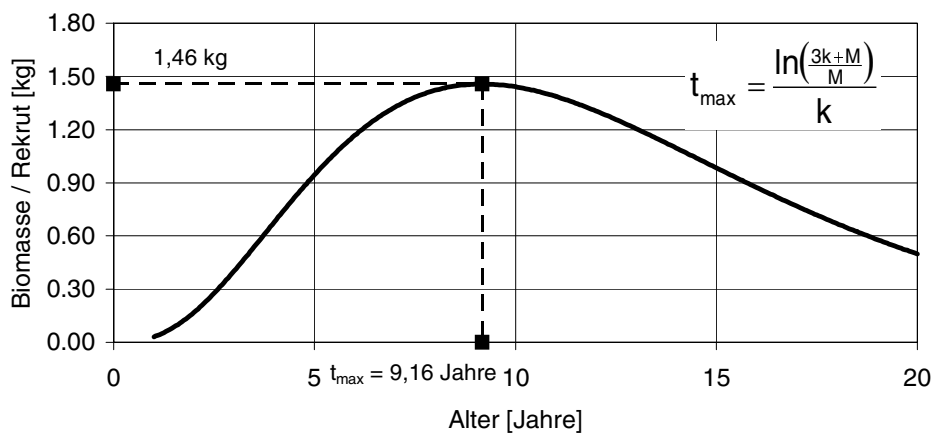
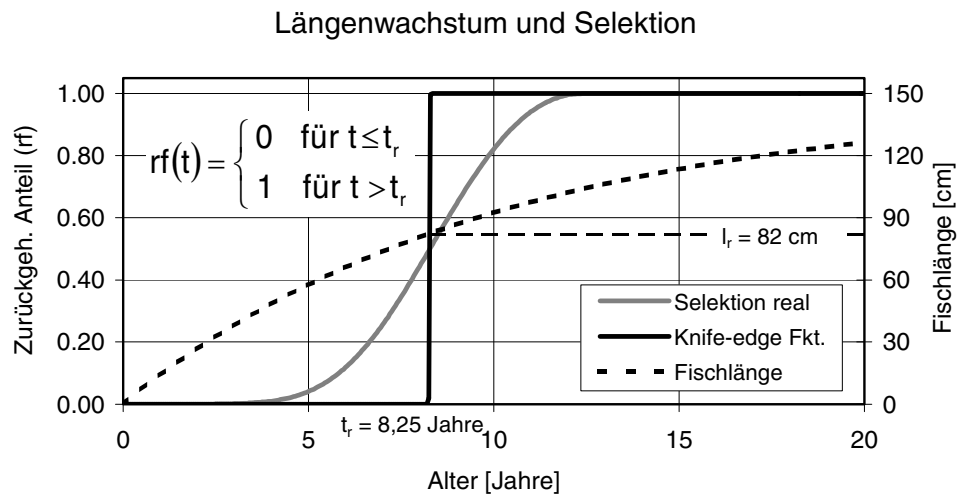
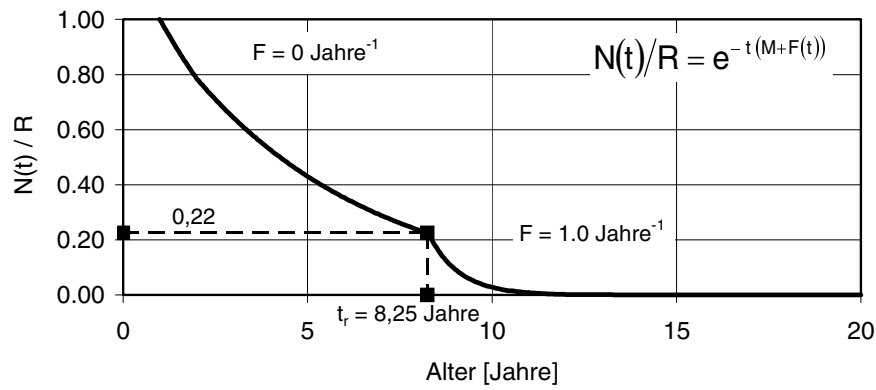


Abbildung 1: Entwicklung der nicht befischten Modellkohorte, $M = 0,2 \text{ Jahre}^{-1}$, $F = 0 \text{ Jahre}^{-1}$, $k = 0,1 \text{ Jahre}^{-1}$, $m_{\infty} = 36 \text{ kg}$.
 Development of the modelled, not exploited cohort, $M = 0.2 \text{ years}^{-1}$, $F = 0 \text{ years}^{-1}$, $k = 0.1 \text{ years}^{-1}$, $m_{\infty} = 36 \text{ kg}$.



Stückzahlverlauf pro Rekrut der befischten Altersgruppe



Zeitlicher Fang- und Ertragsverlauf

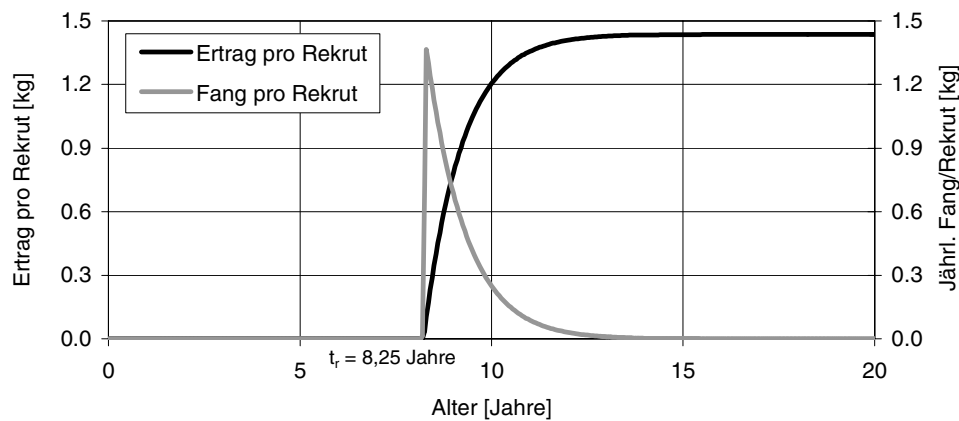


Abbildung 2: Entwicklung der mit der Knife-edge-Selektionsfunktion befischten Modellkohorte, $M = 0,2 \text{ Jahre}^{-1}$, $F = 1,0 \text{ Jahre}^{-1}$, $k = 0,1 \text{ Jahre}^{-1}$, $l_{\infty} = 146 \text{ cm}$, $m_{\infty} = 36 \text{ kg}$.

Development of the modelled cohort, exploited with a knife-edge selectivity function, $M = 0.2 \text{ years}^{-1}$, $F = 1.0 \text{ years}^{-1}$, $k = 0.1 \text{ years}^{-1}$, $l_{\infty} = 146 \text{ cm}$, $m_{\infty} = 36 \text{ kg}$.

chen des Maximums begonnen werden muss, da das Abfischen eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Bei geringer fischereilicher Sterblichkeit muss der Fisch in einem früheren Alter befischt werden, bei einer größeren fischereilichen Sterblichkeit in einem späteren. Zur Berechnung des Ertrages in Abhängigkeit von der fischereilichen Sterblichkeit und des Rekrutierungszeitpunktes benutzen wir das Beverton-und-Holt-Ertragsmodell. Dies ist eine anschauliche Vereinfachung des Thompson-und-Bell-Modells und kann für qualitative Untersuchungen herangezogen werden. Um einen Fischereiertrag, unabhängig von der Kohortengröße zu berechnen, wird der Ertrag auf die zu Beginn der Betrachtung vorhandene Anzahl Fische normiert (hier Altersgruppe 1). Diese werden Rekruten, R, genannt.

Legt man die oben dargestellte Knife-edge-Selektionsfunktion zugrunde und nimmt man weiterhin an, dass die fischereiliche und natürliche Sterblichkeit für den Gesamtzeitraum konstant ist, erhält man das Beverton-und-Holt-Modell:

$$Y/R = \frac{1}{R} \sum_{i=r}^{\infty} m_i C_i = \frac{(1 - e^{-(F+M)T}) F}{F + M} \sum_{i=r}^{\infty} m_i \frac{N_i}{R} \quad (2)$$

Dieses Modell ist in vielen Fachbüchern beschrieben und hier in der zeitdiskreten Form dargestellt. Der Ertrag (yield, Y) ist der Gesamtertrag an Fischmasse während der Kohortenlebensdauer, also die Summe der Produkte aus Fang (catch, C) in Stück innerhalb der betrachteten Zeitabschnitte multipliziert mit der jeweils zeitlich dazugehörenden Fischmasse. Teilerträge ergeben sich erst mit dem Eintritt des Fisches in die Fischerei. Dies ist mit dem Rekrutierungszeitpunkt, t_r , der Fall, hier gekennzeichnet durch den Index r des entsprechenden Zeitintervalls. Ersetzt man den Fang, C, durch den Bezug zwischen fischereilicher Sterblichkeit und Bestandsgröße (Baranowsche Fanggleichung), dann kann man – bei gegebenen Wachstumsparametern und einer gegebenen natürlichen Sterblichkeit – den Ertrag in Abhängigkeit von der fischereilichen Sterblichkeit und des Rekrutierungszeitpunktes berechnen. Abbildung 3 zeigt den Konturplot (Beverton und Holt 1957) und die äquivalente 3D-Darstellung, berechnet für Dorschdaten der westlichen Ostsee. Die Ertragsmaxima der 3D-Darstellung sind in der oberen Abbildung als Kontur für den optimalen Befischungsmodus dargestellt. Insbesondere anhand der unteren Abbildung wird deutlich, dass man für die Maximierung des Ertrages bei geringer fischereilicher Sterblichkeit das Rekrutierungsalter herabsetzen muss, bei größerer fischereilicher Sterblichkeit aber heraufsetzen muss.

Für den aktuellen Befischungsmodus jedoch ist entweder das Rekrutierungsalter wesentlich zu gering oder

die fischereiliche Sterblichkeit zu groß. Es wird zur Zeit ein Ertrag pro Rekrut von etwa 0,6 kg erzielt. Nach der Modellrechnung wäre bei gleicher fischereilicher Sterblichkeit aber ein Ertrag pro Rekrut von etwa 1,4 kg möglich, wenn man den Fangzeitpunkt optimiert hätte. Die prognostizierten Werte geben die Zielrichtung für Änderungen der technischen Maßnahmen an. Die Schritte dürfen jedoch nicht zu groß gewählt werden, wie in der Zusammenfassung noch erläutert wird.

Optimale Selektionsparameter für den Ostseedorsch

Der Zusammenhang zwischen Rekrutierungszeitpunkt und Maschenöffnung wird über die von Bertalanffy - Längenwachstumsfunktion und die Selektionsfunktion (Abbildung 2, oben) hergestellt. Das Selektionsverhalten von Schleppnetzen kann in einer Gleichung durch die Parameter l_{50} und den Selektionsbereich beschrieben werden (Bethke 2001). Der Selektionsbereich ist vom Steertdesign (Multipanel-Steert, Steerte mit Fluchtfenster, Normalmaschen-Steert, Steerte mit gedrehten Maschen, ...) aber auch von der Maschenweite abhängig (Suuronen 2001). Die Länge l_{50} ist die Länge, bei der der zurückgehaltene Anteil (retained fraction, rf) 50 % ist. Der Zusammenhang zur Maschenöffnung, MO, ergibt sich über den Selektionsfaktor, SF,

$$SF = \frac{l_{50}}{MO} \quad (3)$$

Der Selektionsfaktor ist abhängig von der Fischart aber auch von den Steertmaterialien und wird durch Versuche ermittelt. Für unsere Modellrechnungen haben wir eine Knife-edge-Selektionsfunktion zugrunde gelegt. Bei dieser Selektionsfunktion ist der Selektionsbereich, $sr = 0$ cm. Mit Erreichen des Rekrutierungsalters bei der Länge $l_r = l_{50}$ tritt damit der Fisch voll in die Fischerei ein. Dieser Zeitpunkt wird durch das Wachstum der Fische (Abbildung 2, oben) und durch die Maschengröße (Gleichung 3) bestimmt. Hiermit ist man in der Lage, entsprechend Abbildung 3 einen Konturplot des Ertrages in Abhängigkeit von der Maschengröße und der fischereilichen Sterblichkeit zu berechnen (Abbildung 4). Anhand der Kontur für die optimale Befischung kann man ablesen, zu welcher Maschenöffnung welche fischereiliche Sterblichkeit passt oder auch umgekehrt. Für Punkte auf der Optimalkontur wird der Fisch in etwa symmetrisch von t_{max} gefangen, etwa die Hälfte des Ertrages wird vor t_{max} und nach t_{max} gefangen. Der Abstand des aktuellen Befischungsmodus von der optimalen Befischungskontur zeigt deutlich, dass derzeit die vorgeschriebene Maschenöffnung von 130 mm wesentlich zu klein oder die fischereiliche Sterblichkeit von $F = 1,0 \text{ Jahre}^{-1}$ wesentlich zu groß ist. Will man die aktuelle fischereiliche Sterblichkeit beibehalten, muss man

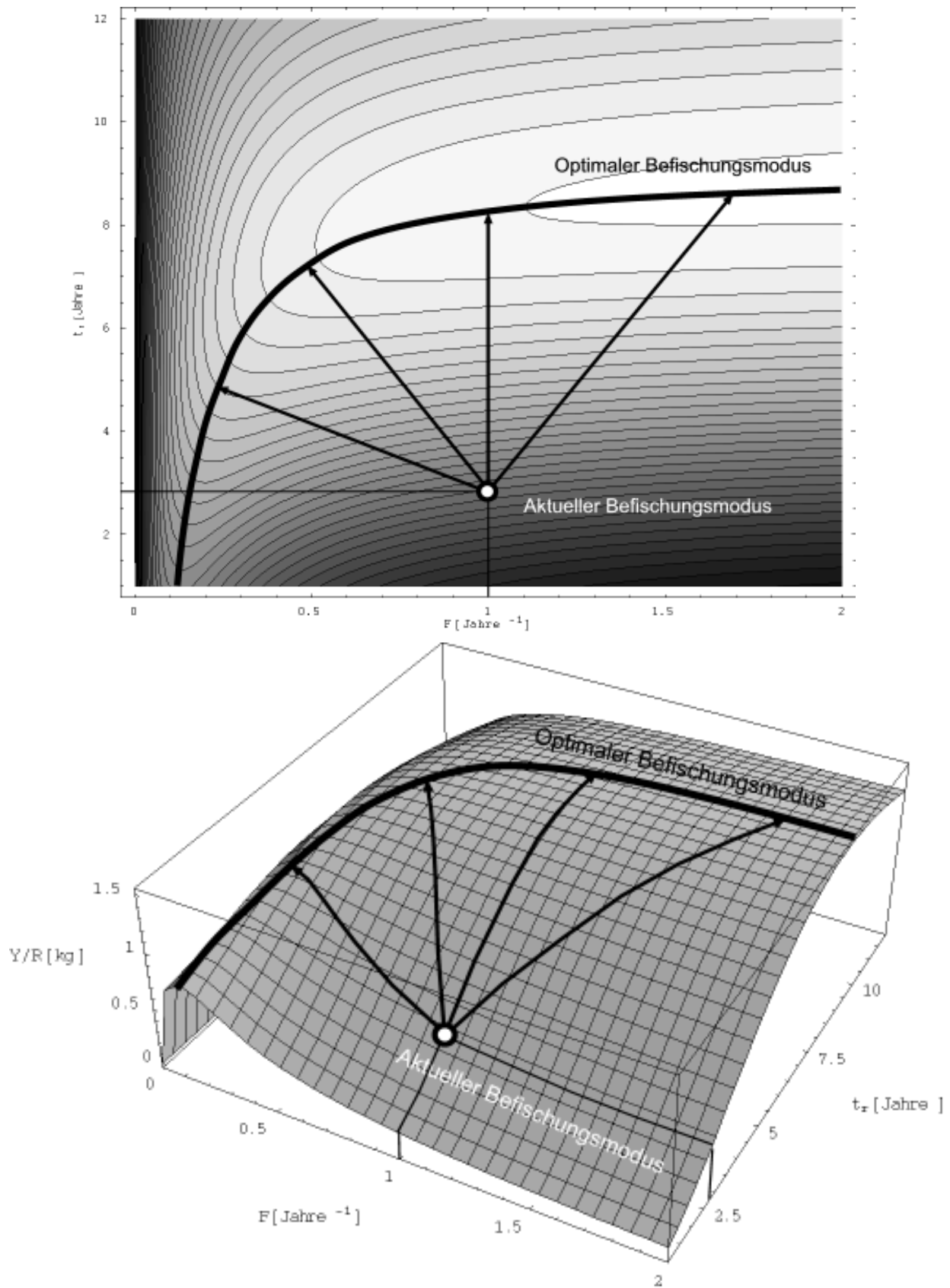


Abbildung 3: Konturplot für die Abhängigkeit des Ertrages von dem Rekrutierungsalter und der fischereilichen Sterblichkeit und äquivalente 3D-Darstellung.
 Contour plot of the yield as a function of recruitment age and fishing mortality and equivalent 3D plot.

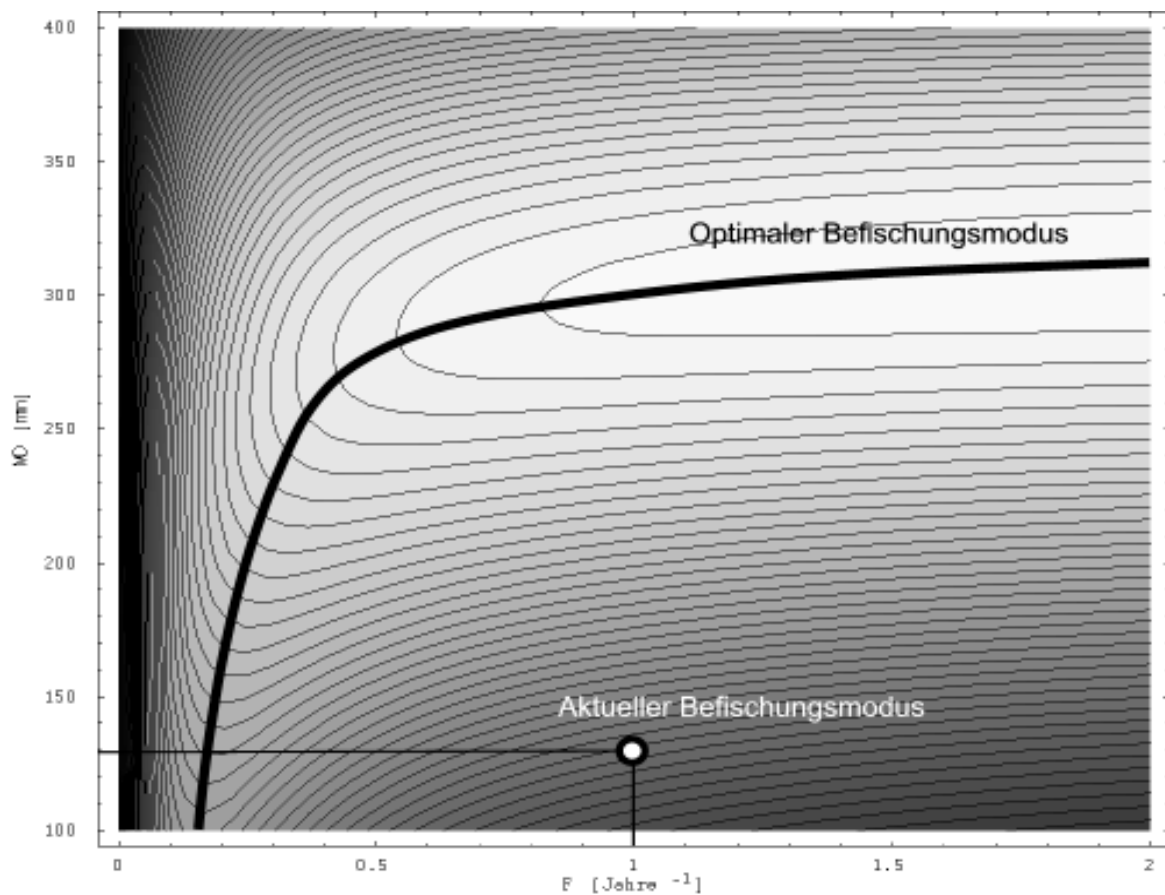


Abbildung 4: Konturplot für die Abhängigkeit des Ertrages von der Maschenöffnung und der fischereilichen Sterblichkeit.
Contour plot of the yield as a function of mesh opening and fishing mortality.

nach der Modellrechnung die Maschenöffnung auf 300 mm erhöhen; will man aber an der aktuellen Maschenöffnung festhalten, dann ist zur Optimierung des Ertrages eine Verringerung der fischereilichen Sterblichkeit auf $F = 0,19 \text{ Jahre}^{-1}$ notwendig. Die fischereiliche Sterblichkeit verhält sich proportional zum Fischereiaufwand. Man kann damit aus dem Konturplot ablesen, dass eine Verringerung des Fischereiaufwandes bei einer Maschenöffnung von 130 mm eine Erhöhung des Ertrages bewirken würde. Dieser ist jedoch bei einer optimierten Maschenöffnung auf $F = 1,0 \text{ Jahre}^{-1}$ größer. Verwendet man die auf $F = 1,0 \text{ Jahre}^{-1}$ optimierte Maschenöffnung von 300 mm, so wird ersichtlich, dass die fischereiliche Sterblichkeit im Bereich von $F = 0,4 \text{ Jahre}^{-1}$ bis $F = 2,0 \text{ Jahre}^{-1}$ kaum noch einen Einfluss auf den Fischereiertrag hat (Abbildung 4).

Zusammenfassung

Ziel des Managements eines Fischbestandes ist die Maximierung der Fischereierträge. Wie gezeigt wurde, ist dies einmal durch die Begrenzung der fischereilichen Sterblichkeit möglich, aber auch durch die Optimie-

rung des Rekrutierungszeitpunktes über die Optimierung der Maschenöffnung. Bisher wurde hauptsächlich versucht, die fischereiliche Sterblichkeit über den Fischereiaufwand zu begrenzen. Erst seit kurzem wird die Maschenweite für die Schleppnetzfisherei in der Ostsee schrittweise erhöht. Bei gleichbleibender fischereilicher Sterblichkeit ist nach diesem Modell durch die Optimierung der Maschengröße eine Ertragsteigerung von jetzt etwa 0,6 kg/Rekrut auf 1,4 kg/Rekrut möglich. Für die Optimierung der Maschenöffnung ist die Kenntnis der Wachstumsparameter und die Kenntnis der natürlichen und fischereilichen Sterblichkeit notwendig. Die natürliche Sterblichkeit und die Wachstumsparameter sind stark vom Futterangebot und den Umweltparametern abhängig. Prinzipiell bewirkt eine Erhöhung der Maschengröße langfristig eine Erhöhung der Bestandsstückzahl. Ein großer Bestand führt bei begrenztem Futterangebot aber zur geringeren Wachstumsparametern und zu einer erhöhten natürlichen Sterblichkeit.

Das Modell berücksichtigt jedoch die Wechselwirkungen zwischen Bestandsgröße, der natürlichen Sterblich-

keit und den Wachstumsparametern nicht. Dieses leisten nur wesentlich kompliziertere Ökosystem-Modelle, die aber noch nicht verfügbar sind. Weiterhin ist fraglich, ob der Zusammenhang zwischen L_{50} und Maschenöffnung, der durch den Selektionsfaktor gegeben ist, sich über seinen so weiten Bereich übertragen lässt und inwieweit das verwendete vereinfachte Selektionsmodell die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflusst. Die Maschenweite kann deshalb nur schrittweise geändert werden, wobei die genannten Parameter ständig überwacht und in die Optimierung einbezogen werden müssen. Die Optimierung ist deshalb ein iterativer Prozess, der von der Fischereiforschung begleitet und als Teil des Vorsorgeansatzes (precautionary approach) angesehen werden muss. Nach jeder Parameteränderung müssen die Auswirkungen der Änderungen ermittelt und analysiert und die nächsten Schritte daraus abgeleitet werden. Ein weiterer positiver Effekt der Erhöhung der Maschenweite ist die Vergrößerung der Laicherbiomasse.

Weiterhin wird durch eine Erhöhung der Maschenweite der erzielbare Preis (BLE 1989–2000) für das gefangene Sortiment deutlich besser. Kurzfristig ist mit der Vergrößerung der Maschenöffnung jedoch ein Fangausfall für die Fischerei verbunden. Auch aus diesem Grund ist eine schrittweise Anpassung über einen längeren Zeitraum notwendig, damit die kurzfristigen ökonomischen Verluste der Fischerei in Grenzen bleiben und durch die zukünftige Ertragssteigerung durch Maschenweitenoptimierung mehr als aufgewogen werden. Wie gezeigt wurde, gibt es zur Maximierung des Fischereiertrages neben der Regulierung des Fischereiaufwandes auch die Möglichkeit der Optimierung der Maschenöffnung. Beides kann durch die Verwendung des gleichen Modells berechnet werden. Durch die Wahl eines geeigneten Rekrutierungsalters hat man die Möglichkeit den Ertrag der Fischerei für eine bestimmte fischereiliche Sterblichkeit und damit für eine bestimmte Flottengröße zu optimieren.

Zitierte Literatur

- Bethke, E., 2001: Codend selectivity in trawls – Comparison of a novel function to the logistic function and the Richards curve. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 49(2): 149–163.
- Beverton, R. J. H.; Holt, S. J., 1957: On the dynamics of exploited fish populations. *Fisheries Investment Series 2*, Vol. 19, U.K. Ministry of Agriculture and Fisheries, London.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 1989–2000: Jahresberichte – Frischfisch. http://www.ble.de/fisch/fisch_f.htm, Hamburg.
- Ernst, P.; Müller, H.; Dahm, E.; Gabriel, O., 2000: Konzept für eine bestandsschonendere Nutzung der Dorschvorkommen in der westlichen Ostsee. *Inf. Fischwirtsch. Fischereiforsch.* (47)1: 19–24.
- Hilborn, R.; Walters, C. J., 1992: *Quantitative Fisheries Stock Assessment, Choice, Dynamics & Uncertainty*. 3rd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- ICES, 2001: Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group, Part 3. ICES Council Meeting. *paper/ACFM*: 18.
- Sparre, P.; Venema, S. C., 1998: Introduction to tropical fish stock assessment, Part 1. *FAO Fisheries Technical Paper 306/1*, Rev. 2. Rome: FAO.
- Suuronen, C., 2000: Improving Technical Management in Baltic Cod Fishery (BACOMA). Final Report – EU Project, FAIR CT 96-1994.
- 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.; 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.* 215.
- 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.
- Wolfram, S., 1999: *The Mathematica Book*. 4th ed. Cambridge: Wolfram Media/ University Press.