

Zu einigen Aspekten der Planung von hydroakustischen Bestandsbestimmungen

DIPLOM-MATHEMATIKER R. OEBERST
INSTITUT FÜR HOCHSEEFISCHEREI UND FISCHVERARBEITUNG ROSTOCK,
BEREICH FANG

Im Institut für Hochseefischerei wird seit vielen Jahren die Methode der hydroakustischen Bestandsbestimmung benutzt. Anhand der Ergebnisse der Frühjahrsreisen der Jahre 1982, 1983 und 1984, die in Kooperation mit der Sowjetunion in der Ostsee zur Bestimmung des Sprottbestandes durchgeführt wurden, werden einige Aspekte der Planung des Kurses analysiert. Dabei wurden die Aufteilung des Probenaufwandes auf die ICES-Gebiete, die Länge der Strecke eines Integriertfanges, die Einteilung in artenhomogene Gebiete und die Autokorrelation aufeinanderfolgender Integratorwerte diskutiert.

1. Einleitung

Seit mehreren Jahren wird im IFH zu Problemen der Reisekursplanung bei hydroakustischen Bestandsbestimmungen in der Ostsee gearbeitet. In diesem Bericht werden einige Ergebnisse für die Frühjahrsreisen zusammenfassend dargestellt.

Ziel dieser Untersuchung ist es, Kriterien zu entwickeln, nach denen die Kursplanung entsprechend dem heutigen Kenntnisstand optimiert werden kann.

2. Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die Ostsee-ICES-Gebiete 24, 25, 26. Das wirkt sich speziell beim Gebiet 28 als Nachteil aus, da die Gebiete 26 und 28 bzgl. der VPA-Schätzungen der Bestände eine Einheit bilden. Das Untersuchungsgebiet kann wie folgt charakterisiert werden: Zum Zeitpunkt der hydroakustischen Aufnahmen Mai—Juni des jeweiligen Jahres wird nur die Fischart Sprott vollständig erfaßt. Die noch anzutreffenden Fischarten Hering und Dorsch werden nur teilweise repräsentiert, da sie entweder noch nicht völlig in das Untersuchungsgebiet eingewandert sind bzw. durch ihre Bodenständigkeit mit den hydroakustischen Geräten nicht beobachtet werden können. Diese Tatsachen drücken sich in der großen Variabilität des Herings- bzw. Dorschanteils der jeweiligen Jahresschätzung aus. Zur Einschätzung der Genauigkeit können demzufolge nur die Ergebnisse für Sprott herangezogen werden. Für die Planung des Reisekurses spielen die beiden anderen Fischarten aber eine wesentliche Rolle.

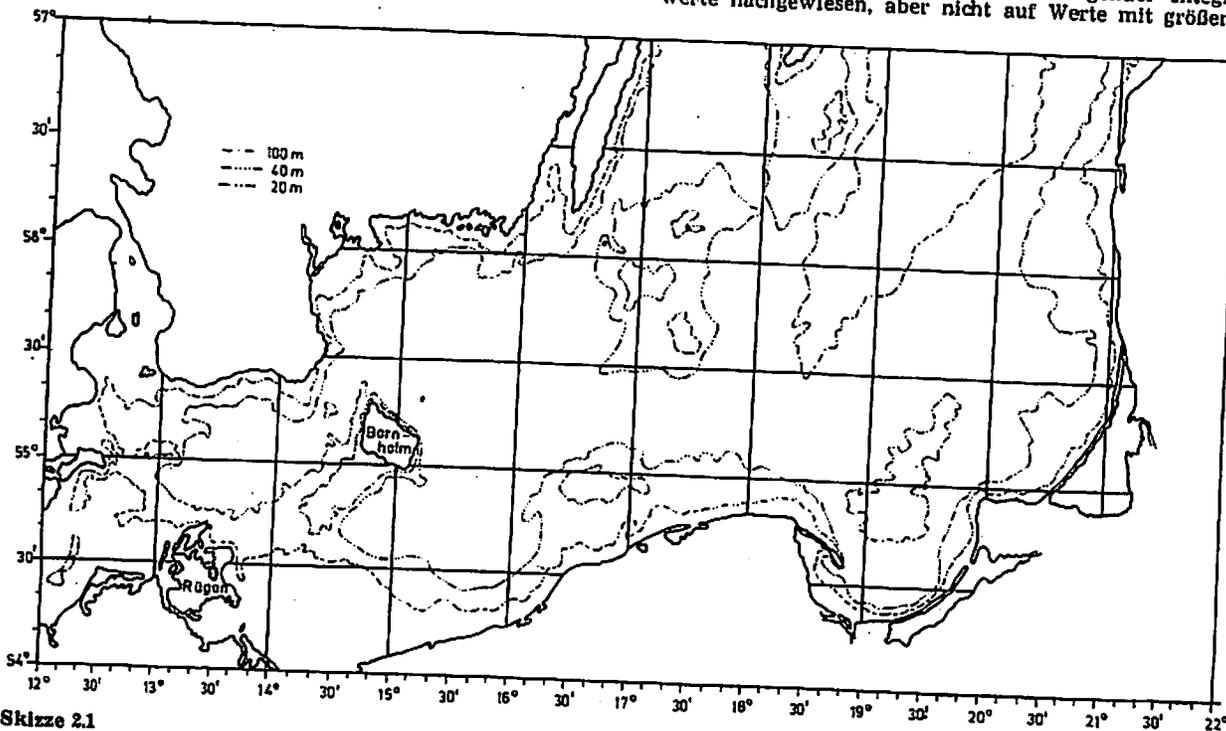
Ein weiterer wichtiger Punkt zur Charakterisierung des Untersuchungsgebietes ist die große Variation in der Tiefenstruktur, die Einteilung in Becken, Rinnen und Flachwassergebiete.

Weiterhin muß auf eine große Veränderlichkeit der ozeanographischen Bedingungen von Jahr zu Jahr hingewiesen werden, die auf die horizontale und vertikale Verteilung, sowie auf die Gebiete hoher Fischkonzentrationen großen Einfluß haben.

Abschließend kann eingeschätzt werden, daß bei der Planung des Reisekurses mit einem heterogenen Artengemisch von Sprott, Hering und Dorsch zu rechnen und, beeinflusst durch die ozeanographischen Bedingungen, eine nicht vorhersehbare Dichteverteilung zu schätzen ist. In Skizze 2.1 ist die Tiefenstruktur des Untersuchungsgebietes dargestellt.

3. Bisherige Ansatzpunkte für die Kurswahl

Als Begrenzung des Untersuchungsgebietes wurde die 40-Meter-Tiefenlinie genutzt. Oberhalb dieser Grenze konnten keine Fischkonzentrationen beobachtet werden. Eine weitere Begrenzung des Untersuchungsgebietes stellen die Hoheitsgewässer dar. Dadurch werden größere Gebiete von der Untersuchung ausgeschlossen, auf die die gefundenen Fischdichten extrapoliert werden müssen, um Aussagen zum gesamten Bestand zu finden. In den Jahren 1982 bis 1984 wurden verschiedene Untersuchungen zur Kursplanung durchgeführt. Es konnte eine wiederholt auftretende Autokorrelation aufeinanderfolgender Integralwerte nachgewiesen, aber nicht auf Werte mit größerem



Skizze 2.1
Tiefenstruktur der ICES-Gebiete 24, 25, 26

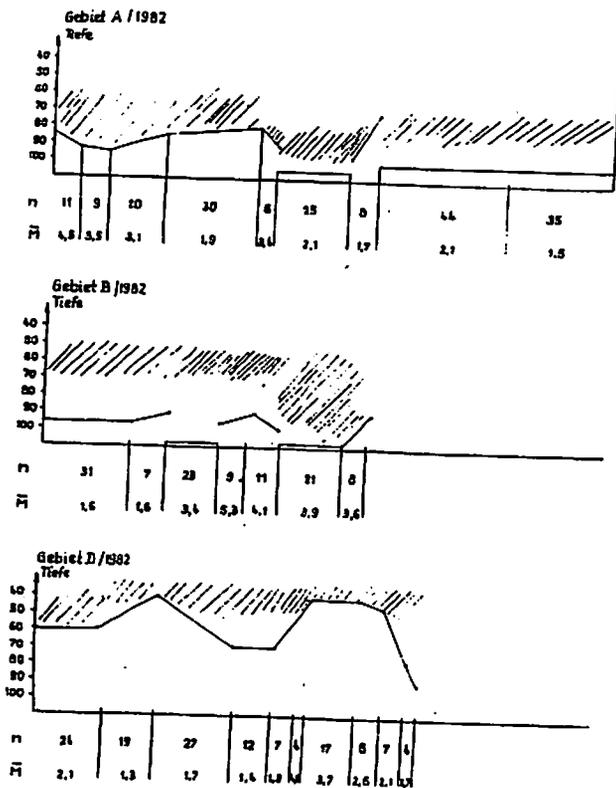
Abstand erweitert werden, so daß eine Extrapolation des Integrals einer Meile auf umliegende Gebiete ungenau ist.

Weiterhin zeigte sich, daß die Gebiete hoher Fischdichte in den meisten Fällen mit einem Anstieg des Bodens über eine bestimmte Grenze hinaus gekoppelt ist (Aufschwemmen). Es konnte aber keine Beziehung zwischen Tiefenstruktur und Fischflächendichte in Form von Korrelation oder Regression nachgewiesen werden. Weiterhin spielen die ozeanographischen Bedingungen eine große Rolle für die Tiefe, in der die hohen Konzentrationen zu finden sind (40, 60, 70 m). Demzufolge ist es nicht möglich, vor Beginn der Reise die Gebiete vorherzusagen, in denen sich der Hauptteil der Biomasse aufhält. Entsprechend dieser Ergebnisse wurde der Reisekurs 1982 so gelegt, daß in den Gebieten mit großen Tiefenunterschieden mehr Daten gewonnen wurden als in den Becken. Eine optimale Lösung stellt diese Form des Kurses aber nicht dar. Durchgesetzt hat sich die auch international üblich gewordene Einteilung in möglichst homogene Teilgebiete, um eine gute Schätzgenauigkeit zu erreichen. Dabei wurde im IFH versucht, die Gebietsgrenzen mit Tiefenstrukturen zu koppeln, um die Ungenauigkeiten durch nicht objektiv festgelegte Gebietsgrenzen zu umgehen. Ein weiteres Problem stellt die Festlegung der Positionen von Kontrollfängen dar. In den meisten Fällen werden dort Fänge durchgeführt, wo hohe Fischdichten beobachtet werden. Diese Ergebnisse werden dann extrapoliert. 1983 wurde eine spezielle Untersuchung zu diesem Problem durchgeführt, die zeigte, daß die Artenzusammensetzung in den Fängen innerhalb einer kleinen Fläche zwischen 100 % Hering und 100 % Sprotte schwankte.

Die Zusammenfassung der Ergebnisse der Reisen 1982-1984 sollen verallgemeinerungsfähige Richtlinien ermöglichen, nach denen eine verbesserte a priori Kursplanung möglich ist.

4. Darstellung der Ergebnisse der Reisen 1982-1984

Bevor die Ergebnisse vergleichender Untersuchungen der einzelnen Jahre dargestellt werden, scheint es sinnvoll, die Ausgangspunkte für die Biomasseschätzung und deren Ergebnisse für die einzelnen Jahre auszuweisen.



Skizze 3.1 Darstellung des Zusammenhanges Bodenstruktur, Aufenthaltstiefe des Fisches und der mittleren Echoleistung für 1982 bei ausgewählten Gebieten

4.1. Benutzte Geräte

	1982	1983	1984
Geräte-system	HAG 432	EK 18/QM II	EK 38-9/QM II
Frequenz	20 kHz	18 kHz	38 kHz
Schwinger	20° X 20°	20° X 13°	10° X 20°
Impuls-dauer	0,5 ms	0,6 ms	0,6 ms
TVG	20 log R	20 log R	20 log R od B
Geräte-konstante	5,28 X 10 ³ Vsr	1,83 X 10 ³ Vsr	3,05 X 10 ³ Vsr

4.2. Methode der Biomasseschätzung

Die Biomasseschätzung wird nach der international angewandten Formel

$$CM = \langle \sigma_{bs} \rangle \times \varphi_a$$

durchgeführt. Dabei sind

- C — Systemkonstante
- M — Integratorwert je Einheitsstrecke
- φ_a — Fischflächendichte
- $\langle \sigma_{bs} \rangle$ — Zielmaß des Einzelfisches pro m²

Im IFH wurden die Zielmaßschätzungen von EDWARD und ARMSTRONG (1982) für Hering und Sprotte sowie Schätzungen von FORBES et al. (1982) für Dorsch genutzt. Die Umrechnung auf die Arbeitsfrequenz geschah nach der von LOVE (1971) angegebenen Beziehung. Im IFH wurden die Zielmaße nicht auf der Basis von Stückzahlen, sondern die Massenstreuwerte benutzt.

$$TS \text{ (ind.)} = 19,9 \log l - 70,53 \text{ dB}$$

Sprotte u. Hering

Dorsch

$$sm_{38} = 9,86 \times 10^{-2} \times l^{-1,702}$$

$$sm_{38} = 1,38 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^{-0,45} \text{ Beziehung nach Love.}$$

Auf diese Schätzungen aufbauend wurden die folgenden Formeln zur Bestimmung der Biomasse verwendet:

$$B = \frac{A \times \bar{M} \times 3,43 \times 10^6}{C \times \bar{sm}} \quad (4.2.1)$$

- B — gesamte Biomasse im Untersuchungsgebiet
- A — Fläche des Untersuchungsgebietes in sm²
- \bar{M} — Mittelwert der Echoleistungen im Untersuchungsgebiet
1 sm² = 3,43 X 10⁶ m²
- C — Gerätekonstante
- \bar{sm} — mittlerer Massenstreuwert im Untersuchungsgebiet

$$\bar{M} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \quad n \text{ — Anzahl der Messstrecken innerhalb der Fläche}$$

$$\bar{sm} = h_S \times sm_S + h_H \times sm_H + h_D \times sm_D \quad (4.2.2)$$

- h_S — Massenanteil des Sprotts im Gebiet
- h_H — Massenanteil des Herings im Gebiet
- h_D — Massenanteil des Dorsches im Gebiet
- sm_S — Massenstreuwert des Sprotts als Funktion der mittleren Länge
- sm_H — Massenstreuwert des Herings als Funktion der mittleren Länge
- sm_D — Massenstreuwert des Dorsches

Die Massenanteile der einzelnen Fischarten werden aus den m Kontrollfängen innerhalb des Gebietes geschätzt.

$$h_S = \frac{\sum_{i=1}^m F_{S_i}}{\sum_{i=1}^m F_i} \quad (4.2.3)$$

$$F_i = F_{S_i} + F_{H_i} + F_{D_i} \quad (4.2.4)$$

- F_i — Gesamtfang des i-ten Kontrollfanges (Fang/Schleppstunde)
- F_{S_i} — Sprottfang des i-ten Kontrollfanges (Fang/Schleppstunde)

Entsprechend werden h_H , h_D bestimmt.

$$sm_S = \frac{\sum_{i=1}^m F_{S_i} sm_{S_i}}{\sum_{i=1}^m F_{S_i}} \quad (4.2.5)$$

Tabelle 4.2.1

Schätzung der Biomassen nach ICES-Gebieten für die Jahre 1982, 1983, 1984

ICES-Gebiet 26	1982	1983	1984
Fläche	8815		9079
Mellenzahl	588		563
Holzähl	14		20
Biomasse (t)	122800		115855
B_S (t)	55000		102584
B_H (t)	43600		4740
B_D (t)	24200		8551
ICES-Gebiet 25			
Fläche	8110	5754	6340
Mellenzahl	584	476	620
Holzähl	13	18	26
Biomasse (t)	191600	77456	118548
B_S (t)	114400	47041	94460
B_H (t)	49300	32755	20960
B_D (t)	27800	1760	4028
ICES-Gebiet 24			
Fläche	1708	1708	1708
Mellenzahl	164	162	130
Holzähl	4	6	3
Biomasse (t)	43400	8324	23602
B_S (t)	6500	6734	12037
B_H (t)	38500	1562	11518
B_D (t)	400	8	47

Mit den obigen Formeln wurden die Massenstreuwerte für die Fischarten im Untersuchungsgebiet bestimmt, d. h., es wurde ein mit dem Fang pro Schlepptunde gewichteter Mittelwert bestimmt. Entsprechend der verfügbaren Zeit wurden die in den Skizzen 4.2.1—4.2.3 dargestellten Reisekurse zur Bestandsschätzung genutzt. Es sind der Reisekurs, die Positionen der Kontrollfänge und die Einteilung der Untergebiete gezeigt.

In der Tab. 4.2.1 sind die Biomasseschätzungen für die einzelnen Jahre nach Fischarten für die ICES-Gebiete angegeben. Die Biomasse für die einzelnen Fischarten ergibt sich aus

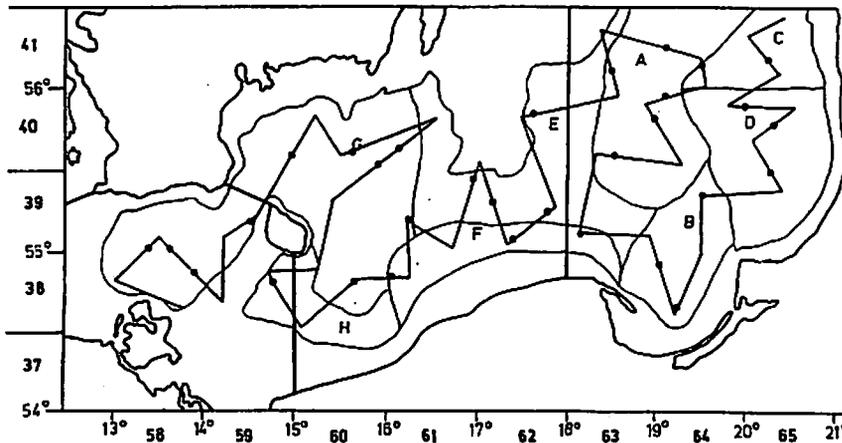
$$B_s = B \times h_s \quad (4.2.6)$$

B_s = Biomasse des Sprotts im Untersuchungsgebiet

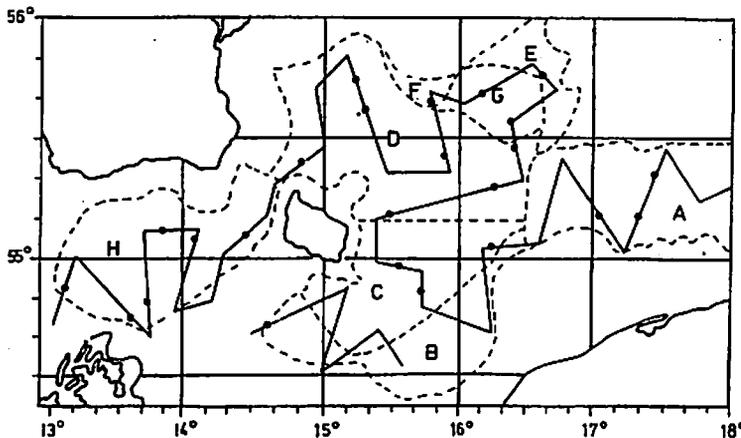
Ausgehend von den einzelnen Werten dieser Schätzungen wurden spezielle Untersuchungen durchgeführt, die Aussagen zur Gebietsaufteilung, zur Verteilung des Aufwandes auf die einzelnen Untergebiete und zur Gestaltung des Kurses für diese Aufnahmen zulassen.

5. Spezielle Untersuchungen der Frühjahrsreisen 1982—1984

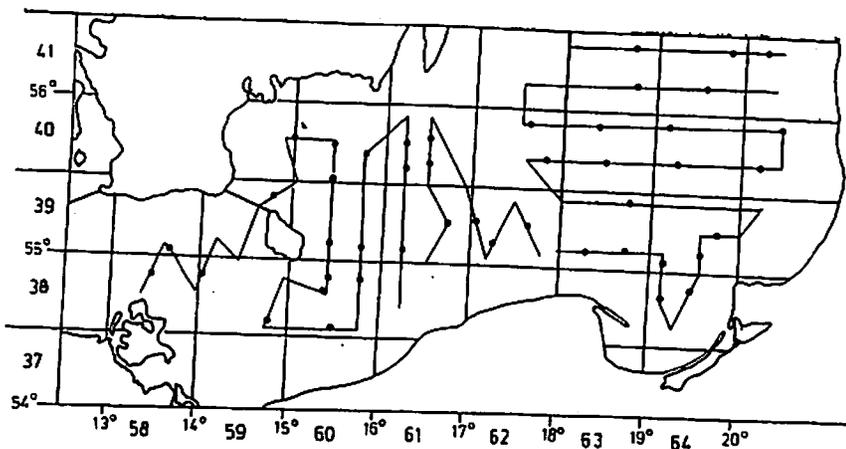
Diese Untersuchungen gehen davon aus, daß durch die Gestaltung des Reisekurses und die Einteilung des Gesamtgebietes in möglichst homogene Schichten die Schätzgenauigkeit für die Biomasse und die Artenzusammensetzung positiv beeinflussbar ist, ohne den Aufwand wesentlich zu erhöhen. Dabei wird aber angenommen, daß solche Größen wie Massenstreuwerte, zeitabhängige Verstärkung und räumliche Orientierung der Fische im Pelagial keinen wesentlichen Einfluß auf die Kurswahl haben. Die notwendige Berücksichtigung dieser Größen bei der Biomass-



Skizze 4.2.1
Hydroakustische Aufnahme FFS „Eisbär“ 1982



Skizze 4.2.2
Hydroakustische Aufnahme FFS „Eisbär“ 1983



Skizze 4.2.3
Hydroakustische Aufnahme FFS „Eisbär“ 1984

eschätzung wurde in der Literatur nachgewiesen. Da es aber bis jetzt noch nicht möglich ist, diese Faktoren exakt zu bestimmen, wurden sie in den weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt.

5.1. Aufteilung des verfügbaren Aufwandes auf die ICES-Gebiete 26, 25 und 24

Eine Einteilung des gesamten Untersuchungsgebietes entsprechend der ICES-Untergebiete 26, 25 und 24 ist schon deshalb sinnvoll, da sie als statistische Einheiten des ICES fungieren. Eine Vernachlässigung dieses Kriteriums macht einen Vergleich mit anderen Schätzmethoden unmöglich bzw. erschwert ihn. Wie später gezeigt wird, ist diese Strukturierung auch mit Größen begründbar, die bei der Anwendung der hydroakustischen Schätzverfahren ausgenutzt werden. In den Jahren 1982—1984 wurden verschiedene Formen der Strukturierung der Untergebiete angewendet.

Dabei wurde die Einteilung in Gebiete gleicher Artenzusammensetzung vorgenommen, nachdem die Reise beendet war. Die Gebietsgrenzen wurden dann entsprechend des Verlaufes der Tiefenlinien gewählt (siehe Skizze 4.2.1—4.2.3). Ein Vorteil dieser Methode ist es, daß möglichst homogene Fischartenzusammensetzungen in einem Gebiet zusammengefaßt werden. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist die subjektive Festlegung der Gebietsgrenzen, da die Artenzusammensetzung nicht kontinuierlich mit Hilfe von Geräten überwacht werden kann. Die Fläche der Untergebiete geht aber in die Biomassenschätzung mit ein (siehe Formel). 1984 wurde eine Einteilung in Untergebiete vor Beginn der Reise festgelegt. Die Schätzung wurde auf der Basis der ICES-Planquadrate durchgeführt, wobei die 40-Meter-Tiefenlinie Berücksichtigung fand. Mit dem Vorteil dieser festbegrenzten Untergebiete entsteht der Nachteil, daß Untergebiete entstehen, von denen im voraus bekannt ist, daß auf Grund der Tiefenstruktur eine große Variabilität in der Fischdichte und in der Artenzusammensetzung anzutreffen sein wird.

Die Berücksichtigung der beiden Komponenten Artenzusammensetzung und Fischdichte zur Einteilung homogener Gebiete ist nicht sinnvoll. Bei diesem Vorgehen würden kleine Flächen, die mit einer geringen Meßwertanzahl erfaßt sind, entstehen. Dadurch kommt es zu keiner Verbesserung der Schätzgenauigkeit. Die Aufteilung der verfügbaren Meßwertzahl auf die ICES-Gebiete wurde bisher entsprechend dem Flächenverhältnis der Teilgebiete vorgenommen (proportionale Aufteilung).

Eine Verbesserung würde durch eine Optimierung des Gesamtaufwandes ermöglicht, bei der die Varianz der untersuchten Variablen neben der Gebietsgröße Berücksichtigung findet (siehe COCHRAN 1972), d. h., der Aufwand für die einzelnen Schichten i wird bestimmt nach

$$n_i = n \cdot \frac{A_i s_i}{\sum_{i=1}^K A_i s_i} \quad (5.1)$$

K — Anzahl der Untergebiete
 n — möglicher Gesamtaufwand

A_i — Fläche des i ten Teilgebietes
 s_i — Standardabweichung des Integrals im i ten Gebiet
 n_i — optimaler Aufwand im i ten Gebiet

Da während der Frühjahrsreise Sprott das Hauptziel der Untersuchung ist, wäre genauer

$$n_i = n \cdot \frac{B_{s_i} \cdot s_{\varphi_i}}{\sum_{i=1}^K B_{s_i} s_{\varphi_i}} \quad (5.2)$$

B_{s_i} — Biomasse des Sprotts im i ten Untergebiet
 s_{φ_i} — Standardabweichung der Sprottdichte im i ten Gebiet

Das heißt, den Aufwand in Abhängigkeit von der Sprottbiomasse und der Sprottdichteveriation zu verteilen. Da die Standardabweichung von φ_i nicht bestimmbar ist und die Sprottbiomasse über s_m wesentlich durch die beiden anderen Fischarten beeinflusst wird, liefert die Formel (5.1.3) realistische Werte, da in ihr der über die Kontrollfänge bestimmte Anteil der Arten nur einmal berücksichtigt wird

$$n_i = n \cdot \frac{B_i s_i}{\sum_{i=1}^K B_i s_i} \quad (5.3)$$

B_i — Biomasse im i ten Teilgebiet

In der Tab. 5.1 sind die entsprechenden n_i ; n_i^* für die Jahre 1982 und 1984 angegeben.

Tabelle 5.1

Aufteilung eines Aufwandes von 1000 Meßwerten auf die ICES-Gebiete 26, 25, 24 nach verschiedenen Kriterien für die Jahre 1982, 1984

	26	25	24
1982			
proportional	473	435	92
n_i^*	313	564	125
n_i	191	671	130
Verhältnis bei der Reise	437	441	122
1984			
proportional	26	25	24
n_i^*	530	370	100
n_i	287	530	183
n_i	225	636	139
Verhältnis bei der Reise	426	476	90

Das Jahr 1983 wurde hier nicht aufgeführt, da das Verhältnis zwischen den Gebieten 25 und 26 nicht repräsentiert werden kann. Daß der Aufwand im Gebiet 24 unter dem von 25 liegt, zeigen auch die Jahre 1982 und 1984. Die Tab. 5.1 weist nach, daß zwischen der proportionalen und optimalen Aufteilung des Gesamtaufwandes an Meß-

meilen große Unterschiede bestehen. Die Ursachen liegen in der größeren Variation der Fischflächendichte im Gebiet 25, die durch die Variation der Integratorwerte repräsentiert wird.

Schlussfolgerung: Bei der Planung von hydroakustischen Aufnahmen der ICES-Gebiete 26, 25, 24 im Frühjahr ist es optimal, den möglichen Aufwand an Meßmeilen wie folgt zu verteilen:

Gebiet 26	25 $\frac{0}{10}$
Gebiet 25	60 $\frac{0}{10}$
Gebiet 24	15 $\frac{0}{10}$

5.2. Die Bestimmung des notwendigen Gesamtaufwandes im Untersuchungsgebiet

Im Punkt 5.1. wurde beschrieben, wie man die Aufteilung der möglichen Meßstrecken auf die ICES-Untergebiete optimieren kann, um in allen Teilschichten die gleiche Schätzgenauigkeit zu erreichen. Dabei wurde davon ausgegangen, daß der maximale Aufwand durch die Reisedauer, Dampfgeschwindigkeit und Meßstrecken je Tag vor der Reise abgeschätzt wird.

Offen ist das Problem, den notwendigen Gesamtaufwand an Meßstrecken und Kontrollfängen zu bestimmen, wenn eine bestimmte Schätzgenauigkeit für die Sprottbiomasse gefordert ist. Finden nur die Echoleistungen je Einheitsstrecke Berücksichtigung, so wird es bestimmt zur Unterschätzung des Aufwandes kommen.

Entsprechend der Formel (4.2.1) und 4.2.3)

$$B_s = \frac{h_s \cdot A \cdot \bar{M} \cdot 3,43 \cdot 10^6}{C \cdot \bar{sm}} = \frac{A \cdot 3,43 \cdot 10^6}{C} \cdot \frac{h_s \cdot \bar{M}}{\bar{sm}} \quad (5.2.1)$$

wird die Sprottbiomasse durch die Kombination von 3 Zufallsvariablen bestimmt, die wahrscheinlich noch durch Korrelationen verbunden sind. Die Berücksichtigung nur einer der drei Größen führt zur Überschätzung der Genauigkeit und daraus folgend zur Unterschätzung des notwendigen Probenaufwandes.

Entsprechend des Fehlerfortpflanzungsgesetzes für Funktionen von zufälligen Variablen (siehe RASCH 1968) kann die Varianz von $\frac{h_s \cdot M}{sm}$ wie folgt abgeschätzt werden.

die Varianz von $\frac{h_s \cdot M}{sm}$ wie folgt abgeschätzt werden.

$$\begin{aligned} \text{Var} \left(\frac{h_s M}{sm} \right) &\sim \left(\frac{\bar{M}}{\bar{sm}} \right)^2 \text{Var} (h_{s1}) + \left(\frac{h_s}{\bar{sm}} \right)^2 \text{Var} (M_1) \\ &+ \left(\frac{h_s \bar{M}}{\bar{sm}^2} \right)^2 \text{Var} (sm_1) + 2 \left(\frac{h_s \bar{M}}{\bar{sm}^2} \right) \text{cov} (h_{s1}, M_1) \\ &- \left(\frac{h_s \bar{M}^2}{\bar{sm}^3} \right) \text{cov} (h_{s1}, sm_1) - \left(\frac{h_s^2 \bar{M}}{\bar{sm}^3} \right) \text{cov} (M_1, sm_1) \end{aligned} \quad (5.2.2)$$

Da die Kovarianzen $\text{cov}(h_{s1}, M_1)$, $\text{cov}(h_{s1}, sm_1)$, $\text{cov}(M_1, sm_1)$ unbekannt sind bzw. nur ungenau abgeschätzt werden können, wurde zur Verdeutlichung der Genauigkeit der Sprottbiomasse und der Anteile der einzelnen Zufallsvariablen eine andere Abschätzung gewählt.

Basierend auf der Methode der Intervallarithmetik (siehe KIESEWETTER, MAESS 1974) wird das Konfidenzintervall für \bar{B}_s ,

$$[\bar{B}_s - d_{B_s}, \bar{B}_s + d_{B_s}]$$

mit Hilfe der Konfidenzintervalle von \bar{h}_s , \bar{M} , \bar{sm} abgeschätzt.

$$[\bar{h}_s \pm d_{h_s}] \quad \text{Konfidenzintervall für } \bar{h}_s$$

$$[\bar{M} \pm d_M] \quad \text{Konfidenzintervall für } \bar{M}$$

$$[\bar{sm} \pm d_{sm}] \quad \text{Konfidenzintervall für } \bar{sm}$$

Für die einzelnen Variablen wird vereinfacht angenommen, daß sie normal verteilt sind. Demzufolge gilt

$$d_i = t \left(1 - \frac{\alpha}{2}, n_i - 1 \right) \cdot \frac{s_i}{\sqrt{n_i}} \quad (5.2.3)$$

$t \left(1 - \frac{\alpha}{2}, n_i - 1 \right)$ Wert der Student-Verteilung

s_i Standardabweichung der Zufallsvariablen

n_i Anzahl der Meßwerte

Darauf aufbauend, können die Konfidenzintervalle für die Gesamtbioasse \bar{B} , \bar{B} und die Sprottbiomasse \bar{B}_s , \bar{B}_s durch folgende Formeln abgeschätzt werden.

$$\bar{B} = \frac{A}{C} \cdot 3,43 \cdot 10^6 \left[\frac{\bar{M} - d_M}{\bar{sm} + d_{sm}} \right] \quad (5.2.4)$$

$$\bar{B} = \frac{A}{C} \cdot 3,43 \cdot 10^6 \left[\frac{\bar{M} + d_M}{\bar{sm} - d_{sm}} \right] \quad (5.2.5)$$

$$\bar{B}_s = \frac{A}{C} \cdot 3,43 \cdot 10^6 \left[\frac{(\bar{M} - d_M)(\bar{h}_s - d_{h_s})}{\bar{sm} + d_{sm}} \right] \quad (5.2.6)$$

$$\bar{B}_s = \frac{A}{C} \cdot 3,43 \cdot 10^6 \left[\frac{(\bar{M} + d_M)(\bar{h}_s + d_{h_s})}{\bar{sm} - d_{sm}} \right] \quad (5.2.7)$$

Durch die Division und Multiplikation entstehen unsymmetrische Intervalle.

In Tab. 5.2 sind für einige Teilgebiete der Jahre 1982, 1983 und 1984 die Intervallgrenzen angegeben. Die ausgewählten Gebiete sind dadurch charakterisiert, daß eine große Anzahl von Kontrollfängen durchgeführt wurde. In den anderen Teilschichten wächst der Einfluß der Student-Verteilung durch die geringe Holzanzahl.

Die Tab. 5.2 zeigt in anschaulicher Form, daß die Schätzungen aus den Kontrollfängen die Hauptfaktoren für die Ungenauigkeiten sind. Besonders deutlich wird es beim Vergleich der Verhältnisse $(\bar{B} - B)/B$ und $(\bar{B}_s - B_s)/B_s$.

Durch die Variation in der Artenzusammensetzung bei den

Tabelle 5.2

Konfidenzgrenzen für die Biomasse B und Sprottbiomasse B_s in ausgewählten Gebieten der Jahre 1982, 1983, 1984 basierend auf der Intervallrechnung

Gebiet	\bar{M}	d_M	\bar{sm}	d_{sm}	\bar{h}_s	d_{h_s}	B	Konfidenzintervall \bar{B}	B_s	Konfidenzintervall \bar{B}_s	$\frac{\bar{B} - B}{B}$	$\frac{\bar{B}_s - B_s}{B_s}$
1982												
A	1,26	0,174	1,14	0,043	0,39	0,272	35100	31217 39287	13794	3777 26126	0,12	0,89
E	2,53	0,287	1,30	0,030	0,95	0,690	43100	37382 49090	41028	32596 50650	0,14	0,24
G	5,89	0,446	1,28	0,209	0,51	0,420	134700	107096 173015	68698	41095 133302	0,28	0,94
1983												
A	0,52	0,117	0,63	0,234	0,16	0,339	19013	10744 37064	3042	0 18490	0,95	5,08
D	0,57	0,110	0,09	0,115	0,51	0,187	21147	15174 28122	12958	6418 23210	0,38	0,79
H	0,29	0,037	1,11	0,322	0,51	0,451	8324	5687 13141	6658	4001 16439	0,58	1,47
1984												
0140	2,08	0,562	1,08	0,377	0,62	0,647	16215	8772 31641	10053	0 40088	0,95	2,99
6020	2,41	0,610	1,35	0,277	0,99	0,027	20694	12825 32626	20487	12350 33181	0,58	0,62
ICES 24	1,45	0,360	1,18	0,402	0,51	0,973	23602	13234 44635	12037	0 66267	0,89	4,51

Tabelle 5.3.1

Kovarianzen und Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen den Zufallsvariablen M , sm und h_s
 $cov(x, y)$ — Kovarianz zwischen den Variablen x und y
 $r(x, y)$ — Korrelationskoeffizient zwischen den Variablen x und y
 n — Anzahl der genutzten Kontrollfänge

Jahr	n	(h_s, sm)		(h_s, M)		(sm, M)	
		cov	r	cov	r	cov	r
1982	30	0,04	0,44	0,04	0,14	0,24	0,11
1983	24	1,53	0,94	0,93	0,45	0,07	0,36
1984/1	19		0,77				
1984/2			0,72				

Jahr	Gebiet	n	(h_s, sm)		(h_s, M)		(sm, M)		A	B
			cov	r	cov	r	cov	r		
1982	A	5	-0,005	-0,678	0,017	0,157	0,010	0,566	0,282	24590
1982	G	6	0,016	0,307	0,141	0,290	-0,050	-0,225	2,025	118420
1983	D	7	0,024	0,712	0,107	0,583	0,086	0,789	0,203	18653
1983	H	8	0,130	0,982	0,010	0,065	-0,073	-0,208	0,083	18223

$$A = \text{VAR} \left(\frac{M \times h_s}{sm} \right)$$

$$B = \frac{A}{C} \times 3,43 \times 10^4 \times \left[\frac{\overline{M \times h_s}}{sm} + t \times \sqrt{\frac{\text{VAR} \left(\frac{M \times h_s}{sm} \right)}{n}} \right] \quad (A6)$$

Kontrollfängen wird die Schätzung der Sprottbiomasse sehr ungenau.

Es ist auch wichtig für diese Resultate, daß eine wesentliche Steigerung der Integratorwerte bei Beibehaltung der Anzahl der Kontrollfänge nur eine sehr begrenzte Verbesserung der Schätzgenauigkeit liefert. Im Gebiet A von 1982 wäre für diesen Fall die untere Grenze von B_s 24 190 t gegenüber dem geschätzten Wert von 26 126 t.

Es kann also abschließend eingeschätzt werden, daß bei den gegenwärtigen hydroakustischen Bestandsschätzmethoden die Anzahl der Kontrollfänge im Untersuchungsgebiet erhöht werden muß, um eine Verbesserung der Sprottbiomasseschätzung zu erreichen. Einen wesentlichen Schritt in diese Richtung wäre eine kontrollfangunabhängige Schätzung der Artenanteile bzw. ein technisches Erkennen, wenn sich die Artenzusammensetzung wesentlich ändert.

Zur Illustration dieses Problems sind in Punkt 5.4. die Ergebnisse einer Dauerstation von Trawlfängen aufgeführt.

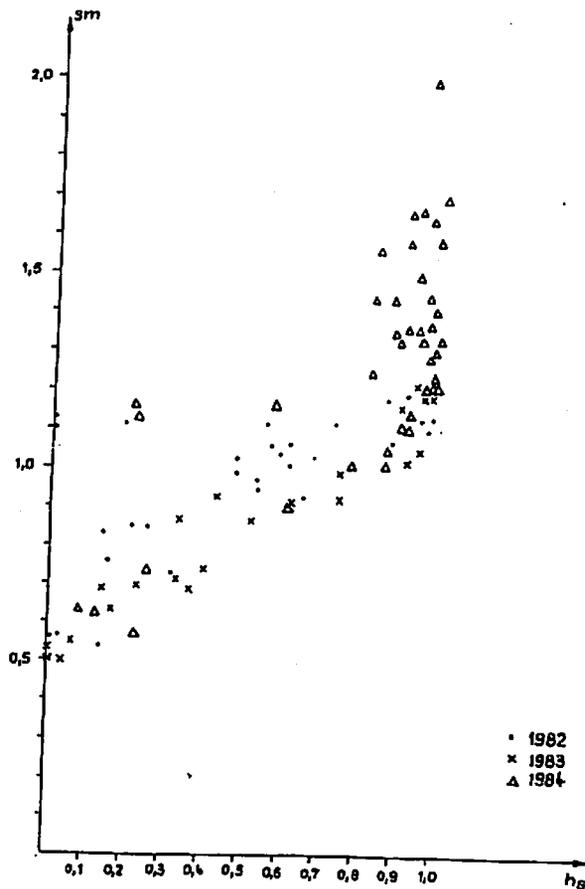
Vorher werden noch einige Ergebnisse dargestellt, die die Varianz der Sprottbiomasse entsprechend (5.2.1) erläutern.

5.3. Beziehungen zwischen den Zufallsvariablen M , sm und h_s

In 5.2. wurden Schätzungen für das Konfidenzintervall B_s , B_s angegeben. In diesem Abschnitt werden auf der Basis der Formel (5.2.2) die Varianz und das Konfidenzintervall für einige Gebiete der Jahre 1982 und 1983 angegeben. Dabei ist zu beachten, daß in diesem Fall ein symmetrisches Konfidenzintervall entsteht. In der Tab. 5.3.1 sind die Kovarianzen und Korrelationen für alle Kontrollfänge der einzelnen Jahre angeführt. Es zeigt sich, daß zwischen den einzelnen Komponenten große Korrelationen auftreten können. Im zweiten Teil der Tabelle sind für ausgewählte Gebiete der Jahre 1982 und 1983 die Kovarianzen, Korrelationskoeffizienten, die Varianz von $(M h_s) / sm$ und die darauf basierende obere Konfidenzintervallsschranke für B_s dargestellt.

Zwei Aspekte sollen hervorgehoben werden. Zum einen kann aus der guten Korrelation zwischen einzelnen Zufallsgrößen im Gesamtuntersuchungsgebiet nicht auf Teilgebiete geschlossen werden (Vergleich der Ergebnisse von 1982, 1983). Weiterhin stellt die im Abschnitt 5.2. angegebene Intervallschätzungsmethode ein geeignetes Abschätzverfahren für die Vertrauensintervalle von B_s dar. Das wird durch den Vergleich der oberen Intervallgrenzen für die gleichen Gebiete sichtbar. Es zeigt sich aber auch, daß auf Grund der geringen Korrelation zwischen M und h_s bzw. sm aus der Entwicklung des Integrals je Einheitsstrecke keine Aussagen auf die Artenzusammensetzung möglich sind.

In der Skizze 5.3.1 sind die Zusammenhänge h_s , sm für die Jahre 1982, 1983 und 1984 dargestellt. In den Teilgebieten mit nur einem Kontrollfang kann keine Aussage zur Schätzgenauigkeit gemacht werden.

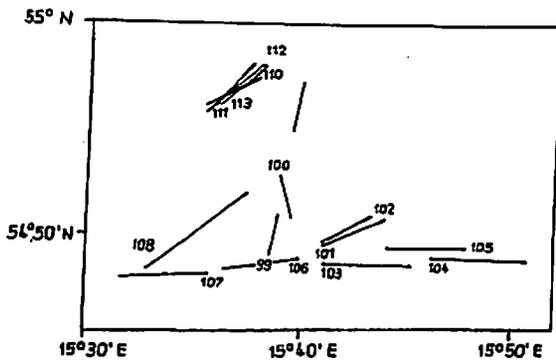


Skizze 5.3.1

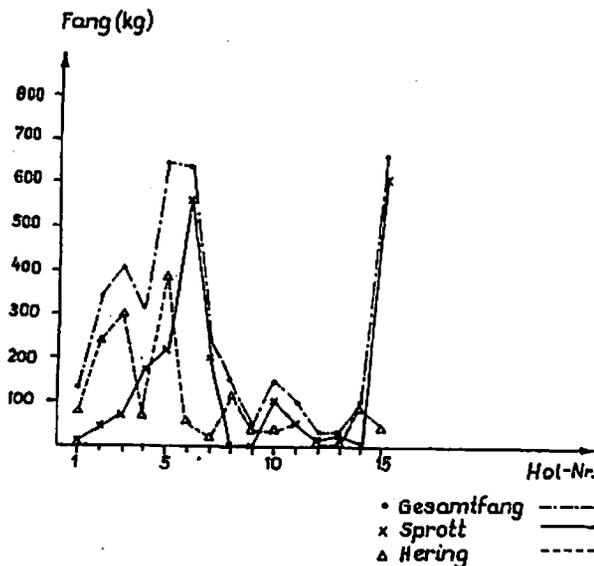
Beziehung zwischen h_s und sm für die Jahre 1982, 1983, 1984

5.4. Untersuchungen zur Artenvariabilität in der Zeit der Matreise

1983 wurde Anfang Juni im Anschluß an die hydroakustische Bestandsbestimmung des Ostseesprotts eine Dauerstation von Kontrollfängen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchung war es, Genauigkeit und Variabilität der durch die Kontrollfänge geschätzten Artenzusammensetzung einzuschätzen. Aus diesem Grunde wurden in einem engbegrenzten Gebiet 15 Fänge durchgeführt. Der Ablauf der Trawls stimmte mit dem der Hols bei den vom IfH durch-



Skizze 5.4.1
Position und Richtung der Fänge der Dauerstation des Jahres 1983



Skizze 5.4.2
Verlauf der Fänge sowie der Anteile von Sprott und Hering der Dauerstation 1983

Tabelle 5.4.1
Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen für ausgewählte Größen der Dauerstation 1983

Parameter	\bar{x}	s	d
Fang/0,5 h	270,45	237,19	152,52
Anteil Sprott	0,43	0,34	0,19
Anteil Hering	0,45	0,30	0,17
l_t Sprott AGE 1	10,58	0,46	0,28
l_t Sprott AGE 2+	11,00	0,54	0,33
l_t Hering	24,83	0,70	0,39

geführten hydroakustischen Aufnahmen überein. In Skizze 5.4.1 sind die Positionen der Fänge dargestellt. In der Skizze 5.4.2 sind der Verlauf der Fänge sowie der Anteil an Sprott und Hering abgebildet. Die Skizze 5.4.2 zeigt, daß sowohl der Gesamtfang als auch die Anteile von Sprott bzw. Hering stark schwanken. Die mittleren Längen und Gewichte sowohl des Sprotts als auch des Herings sind dazu im Gegensatz nur geringen Veränderungen unterworfen (siehe Tab. 5.4.1). Die Ergebnisse dieser Dauerstation lassen die folgenden Schlüsse zu:

- Eine Extrapolation des Kontrollfanges auf ein größeres Gebiet ist sehr ungenau. Aus diesem Grunde ist die Bestimmung der Artenzusammensetzung mit Hilfe von Kontrollfängen aus benachbarten Gebieten mit großen Fehlern behaftet.
- Es wäre zu untersuchen, ob durch die Verlängerung der Fangdauer von 0,5 h auf 1 h die Variabilität der Artenanteile verringert werden kann.

- Die beobachtete Biomasse stellt sich als eine Mischung von einzelnen Schwärmen verschiedener Arten dar, zwischen denen es keine Zusammenhänge gibt, d. h., aus der Kenntnis der Fischart eines Schwarms ist kaum eine Aussage für den benachbarten Schwarm möglich.
- Die in der Tab. 5.2 angegebene Genauigkeit des Sprottanteils aus den Kontrollfängen des Gebietes ist mit großer Wahrscheinlichkeit überschätzt.

Auch diese Ergebnisse zeigen, daß bei der Anwendung der hydroakustischen Bestandsschätzungsmethode der Bestimmung der Artenanteile größere Beachtung geschenkt werden muß.

5.5. Einige Bemerkungen zur Festlegung der Positionen der Kontrollfänge

In den Abschnitten 5.3. und 5.4. sind Ergebnisse zur Aussagefähigkeit von Kontrollfängen dargestellt. Auf Grund der großen Variabilität der Artenanteile bekommt die Festlegung der Positionen der Trawls große Bedeutung. Im Institut für Hochseefischerei werden die Fänge entlang des Reisekurses durchgeführt und es wurde versucht, dichtere Konzentrationen zu befischen, um eine aussagefähige Probe von mehr als 200 kg zu erhalten, d. h., es werden Positionen befischt, die durch Echoleistungen oberhalb einer bestimmten Grenze gekennzeichnet sind. Eine entscheidende Frage ist, ob es Zusammenhänge zwischen dem Gesamtfang und der Artenzusammensetzung gibt. In den Skizzen 5.5.1—5.5.3 sind die Beziehungen zwischen Gesamtfang pro 0,5 h und dem Sprottanteil h_s für die ICES-Gebiete 26, 25 und 24 für die Jahre 1982 bis 1984 abgebildet.

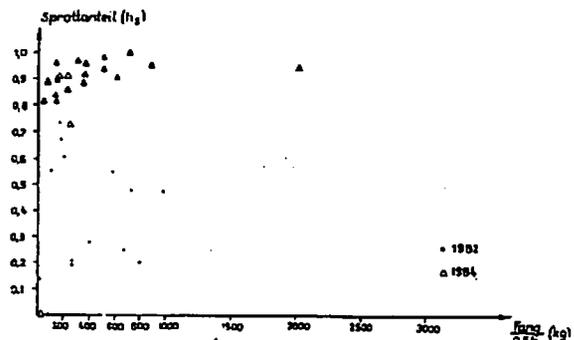
Die Skizze 5.5.2 für das ICES-Gebiet 25 zeigt, daß ab einer bestimmten Fangmenge der Sprottanteil oberhalb 90 % liegt. Bis zu einem Fang von ~ 1000 kg je 0,5 h variiert der Sprottanteil zufällig. Steigt der Fang über diese Grenze, korreliert er mit h_s . Diese Aussage wird auch durch die Ergebnisse in den ICES-Gebieten 26 und 24 unterstützt, d. h., daß bei hohen Biomassekonzentrationen im Frühjahr mit großer Sicherheit davon ausgegangen werden kann, daß es sich um Sprott handelt. Die genannte Grenze von 1000 kg ist jahresspezifisch und hängt direkt mit der bereits eingewanderten Heringsmenge zusammen.

Wird dieses Ergebnis mit der Strategie der Auswahl von Positionen für die Kontrollfänge gekoppelt, so besteht die Gefahr, daß durch die beschriebene Arbeitsorganisation der Sprottanteil überschätzt wird. Eine direkte Folge stellt die Unterschätzung der gesamten Biomasse dar. Weiterhin kann es durch die Wichtung mit dem Fang bei der Bestimmung von s_m und h_s aus mehreren Hols zu Fehlschätzungen kommen.

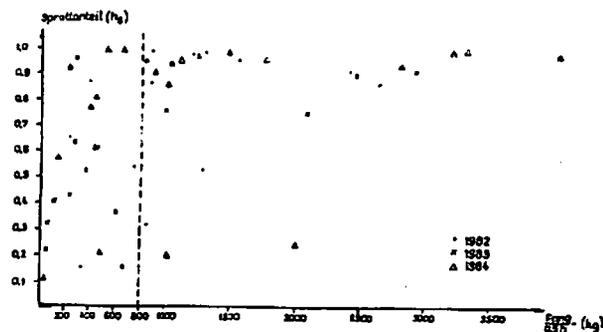
Dieses Problem wird durch die Skizze 5.5.4 verdeutlicht, in der die Gebiete hoher Integratorwerte und die Positionen der Kontrollfänge für die Jahre 1982 und 1984 gemeinsam dargestellt wurden.

Es zeigt sich, daß die Gebiete niedriger Konzentrationen weniger intensiv befischt wurden.

Ein weiteres Problem steht mit der Skizze 5.5.4 im Zusammenhang. Werden die Integratorwerte, die bei der Vorbereitung und während der Kontrollfänge gewonnen wurden, zur Biomasseschätzung hinzugezogen, kann es durch die Dreifachmessung von Konzentrationen zu einer Überschätzung von M kommen.

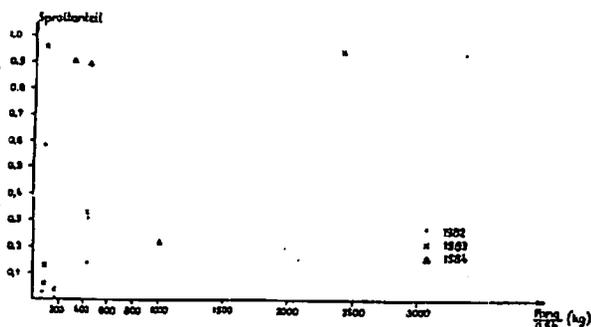


Skizze 5.5.1
Zusammenhang zwischen Fang/0,5 h und dem Sprottanteil in den Kontrollfängen der Jahre 1982, 1983 und 1984 für das ICES-Gebiet 26



Skizze 5.5.2

Zusammenhang zwischen Fang/0,5 h und dem Sprossanteil in den Kontrollfängen der Jahre 1982, 1983 und 1984 für das ICES-Gebiet 25



Skizze 5.5.3

Zusammenhang zwischen Fang/0,5 h und dem Sprossanteil in den Kontrollfängen der Jahre 1982, 1983 und 1984 für das ICES-Gebiet 24

5.6. Untersuchungen zur Länge der Einheitsstrecken und zum Abstand zwischen den Meßschnitten

In den vorherigen Abschnitten wurden die Aussagen aus den Kontrollfängen diskutiert. In diesem und dem nächsten Abschnitt werden Teilaspekte der Kurswahl der hydroakustischen Meßstrecken dargestellt.

International werden die verschiedensten Einheitsstrecken genutzt. Im IFH wird d. a. eine Seemeile zu Grunde gelegt. Aber auch 2,5 sm und noch größere Entfernungen sind international schon angewendet worden. Die Untersuchungen zeigen aber, daß es durch Zusammenfassen von Seemeilen bzw. durch eine Vergrößerung der Einheitsstrecke nicht zur Verkleinerung des Konfidenzintervalls von \bar{M}

kommt. Für eine Vielzahl von Planquadraten aus dem Jahre 1984 ist dieses Problem durchgerechnet und in der Tab. 5.6.1 zusammengefaßt worden. Zum Vergleich wurden die Standardabweichung der Mittelwerte $S_{\bar{x}}$ und die

$$\text{halbe Konfidenzintervallbreite } d = t(n-1, 1-\frac{\alpha}{2}) \cdot S_{\bar{x}}$$

für die verschiedenen Einheitsstrecken angegeben, zu einem für die Ausgangswerte x_1 und dann für zwei, drei und fünf zusammengefaßte Seemeilen. Weiterhin wurde die Anzahl der Ausgangswerte n angegeben. Als zusätzliche Größe sind die Autokorrelationskoeffizienten r_{xy} , $y_1 = x_{1+k}$ angeführt.

Aus der Tab. 5.6.1 sind vier wesentliche Sachverhalte für die Planung und Auswertung von hydroakustischen Reisen ableitbar.

- Durch das Vergrößern der Einheitsstrecke kommt es in keinem Fall zur Verbesserung der Schätzgenauigkeit.
- Es gibt einen engen Zusammenhang zwischen der Differenz $s_{\bar{y}} - s_{\bar{x}}$ für $k=1$ und r_{xy} .

In der Skizze 5.6.1 ist diese Beziehung dargestellt.

- Auch wenn $r_{xy} \sim 0$ ist, d. h., daß keine Autokorrelation vorliegt, vergrößert sich $d_{\bar{y}}$. Das ist begründet in dem Anwachsen des Quantil der Student-Verteilung $t(n-1, 1-\frac{\alpha}{2})$. Dieser Faktor wirkt sich besonders

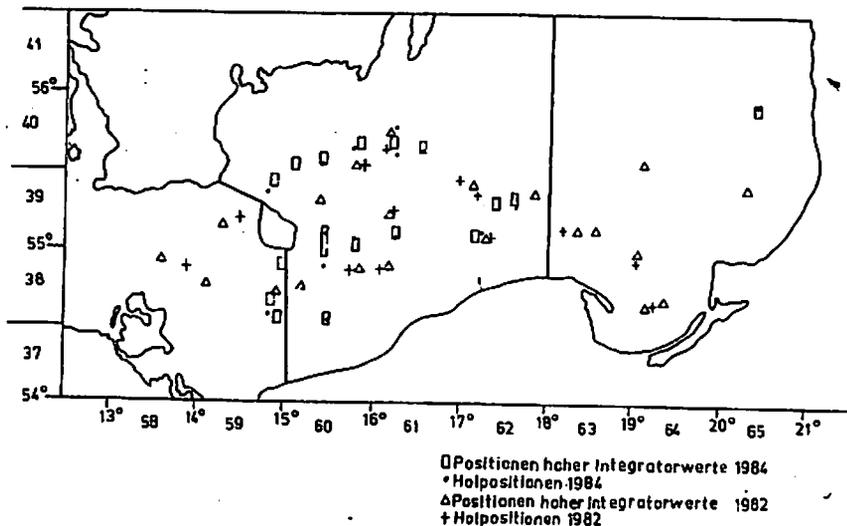
bei einer geringen Anzahl von Meßpunkten aus.

- Die Daten zeigen weiterhin, daß es große Unterschiede in der Autokorrelation aufeinanderfolgender Einheitsstrecken gibt, d. h., es kann nicht vorhergesagt werden, ob eine Autokorrelation auftritt.

Als Anhang ist der mathematische Zusammenhang zwischen $s_{\bar{y}}$ und r_{xy} dargestellt.

Aus den gezeigten Resultaten und dem mathematischen Hintergrund kann gefolgert werden, daß es sinnvoll ist, die Einheitsstrecke für das Integral so klein wie möglich zu wählen. Der Idealfall wäre die Registrierung jeder einzelnen Lotung. Die darauf aufbauende Schätzung der Genauigkeit von \bar{M} liefert die besten Resultate.

Ein weiterer Aspekt der Autokorrelation d. h., der Abhängigkeit der Integrale aufeinanderfolgender Einheitsstrecken mit dem Abstand k soll diskutiert werden. Betrachtet man die Entwicklung von r_{xy} in der Tab. 5.6.1 mit wachsendem k , so zeigt sich, daß r_{xy} abnimmt und in den meisten Fällen für $k=4$ nahe Null liegt. Mit anderen Worten, es existiert keine Abhängigkeit zwischen x_1 und x_{1+k} . Das heißt aber, daß eine Extrapolation des Integrals einer Einheitsstrecke von einer Seemeile über eine Entfernung von 2 oder 3 Einheitsstrecken sehr ungenau ist. Eine Folge dieser Aussage ist, daß die Ergebnisse benachbarter Schnitte, die einen größeren Abstand als ~ 6



Skizze 5.5.4

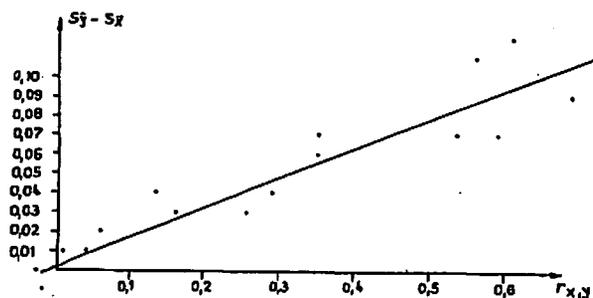
Darstellung der Positionen der Kontrollfänge und hoher Integratorwerte

Tabelle 5.6.1

Standardabweichung und halbe Konfidenzintervallbreite sowie die Autokorrelationskoeffizienten für zwei, drei und fünf zusammengefaßte Seemeilen für Planquadrate aus dem Jahre 1984

Gebiet	s _N	d _N	r _{xy}	k = 1			k = 2			k = 5			n
				s _y	d _y	r _{xy}	s _y	d _y	r _{xy}	s _y	d _y	r _{xy}	
ICES 24 (2)	0.41	0.82	0.61	0.52	1.04	0.39	0.61	1.27	0.0	0.73	2.03	64	
ICES 24 (1)	0.03	0.16	0.26	0.11	0.22	0.10	0.12	0.25	0.10	0.13	0.28	65	
PQ 6038	0.31	0.62	0.56	0.41	0.83	0.38	0.45	0.92	0.32	0.61	1.29	89	
PQ 6140	0.29	0.58	0.60	0.38	0.77	0.45	0.41	0.84	0.20	0.54	1.14	90	
PQ 6239	0.34	0.68	0.53	0.41	0.83	0.27	0.45	0.92	0.20	0.57	1.20	93	
PQ 6311 (1)	0.23	0.45	0.57	0.29	0.52	0.54	0.34	0.77	0.44	0.47	1.21	31	
PQ 6341 (2)	0.17	0.35	0.35	0.22	0.49	0.33	0.29	0.64	0.26	0.36	0.93	36	
PQ 6441 (2)	0.15	0.31	0.35	0.22	0.45	0.34	0.27	0.59	0.31	0.35	0.86	36	
PQ 6440 (2)	0.11	0.22	0.29	0.15	0.32	0.24	0.10	0.41	0.14	0.23	0.59	33	
PQ 6210 (1)	0.16	0.33	0.17	0.19	0.42	0.11	0.17	0.56	0.21	0.34	1.08	23	
PQ 6441 (1)	0.10	0.20	0.13	0.14	0.30	0.11	0.17	0.37	0.07	0.20	0.49	36	
PQ 6340 (1)	0.11	0.22	0.06	0.13	0.28	0.03	0.16	0.36	-0.08	0.19	0.49	32	
PQ 6340 (2)	0.06	0.12	-0.02	0.06	0.13	0.03	0.06	0.13	-0.03	0.07	0.17	37	
PQ 6239 (1)	0.09	0.18	-0.01	0.08	0.17	-0.03	0.05	0.18	-0.01	0.08	0.20	35	
PQ 6329 (2)	0.11	0.22	0.01	0.12	0.25	0.01	0.13	0.28	0.05	0.15	0.37	39	
PQ 6439†	0.04	0.08	0.04	0.05	0.10	0.04	0.06	0.13	0.01	0.07	0.17	43	

s - Standardabweichung
d - halbe Konfidenzintervallbreite
r_{xy} - Autokorrelationskoeffizient für y_j = x_{j+1}
n - Anzahl der gemessenen Seemeilen



Skizze 5.6.1
Beziehungen zwischen s_y - s_x für k=1 und der Autokorrelation r_{xy}, y_j = x_{j+1} für Daten aus dem Jahr 1984

Einheitsstrecken haben, nicht durch Isolinien verbunden werden können, ohne eine sehr große Unsicherheit einzukalkulieren. Bei einem Abstand von 15 sm können die Meßwerte einer Geraden also nur als jeweils eine Zufallsstichprobe entlang eines Schnittes betrachtet werden. Im Fall einer angestrebten Isolinienauswertung muß ein Abstand von 4-5 Seemeilen zwischen den Schnitten eingehalten werden. Damit wächst aber der Zeitfond der Reise beträchtlich und die Einflüsse von Schwarmwanderungen vergrößern sich.

5.7. Untersuchungen zur Verteilungsform der Integratorwerte je Einheitsstrecke

In früheren Abschnitten wurden die Genauigkeiten von B und Bs abgeschätzt. Für diese Rechnung wurde zu Grunde gelegt, daß die Zufallsgrößen M, h_s und s_m annähernd normal verteilt sind. In der Literatur wurden

Tabelle 5.7.1

Häufigkeitsverteilung der Echoleistungen für ausgewählte Gebiete der Jahre 1982, 1983 und 1984

M _j	1982 Gebiete		M _j	1983 Gebiete		M _j	1984 Gebiete	
	A	B+C+D		A+E+F	B+C+D		A	B
0,9-1,0	18	53	0,0-0,2	6	23	0-1,2	16	12
-1,3	53	61	-0,4	16	102	-1,6	60	43
-2,0	34	49	-0,6	13	60	-2,0	72	31
-2,3	23	40	-0,8	10	30	-2,4	64	16
-3,0	21	35	-1,0	17	26	-2,8	25	16
-3,5	20	21	-1,2	2	10	-3,2	22	13
-4,0	6	20	-1,4	2	6	-3,6	14	9
-4,5	8	11	-1,6	3	0	-4,0	20	9
-5,0	5	10	-1,8	1	7	-4,4	14	
-5,5	3	0	-2,0	2	7	-4,8	14	
-6,0	1	4	-2,2	3	3	-5,2	6	
-6,5	3	2	-2,4	2				
			-2,6	2		-6,0	16	
			-2,8	1		-6,8		10
			-3,0					
						-15,0	26	
						-20,0		10

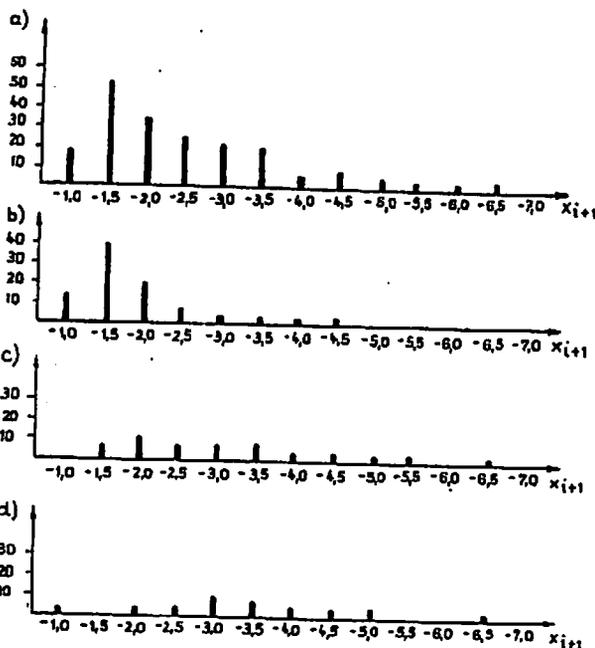
1984 Gebiet A entspricht PQ 6038 + 5940 + 6239
1984 Gebiet B entspricht PQ 6139 + 6140 + 6039 + 6040 + 6038

Tabelle 5.7.2

Vergleich der praktischen Häufigkeitsverteilung mit der logarithmischen Normalverteilung n × p_i für zusammengefaßte Gebiete der Jahre 1982 und 1983
χ²-Testwert

χ²(α, m-1) Quantil der χ²-Verteilung, α = 0,05

1982 A	B+C+D				1983	A+E+F		B+C+D	
	M _j	H _j	n × p _i	H _j		n × p _i	M _j	H _j	n × p _i
0-1,0	18	19	53	44	0-0,4	22	20	126	116
-2,0	87	83	110	121	-0,8	23	23	99	98
-3,0	44	54	75	70	-1,2	9	9	36	44
-4,0	26	23	41	41	-1,6				
-5,0	13	10	21	20	-2,0	8	5	26	31
-6,0			13	10					
-6,5	7	5			-2,8			8	9
-0,5			12	11					
					-5,0			7	5
χ ² (α,m)	3,6		4,0			2,0		2,7	
χ ² (α,m)	7,0		9,5			3,8		7,8	



Skizze 5.7.1

Häufigkeitsverteilung M der Echoleistungen für das Gebiet A des Jahres 1982 in Abhängigkeit vom Vorgänger

- a) alle Werte
- b) x_{i+1} unter der Bedingung x_i ∈ (1,0; 1,9)
- c) x_{i+1} unter der Bedingung x_i ∈ (2,0; 2,9)
- d) x_{i+1} unter der Bedingung x_i ∈ (3,0; 3,9)

Tabelle 5.8.1

Anteil der Konzentrationen an der Gesamtecholeistung in den Untergebieten des Jahres 1982

Gebiet	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Mellenzahl	192	103	73	130	253	73	255	71	164
Echoleistung	443,9	332,7	163,5	293,8	645,2	185,3	1502,0	154,1	467,4
Mellenzahl $M_1 > 6$	1	5	3	3	7	13	100	6	16
Echoleistung	8,4	37,1	23,7	20,4	51,7	127,7	964,9	51,9	167,6
Mittelwert	6,4	7,4	7,9	6,8	7,4	9,8	9,6	10,4	10,5
Mellenzahl $M_1 \leq 6$	191	88	70	127	247	62	155	65	148
Echoleistung	427,5	295,6	112,8	273,4	593,5	37,6	337,1	102,2	300,4
Mittelwert	2,2	3,3	1,6	2,2	2,4	0,9	3,5	1,6	2,0

Tabelle 5.8.2

Anteil der Konzentrationen an der Gesamtecholeistung in den Untergebieten des Jahres 1983

Gebiet	B	C	D	E	F	G
Mellenzahl	87	51	162	10	9	89
Echoleistung	53,3	50,8	109,3	13,4	4,9	37,9
Mellenzahl $M_1 > 1$	14	15	25	5	1	14
Echoleistung	23,9	32,1	41,3	7,4	1,6	25,9
Mittelwert	1,7	2,1	1,7	1,3	1,6	1,9
Mellenzahl $M_1 \leq 1$	73	36	137	15	8	25
Echoleistung	29,4	18,7	60,0	6,0	3,0	12,0
Mittelwert	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5

Tabelle 5.8.3

Anteil der Konzentrationen an der Gesamtecholeistung in den Untergebieten des Jahres 1984

Planquadrat	6540	6140	6039	6038	6239	Gebiet 24
Mellenzahl	48	90	63	80	93	130
Echoleistung	110	187	133	215	240	189
Mellenzahl $M_1 \geq 4$	6	11	10	15	17	8
Echoleistung	41	91	64	116	127	69
Mittelwert	6,8	8,3	6,4	7,7	7,5	8,8
Mellenzahl $M_1 < 4$	42	79	53	74	78	122
Echoleistung	69	96	68	99	113	120
Mittelwert	1,6	1,2	1,7	1,3	1,5	1,0

auch schon andere Verteilungen herangezogen. Auch während der Malreisen zeigten sich wiederholt große Abweichungen von der Normalverteilung.

Im IFH wurden zu diesem Problem Untersuchungen durchgeführt. Um eine große Aussagefähigkeit zu erhalten, wurden mehrere Teilgebiete mit annähernd gleicher Fischartenzusammensetzung der Kontrollfänge zusammengefaßt. In der Tab. 5.7.1 sind für die Jahre 1982, 1983 und 1984 für ausgewählte Gebiete die Häufigkeitsverteilungen der Echoleistungen je Seemeile dargestellt. Es wurden verschiedene theoretische Häufigkeitsverteilungen getestet. Für die Jahre 1982 und 1983 wurde für die zusammengefaßten Gebiete die logarithmische Normalverteilung nicht abgelehnt. Die Häufigkeitsverteilung und die theoretische Verteilung sind in der Tab. 5.7.2 dargestellt. Es wurde der χ^2 -Anpassungstest (siehe RASCH, ENDERLEIN und HERRENDÖRFER 1973) zum Vergleich der Verteilungen genutzt. Für 1984 wurde die Hypothese der logarithmischen Normalverteilung signifikant abgelehnt. Gegen eine Normalverteilung der Integratorwerte spricht auch die in 5.6. teilweise auftretende Autokorrelation zwischen den Werten x_1 und x_{1+1} . In der Skizze 5.7.1 sind zur Illustration für das Gebiet A des Jahres 1982 die Verteilungen von x_{1+1} in Abhängigkeit von $x_1 \in [a, b]$ dargestellt.

Diese Ergebnisse zeigen, daß die Annahme der Normalverteilung für die Integratorwerte nicht in jedem Fall zulässig ist. Es kann aber auch von keiner anderen theoretischen Wahrscheinlichkeitsverteilung ohne Kontrolle ausgegangen werden.

5.8. Einfluß von dichten Konzentrationen in Form von hohen Integratorwerten auf die Schätzung der Biomasse

Die Genauigkeit der Biomasseschätzung wird auch durch die Varianz der Integratorwerte bestimmt. Die oft in einem kleinen Gebiet auftretenden extrem hohen Werte haben einen wesentlichen Einfluß.

In diesen kleinen Flächen befindet sich aber ein großer Teil der Biomasse. In den Tab. 5.8.1 bis 5.8.3 sind die Anteile der Konzentrationen an der Gesamtecholeistung in einigen Untergebieten der Jahre 1982, 1983 und 1984 dargestellt. Dabei wurden die Trenngrenzen subjektiv festgelegt und so gewählt, daß sie in etwa das Zweifache der

mittleren Echoleistung des Jahres erreichen. In jedem Jahr konzentrieren sich in einigen Untergebieten auf kleinen Flächen mehr als die Hälfte der Biomasse. Da das exakte Ausmaß der jeweiligen Fläche unbekannt ist, entstehen große Unsicherheitsfaktoren, die, wie früher gezeigt, auch nicht durch die Anwendung von Isolinen verbessert werden können. Diese Ergebnisse weisen aber darauf hin, daß das exakte Ausmessen dieser Konzentrationen durch operative Suchkurse eine Verbesserung der Schätzgenauigkeit ermöglichen könnte.

Ein weiterer interessanter Gesichtspunkt ist die Verteilung der Mittelwerte für die einzelnen Jahre. Speziell die Verteilung der Mittelwerte für die M_1 unterhalb der Schranke für die Jahre 1983 und 1984. Sie variieren nur geringfügig, so daß die Unterschiede in den Mittelwerten der Echoleistung der einzelnen Gebiete durch die Anzahl der beobachteten hohen Konzentrationen bestimmt wird.

5.9. Einteilung der ICES-Gebiete 26, 25 und 24 in artenhomogene Teilgebiete

Im Abschnitt 5.1. wurden Richtwerte für die optimale Aufteilung des Aufwandes an Meßstrecken auf die ICES-Gebiete 26, 25 und 24 während der Frühjahrsreisen angegeben. Um eine möglichst gute Genauigkeit zu erreichen, wird international eine Einteilung des Untersuchungsgebietes in artenhomogene Teilschichten angestrebt. Im Institut für Hochseefischerei wurden verschiedene Ansätze in den Jahren 1982, 1983 und 1984 genutzt (siehe Skizzen 4.2.1 und 4.2.2).

Tabelle 5.9.1

Anteil des Sprotts in % in den Teilgebieten I—VIII für die Jahre 1982, 1983 und 1984

Gebiet	1982		1983		1984	
	AGE 1	AGE 2+	AGE 1	AGE 2+	AGE 1	AGE 2+
I	1,2	37,8			4,1	90,9
II	3,9	37,1			0,2	94,8
III	7,2	30,9			17,1	88,9
IV	3,8	50,2	4,3	11,9	0,6	80,0
V	22,9	40,1	60,5	24,5	18,3	80,7
VI	0,3	52,7	14,2	48,8	0,7	95,3
VII	1,3	47,7	6,2	71,8	0,6	81,4
VIII	4,5	86,9	81,5	14,5	19,1	75,9

Im folgenden werden die Ergebnisse der Kontrollfänge der Jahre 1982, 1983 und 1984 in bezug auf diese Problemstellung verglichen. Dabei wurden rein subjektiv die folgenden Teilgebiete festgelegt:

- I Südliches Gotlandbecken (tiefer als 100 m)
- II Küste der Sowjetunion (tiefer als 40 m)
- III Gdanskter Becken (tiefer als 100 m)
- IV Slupsker Rinne (tiefer als 40 m)
- V südliches Bornholmbecken (tiefer als 40 m)
- VI mittleres Bornholmbecken (tiefer als 40 m)
- VII nördliches Bornholmbecken (tiefer als 40 m)
- VIII südlich Bornholm

Für diese Teilgebiete wurden für die einzelnen Jahre verschiedene Parameter der Kontrollfänge verglichen. In Tab. 5.9.1 sind die mittleren Sprottanteile der geschätzten Biomasse nach Altersklasse 1 und 2+ getrennt angegeben. Dabei wurden in jedem Jahr die in den einzelnen Gebieten durchgeführten Hols ausgewertet. In Tab. 5.9.2 sind für die Altersklassen 1 und 2+ des Sprotts die mittleren Längen und die Massenstreuquerschnitte für $F = 38$ kHz zusammengefaßt. Die Ergebnisse zeigen, daß große Gebiete als artenhomogen zusammengefaßt werden können. Die Differenzen bei der mittleren Länge der Alterklasse 1 können auf teilweise geringe Probenzahlen zurückgeführt werden.

Es wird vorgeschlagen, die folgenden Gebiete als artenhomogene Einheiten anzusehen:

Tabelle 5.9.2

Mittlere Länge l_t und Massenstreuoeffizient sm (10^{-3}) für $F = 38$ kHz des Sprotts in den Teilgebieten I-VIII für die Jahre 1982, 1983 und 1984

Gebiet	1982		1983		1984		1984		1984	
	AGE 1 l_t	sm	AGE 2+ l_t	sm	AGE 1 l_t	sm	AGE 2+ l_t	sm	AGE 1 l_t	sm
I	9,3	2,20	12,0	1,25					8,7	2,45
II	9,0	2,33	12,2	1,30					9,1	2,26
III	9,2	2,23	12,0	1,41					9,0	2,33
IV	9,2	2,23	12,4	1,34	10,5	1,76	13,3	1,10		
V	9,4	2,16	12,7	1,29	10,1	1,68	13,3	1,10	9,9	1,98
VI	0,1	2,27	12,8	1,27	10,5	1,78	13,6	1,13		
VII	0,4	2,14	12,7	1,28	10,3	1,63	13,6	1,14	10,1	1,80
VIII	9,8	2,00	12,8	1,28	10,4	1,80	14,8	1,05	10,1	1,00

- A) südliches Gollandbecken und die Küste der Sowjetunion
- B) Gdänsker Becken
- C) Slupsker Rinne
- D) nördliches und mittleres Bornholm-Becken
- E) südliches Bornholm-Becken zwischen 40 m und 80 m und südlich Bornholm
- F) ICES-Gebiet 24

Diese Gebiete stellen artenhomogene Bereiche bezüglich des Anteils von Sprott der Altersklasse 2+ und der Altersklasse 1 sowie bezüglich der mittleren Längen dar. Um eine Vergleichbarkeit der Schätzungen verschiedener Jahre zu erreichen, ist es sinnvoll, eine einmal festgelegte Einteilung über mehrere Jahre beizubehalten. Ein Vorteil dieser vorgeschlagenen großen Gebiete ist, daß eine große Probenentnahme realisiert wird. Im folgenden Abschnitt soll der Einfluß der festgelegten Teilgebiete illustriert werden.

5.10. Vergleich der Biomasse unterschiedlicher Einteilung in Teilgebiete

1983 wurden für das ICES-Gebiet 25 die Biomassen mit Hilfe von drei verschiedenen Gebietsaufteilungen berechnet, um den Einfluß der Schichtung darzustellen. Es wurden die folgenden Strategien genutzt:

- A) Gebiet 25 als Gesamtgebiet
- B) Gebiet 25 entsprechend der in Skizze 4.2.2 angegebenen Aufteilung
- C) Gebiet 25 aufgeteilt in Quadrate der Größe 20' x 30'

In Tab. 5.10.1 sind die einzelnen Schätzungen zusammengefaßt. (Der Unterschied zwischen der Schätzung für B und den Ergebnissen in Tab. 4.2.1 liegt darin begründet, daß die der Tab. 5.10.1 zugrunde liegenden Integratorwerte unkorrigiert benutzt wurden.) Die Unterschiede zwischen den einzelnen Schätzungen in Tab. 5.10.1 sind beträchtlich (Hering von 16,6 kt auf 41,9 kt). Ein Hauptgrund für diese Differenzen sind die durch die genutzten Schichtungen hervorgerufenen Repräsentationsflächen der Kontrollfänge. Die Repräsentationsfläche eines Hols ergibt sich aus dem Quotienten von Gebietsfläche und Anzahl der durchgeführten Trawls. In Tab. 5.10.2 sind die Repräsentationsflächen für die einzelnen Kontrollfänge angegeben. In der Skizze 5.10.1 sind diese Daten anschaulich dargestellt. Es zeigt sich, daß die Wahl der Gebietsgrenzen, nachdem die Reise beendet ist, großen Einfluß auf die geschätzte Biomasse und die Anteile der Arten haben kann. Dieser Faktor ist dann aber stark subjektiv beeinflusst, was ein Ausgangspunkt für Fehlschätzungen ist.

Tabelle 5.10.1

Schätzung der Biomassen für das ICES-Gebiet 25 entsprechend der angegebenen Schichtung für das Jahr 1983

Einteilung	A	B	C
Biomasse gesamt (kt)	77,5	90,2	87,0
Biomasse Sprott (kt)	98,9	57,3	40,1
Biomasse Hering (kt)	16,6	31,1	41,9
Biomasse Dorsch (kt)	2,0	1,8	4,9

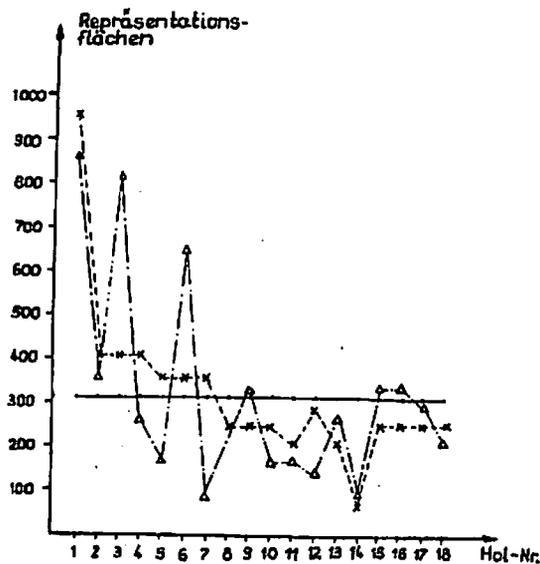
6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Aufbauend auf den Daten der hydroakustischen Bestandsbestimmungen des Ostseesprotts im Frühjahr der Jahre 1982, 1983 und 1984 in den ICES-Gebieten 24, 25 und 26 wurden spezielle Untersuchungen durchgeführt, um die Schätzgenauigkeit durch die Gestaltung der Kurswahl zu verbessern. Dabei wurden die in der Literatur diskutierten

Tabelle 5.10.2

Repräsentationsflächen für die einzelnen Kontrollfänge im Gebiet 25 des Jahres 1983 entsprechend der oben angegebenen Aufteilungsvarianten

Hol Nr.	Anteile Sprott	Hering	Dorsch	Fang/h (kg)	A	B	C
75	0,960	0,040	—	1242	319,7	955,0	861,0
76	0,324	0,651	0,025	52	319,7	407,7	255,0
77	0,158	0,833	0,009	677	319,7	407,7	819,0
78	0,003	0,997	—	51	319,7	407,7	255,0
79	0,964	0,036	—	281	319,7	356,7	167,0
80	0,421	0,322	0,257	261	319,7	356,7	647,0
81	0,899	0,086	0,016	2439	319,7	356,7	84,5
82	0,743	0,235	0,022	2098	319,7	249,6	251,5
83	0,630	0,217	0,183	281	319,7	249,6	334,0
84	0,360	0,640	—	610	319,7	249,6	167,0
85	0,808	0,080	0,012	2861	319,7	204,0	167,0
86	—	0,967	0,033	54	319,7	287,0	142,0
87	0,046	0,917	0,037	811	319,7	204,0	256,0
88	—	0,974	0,026	72	319,7	64,0	95,0
89	0,521	0,292	0,187	363	319,7	249,6	334,0
90	0,400	0,575	0,025	102	319,7	249,6	332,0
91	0,732	0,229	0,019	994	319,7	249,6	289,0
92	0,223	0,571	0,208	52	319,7	249,6	204,0



- Schichtung Variante A
- x Schichtung Variante B
- △ Schichtung Variante C

Skizze 5.10.1

Repräsentationsflächen für die 1983 im ICES-Gebiet 25 durchgeführten Kontrollfänge entsprechend der vorgegebenen Schichtung

Probleme wie Genauigkeit des Zielmaßes, zeitabhängige Verstärkung, Fluchtreaktion u. ä., die die Genauigkeit der Biomasseschätzung beeinflussen, vernachlässigt. Zu den folgenden Punkten wurden Ergebnisse vorgestellt bzw. Methoden erarbeitet.

- Abschätzung des Konfidenzintervalls für die Sprottbiomasseschätzung,
- Einfluß der Wahl der Positionen der Kontrollfänge und der Variabilität der Artenanteile auf das Konfidenzintervall,

- Abschätzung des Einflusses der Autokorrelation aufeinanderfolgender Integratorwerte auf die Länge des Integratorweges und auf den Abstand zwischen parallelen Meßstrecken,
- Verteilung des Aufwandes an Meßdaten auf die ICES-Gebiete 26, 25 und 24,
- Einteilung des Untersuchungsgebietes in möglichst große artenhomogene Teilgebiete,
- Abschätzung des Einflusses von großen Konzentrationen auf die Biomassenschätzung,
- der Zusammenhang zwischen dem Sprotanteil und dem Massenstreuquerschnitt für die Kontrollfänge.

Die Ergebnisse weisen nach, daß durch die Wahl des Reiseskurses, die Schichtung des Gebietes und die Wahl der Positionen für die Kontrollfänge großer Einfluß auf die Genauigkeit der Schätzung genommen werden kann, ohne den Aufwand zu erhöhen. Den Hauptfaktor für die Ungenauigkeit der Schätzung stellt die Bestimmung der Artenanteile durch die Kontrollfänge dar. Das ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt aber nur durch eine Erhöhung der Hols verbesserbar.

Für die hydroakustische Bestandsschätzung der ICES-Gebiete 26, 25 und 24 im Frühjahr können die folgenden Empfehlungen gegeben werden:

1. Schichtung des Untersuchungsgebietes in
 - A - südliches Gotland-Becken und sowjetische Küste
 - B - Gdasker Becken
 - C - Slupsker Rinne
 - D - mittleres und nördliches Bornholm-Becken
 - E - südliches Bornholm-Becken und südlich Bornholm
 - F - ICES-Gebiet 24
2. Verteilung des Meßaufwandes entsprechend

ICES 26	25 $\frac{0}{n}$
ICES 25	60 $\frac{0}{n}$
ICES 24	15 $\frac{0}{n}$
3. Auswertung jeder Einzeltotung zur Bestimmung der Varianz des mittleren Integratorwertes
4. Abschätzung des Konfidenzintervalls für die Sprotbiomasse durch Intervallrechnung
5. Auswertung der einzelnen Kursschnitte als aufeinanderfolgende Zufallsstichprobe

Diese Empfehlungen gelten aber nur für den Zeitraum Mitte April bis Anfang Juni. Sie sind nicht ohne spezielle Untersuchungen auf andere Zeiträume, z. B. Oktober, im selben Gebiet übertragbar.

Anhang

Die Autokorrelation aufeinanderfolgender Integratorwerte und deren Einfluß auf die Länge der Integrationsstrecke

Die Autokorrelation ist ein normiertes Maß für den Zusammenhang zwischen x_i und x_{i+k} . Dabei stellt x_i eine Folge von Realisierungen einer Zufallsvariablen dar, z. B. die Integrationswerte entlang eines Kurses, k ist der Abstand, für den die Autokorrelation $r_{x_i x_{i+k}}$ berechnet werden soll.

$$r_{x_i x_{i+k}} = \frac{\text{cov}_{x_i x_{i+k}}}{s_{x_i} s_{x_{i+k}}} \quad (\text{A1})$$

$$\text{cov}_{x_i x_{i+k}} = \frac{1}{n-k-1} \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_i x_{i+k} - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_i \right) \left(\sum_{i=k+1}^n x_i \right) \right) \quad (\text{A2})$$

$$s_{x_i} = \left(\frac{1}{n-k-1} \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_i^2 - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=1}^{n-k} x_i \right)^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A3})$$

$$s_{x_{i+k}} = \left(\frac{1}{n-k-1} \left(\sum_{i=k+1}^n x_i^2 - \frac{1}{n-k} \left(\sum_{i=k+1}^n x_i \right)^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A4})$$

$\text{cov}_{x_i x_{i+k}}$ Kovarianz zwischen x_i und x_{i+k} .

Der Einfluß der Autokorrelation bzw. der Kovarianz zwischen x_i und x_{i+k} auf die Länge der Integrationsstrecke wird im folgenden gezeigt.

Sei x_i eine Folge von Realisierungen einer Zufallsvariablen mit dem Mittelwert \bar{x} und der Varianz s_x^2 .

Weiterhin sei y_i der Mittelwert von jeweils m aufeinanderfolgenden x_i , $i = m(j-1) + 1, m \cdot j$ Werten. Das heißt

$$y_i = \sum_{l=m(j-1)+1}^{mj} x_l \quad (\text{A5})$$

Dann gilt

Literatur

1. COCHRAN, W. G.: Stichprobenverfahren. Berlin, New York: Walter de Gruyter 1972.
2. EDWARDS, J. I.; ARMSTRONG, F.: Target strength measurements on herring, sprat and mackerel. ICES C.M. 1983/B:23.
3. FORBES, S. T.; SIMMONDS, E. S.; EDWARDS, J. I.: Target strength measurements on live gadoids. ICES Symposium on Fisheries Acoustic, Bergen, Norway, 21-24 June 1982, No. 77.
4. LOVE, R. H.: Measurements of fish target strength: A review. Fishery Bull. Fish Wildl. Serv. US.89 1971.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{\frac{n}{m}} y_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{\frac{n}{m}} \left(m \frac{1}{m} \sum_{l=m(j-1)+1}^{mj} x_l \right) = \bar{x}$$

und

$$s_y^2 = \frac{1}{\frac{n}{m} - 1} \left(\sum_{j=1}^{\frac{n}{m}} y_j^2 - \frac{1}{\frac{n}{m}} \left(\sum_{j=1}^{\frac{n}{m}} y_j \right)^2 \right) \quad (\text{A6})$$

$$= \frac{m}{n-m} \left(\sum_{j=1}^{\frac{n}{m}} x_j^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_j \right)^2 + 2 \sum_{j=1}^{\frac{n}{m}} \sum_{l=m(j-1)+1}^{mj-1} \sum_{k=m(j-1)+1}^{mj} x_l x_k - \frac{m-1}{n} \left(\sum_{l=1}^n x_l \right)^2 \right) \quad (\text{A7})$$

$$\sim s_x^2 + 2 \frac{(m-1)}{m} \text{cov}_{x_1 x_{1+1}} + \dots + 2 \frac{(m-(m-1))}{m} \text{cov}_{x_1 x_{1+m-1}} \quad (\text{A8})$$

$$\sim s_x^2 + 2 \sum_{k=1}^{m-1} \frac{m-k}{m} \text{cov}_{x_1 x_{1+k}} \quad (\text{A9})$$

Die Formel (A8) zeigt, daß der Hauptfaktor für die Differenz zwischen s_y^2 und s_x^2 die Größe der Kovarianz $\text{cov}_{x_1 x_{1+1}}$ ist und ein direkter Zusammenhang existiert, der unabhängig vom Untersuchungszeitraum und von der beobachteten Fischart ist. Gilt für alle $\text{cov}_{x_1 x_{1+k}} \geq 0$, $k = 1, \dots, m-1$, so vergrößert sich durch das Zusammenfassen und Bilden von Mittelwerten die Varianz des geschätzten Mittelwertes.

5. KIESEWETTER, H.; MAESS, G.: Elementare Methoden der numerischen Mathematik. Berlin: Akademie Verlag 1974.
6. RASCH, D.: Elementare Einführung in die mathematische Statistik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980.
7. RASCH, D.; ENDERLEIN, G.; HERRENDÖRFER, G.: Biometrie. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag 1973.
8. SHOTTON, R.; BAZIGOS, G. P.: Techniques and considerations in the design of acoustic surveys. ICES Symposium on Fisheries Acoustic, Bergen, Norway, 21-24 June 1982, No. 4.