

# Genauigkeit von Alterslesungen, ihre Standardisierung und Kalibrierung

Joachim Gröger, Institut für Ostseefischerei

Der Aufbau bzw. die Heterogenität einer Fischpopulation ist vor allem dadurch geprägt, dass sie sich aus Individuen unterschiedlichen Alters (Kohorten) zusammensetzt. Der Altersaufbau hat einen fundamentalen Einfluss auf die Entwicklungscharakteristik eines Bestandes. So kann die Alterszusammensetzung den Reifungsprozess durch Quantität und Qualität seiner Fortpflanzungsprodukte und über weitere Mechanismen die Rekrutierungsrate beeinflussen. Letztere beeinflusst wiederum die Bestandsstärke und damit auch das Überlebenspotential des betroffenen Bestandes. Aber auch die Mortalitätsrate eines Bestandes sowie seine korrespondierende Wachstumsgeschwindigkeit können durch den Altersaufbau des Bestandes signifikant beeinflusst werden. Theoretisch ließe sich anhand von altersbezogenen Kenngrößen der („Gesundheits-“)Zustand eines Bestandes ablesen (Jahrgangsstärke, Jahrgangsausfall etc.).

Wird ein Bestand fischereilich genutzt, müssen eine Reihe wichtiger altersbezogener Mechanismen und Prozesse berücksichtigt werden, um einen aus fische-reibiologischer Sicht plausiblen Nutzungsgrad z. B. in Form von Fangquoten zu errechnen. Dabei gilt es, ein optimales Gesamtentwicklungspotential des betroffenen Bestandes einzustellen, das aus fischereibiologischer Sicht nach den Prinzipien der Vorsorge und der Nachhaltigkeit einen dauerhaften, langfristigen Nutzungserfolg sichert. Dazu gehört die Identifikation bestimmter Kenngrößen wie das Rekrutierungs- oder das Selektionsalter. Dadurch, dass das Alter eines Tieres auf natürliche Weise mit seiner Länge verbunden ist (Längen-Alters-Beziehung), findet bei Fischen zumeist eine Selektion bestimmter Größen- und damit Altersgruppen statt. Diese führt zu einer Veränderung in der Alterszusammensetzung, oft durch

Ausdünnung und/oder durch Kappung der Altersobergrenze der betroffenen Population.

Findet innerhalb dieser Beziehung durch zu schnelles Hineinwachsen in den genutzten Bestand temporär eine Verschiebung statt, auf die nicht durch Einsatz angepasster Fangmethoden reagiert wird, so kann es beispielsweise zur Überfischung noch nicht fortpflanzungsfähiger Tiere kommen (Rekrutierungsüberfischung). Im Extremfall kann dadurch ein ganzer Jahrgang, der noch nicht zum Ablachen gekommen ist, eliminiert und auf diese Weise ein Teil des Fortpflanzungspotentials zumindest temporär zerstört werden. Ein solcher Vorgang kann die Rekrutierung der Nachkommenschaft stark beeinträchtigen, wenn nicht sogar gefährden. Ein drastischer Effekt wird erzeugt, wenn Tiere einer bestimmten Altersklasse mit sehr hohem Fortpflanzungspotential aus dem Bestand durch Abfischung verschwinden.

Andererseits kann die Nichtnutzung eines Bestandes zur Überalterung eines Bestandes und damit zu einer Reduktion des bestandsinternen Wachstumspotentials führen; denn ältere Tiere wachsen in der Regel nicht mehr so stark wie jüngere Artgenossen.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass die genaue Kenntnis der Altersstruktur eines Bestandes eine wichtige Basis für Bestandsberechnungsmodelle ist. Die Bestimmung des individuellen Fischalters wird an Gehörsteinchen (Otolithen) oder anderen Hartstrukturen (z. B. Knochen, Schuppen) der Untersuchungstiere durchgeführt, an denen sich Wachstumsringe (Jahresringe) „ablesen“ lassen. Die Jahresringe entstehen vor allem in borealen Breiten, und zwar durch Periodizitäten in der Nahrungsaufnahme, und korrespondieren mit qualitativen Veränderungen im jahreszeitlichen Rhythmus.

## On the accuracy of age readings, their standardization and calibration

Age reading by use of otoliths is one of the basic but also most essential elements in practical fish population dynamics. Unfortunately, many factors can influence the readings of a single reader. Erroneous readings, however, have a consequential effect on the evaluation and prediction of the development of the fish stock under consideration. In order to master this problem and to reduce out the effect of those factors, it seems necessary to standardize the whole process of age reading between collaborating readers. From a statistical point of view calibration techniques can be used to identify those factors and to correct the readings with respect to them. The current article presents an overview over the basic idea behind this, over how to balance out the existing deviations and how to correct the age readings.

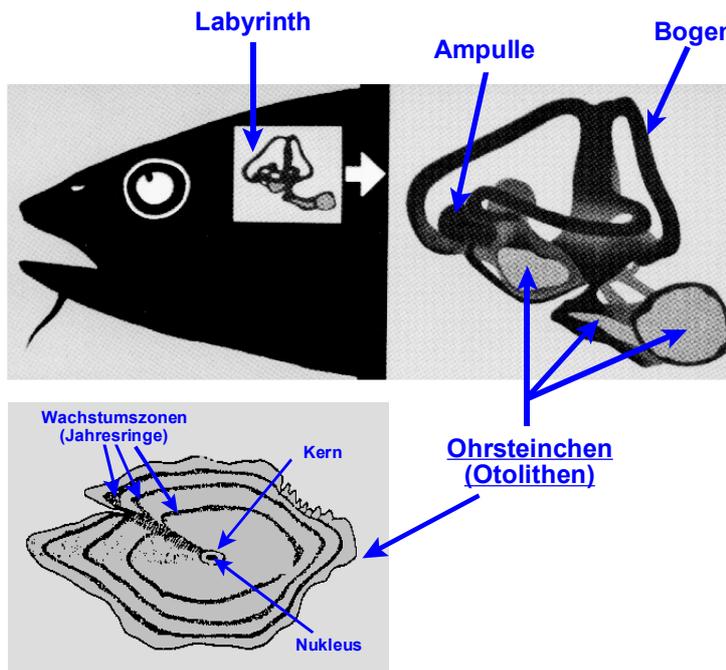


Abbildung 1: Labirinth eines Fisches (links oben: Lage des Labirinth im Kopf eines Fisches; rechts oben: Labirinth mit Ampulle, Bogengängen und den drei Otolithen; links unten: Otolith mit Jahresringen, Kern und Nukleus). (Verändert nach Christensen (1977)).

*Labyrinth of a fish (top left: position of the labyrinth in the head of a fish; top right: labyrinth with ampulla, semicircular canals and the three otoliths; bottom left: otolith with year rings, kernel and nucleus). (Modified after Christensen (1977))*

Abbildung 1 zeigt ein Schema über die Lage solcher Otolithen im Kopf (genauer Labirinth = Gleichgewichtsorgan) eines Fisches sowie eine sehr vereinfachte Skizze ihrer Struktur. Danach besteht ein Otolith aus Wachstumszonen, die um einen Kern herum angelegt worden sind, in dessen Zentrum sich der Nukleus befindet.

**Außenseite**

- 1 - Rostrum
- 2 - Postrostrum
- 3 - Anterostrum
- 4 - Parastrostrum

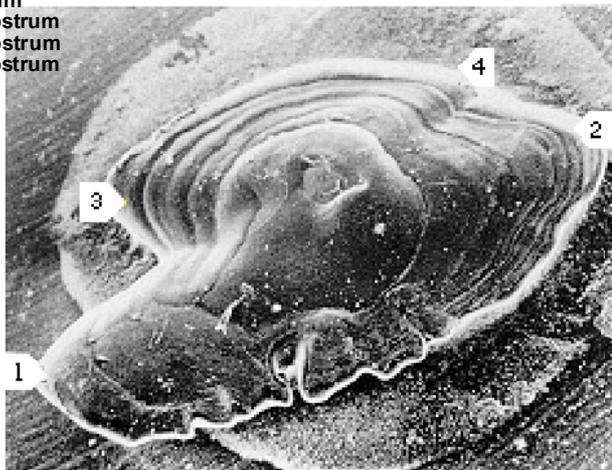
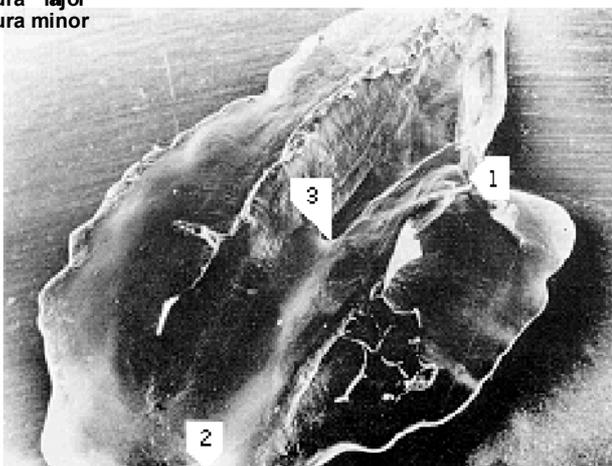


Abbildung 2 zeigt die lichtmikroskopische Aufnahme (Auflicht) solcher Ringstrukturen anhand von Ober- und Unterseite eines realen Sprotten-Otolithen. Beide Abbildungen geben eine Vorstellung davon, dass einerseits sowohl die Entnahme als auch die weitergehende Präparation von Otolithen relativ aufwendig sind und dass andererseits die Interpretation des zugehörigen Fischalters aufgrund der Undeutlichkeit der zu „lesenden“ Ringstrukturen in der Regel viel Erfahrung und Training benötigt. Insbesondere die Präparation kann für unterschiedliche Arten sehr verschieden sein, je nachdem, wie dick bzw. transparent ein entsprechender Otolith ist, d.h. ob er unmittelbar mit Auf- oder Durchlicht direkt oder erst nach aufwendigen Säge-, Schleif- und Einbettungsvorgängen unter dem Mikroskop gelesen werden kann.

**Innenseite**

- 1 - Excisura major
- 2 - Excisura minor
- 3 - Fossa



Lesen im Auf- oder Durchlicht ist in der Regel bei kleinen Fischarten wie Hering oder Sprotte möglich, Präparationen sind z. B. beim Dorsch nötig. Dadurch ergeben

Abbildung 2: Sprotten-Otolith mit bezeichneten Strukturen (oben: Oberseite, unten: Unterseite). Quelle: Anon. (1990).

*Otolith of a sprat with marked structures (top: upper side; bottom: under side). Source: Anon. (1990).*

sich für unterschiedliche Arten durchaus unterschiedliche Struktur-Identifikations- bzw. Interpretationsprobleme, die vor allem damit zu tun haben, ob man die richtige Otolithenebene, die möglichst durch den Nukleus im Kern gehen sollte, durch Fokussieren oder Schleifen zum Ablesen der Jahresringe getroffen hat oder nicht. Das „Treffen“ des Zentrums ist kein leichtes Unterfan-

gen, da der Kern unterschiedlich stark sichtbar ist, je nachdem, aus welcher Gegend der zugehörige Fisch stammt, welchen witterungs- und nahrungsmäßigen Gegebenheiten er vor allem im Larven- bzw. Juvenilstadium ausgesetzt war, ob es sich um einen Frühjahrs- oder Herbstlaicher handelt.

### Altersleseproblematik

Da viele Bestände aufgrund ihrer Wanderungen international genutzt und bewirtschaftet werden, werden auch die Alterslesungen im allgemeinen auf internationaler Ebene organisiert und sporadisch gemeinsam mit Alterslesern aus mehreren Ländern durchgeführt, u.a. im Rahmen von ICES-Arbeitsgruppen (siehe u.a. Anon. 1994, 1995b, 1997a, 1997b, 1998). Im Jahre 1995 wurde das European Fish Aging Network (EFAN) gegründet, um Probleme der Alterslesung aufzugreifen und den Erkenntnisaustausch zu intensivieren. Unabdingbare Voraussetzung für ein vernünftiges Bestandsmanagement ist nämlich eine möglichst fehlerfreie, zumindest aber eine normierte, d.h. standardisierte bzw. aufeinander abgeglichenen Interpretation des Fischalters. Denn Fehleinschätzungen des Alters können im Rahmen des Bestandsmanagements u.a. zu fehlerhaften Schlüssen über das Wachstums-, Fruchtbarkeits- und Rekrutierungspotentials führen. Wie groß dieser Fehler im einzelnen sein kann, ist schwer abzuschätzen, da u.a. auch die Genauigkeit der Bestandserfassung, d.h. der Bestandstrennung und damit der korrespondierenden Bestandsgröße eingeht.

Der Grund für die Alterslesungsproblematik ist, dass aufgrund der Undeutlichkeit bzw. der Nicht-Eindeutigkeit der Otolithenstrukturen unterschiedliche Leser die Strukturen eines bestimmten Otolithen oftmals nicht in der gleichen Weise interpretieren. Selbst derselbe Leser wird nach mehrfachem Lesen eines bestimmten Otolithen nicht immer zum gleichen Schluss gelangen. Dabei sollte man sich vor Augen halten, dass sich die Lesung als Resultat eines auf individueller Erfahrung beruhenden Interpretationsprozesses ergibt, der etlichen Fehlerquellen ausgesetzt ist.

Hinzu kommt, dass sich der einzelne Leser schon während des Interpretationsvorganges für eine Auf- oder Abrundung des Fischalters entscheiden muss. Es findet also ein Rundungsprozess statt, der das Fischalter am Ende des Interpretationsprozesses als ganzzahlige Größe erscheinen lässt, obwohl es sich um ein kontinuierliches Merkmal handelt. Dadurch vollzieht sich das Altern theoretisch auf eher unnatürliche Weise in Jahres-sprüngen.

### Divergenz von Alterslesungen

Allgemein formuliert setzt sich das gelesene Alter eines Otolithen bzw. Fisches im Falle eines einzelnen Alters-

lesers aus den folgenden Effekten zusammen:

$$\text{gelesenes Alter} = \text{wahres Alter} + \text{systematische Effekte} + \text{nicht-systematische Effekte} \quad (1)$$

Abweichungen vom wahren Alter können also von **systematischer** oder **nicht-systematischer** Natur sein und können als zwei additiv wirkende Varianzkomponenten verstanden werden. Die nicht-systematischen

Effekte werden auch zufällige Effekte bzw. Fehlereffekte genannt. Die Gesamtvarianz der Alterslesung ergibt sich entsprechend folgendermaßen:

$$\text{VAR}(\text{gelesenes Alter}) = \text{VAR}(\text{systematische Effekte}) + \text{VAR}(\text{nicht-systematische Effekte}) \quad (2)$$

Da das wahre Alter des zugrundeliegenden Fisches eine Konstante ist, entfällt es in Gleichung (2) (die Varianz einer Konstanten ist 0). Die **systematische Varianzkomponente** in (2) ist dabei die Folge einer verzerrten Interpretation, d.h. einer im Durchschnitt systematischen Abweichung der Lesungen vom wahren Alter der zugrundeliegenden Fische (bzw. Otolithen), die auch Verzerrung (engl.: bias) genannt wird. Die Gründe liegen hauptsächlich im eher technischen Bereich,

z. B. in einer spezifischen Alterslesungsschulung (Interpretationsweise), in der Verwendung bestimmter Instrumente und Werkzeuge (z. B. Mikroskope mit unterschiedlichen Auflösungen und Genauigkeiten, Digitalisierung, Auflicht, Durchlicht), in der Anwendung bestimmter Präparationsverfahren (z. B. Zerkleinerungsverfahren wie Sägen oder Brechen, Einbettungsverfahren), aber auch im Bereich persönlicher Umstände wie z. B. Sehfehlern, spezifischen Sehhilfen (Brille,

Kontaktlinsen) etc. Außerdem kommen hier noch andere Verzerrungsfaktoren in Frage, wie z. B. eine ungewollte aber systematische Orientierung der Altersinterpretation an der Fischlänge, sofern letztere dem Leser bekannt ist. Die exakte statistische Berechnung der Verzerrung lässt sich nur bei Kenntnis des wahren Alters sowie auf der Basis wiederholter, individueller Lesungen bewerkstelligen. Im Idealfall (Unverzerrtheit) ergibt sich eine systematische Abweichung zu 0.

Die **nicht-systematische Varianzkomponente** in (2) ist die Folge abweichender Lesungen (Interpretationen) ein und desselben Otolithen durch ein und denselben Leser. Die Ursachen hierfür liegen im wesentlichen in der persönlichen Tagesform des jeweiligen Lesers.

Das Maß für die individuelle Variabilität bei der wiederholten ist die Präzision, eine zentrale Größe bei der Qualitätskontrolle von Alterslesungen. Sie verhält sich umgekehrt proportional zur Varianz der nicht-systematischen Effekte:

$$\text{Präzision} \approx 1 / \text{VAR}(\text{nicht-systematische Effekte}) \quad (3)$$

Darin muss die Varianz der nicht-systematischen größer als 0 sein. Da die Berechnung dieser Größe ausschließlich auf Stichprobeninformation beruht (im Gegensatz zur Verzerrung, für deren Berechnung das wahre Alter *a-priori* bekannt sein muss), ist sie unabhängig von der Kenntnis des wahren Alters. Der Idealfall ist eine maximale Präzision der Lesungen von 100%.

## Formen der Alterslesungsstandardisierung

Zur Erzielung einer hohen Lesegenauigkeit müssen die Quellen der Unsicherheit identifiziert, voneinander isoliert und insbesondere die systematische(n) Ursache(n) möglichst vollständig eliminiert werden. Ein wesentliches Instrument ist dabei die internationale Standardisierung der Interpretation, da sich das Bestandsmanagement auch auf internationaler Ebene vollzieht. Neben der Normierung von Präparationsverfahren und der Verwendung einheitlicher Instrumente geht es vor allem darum, dass die betroffenen Altersleser durch Vergleichslesen ausgewählter Otolithen-Stichproben zu einer aufeinander abgestimmten Interpretationsweise gelangen und durch ein ausgedehntes Training in internationalen Arbeitsgruppen eine hohe persönliche Interpretationssicherheit erzielen.

Zur Zeit ist es aus technischen und z. T. finanziellen und zeitlichen Gründen noch nicht möglich, jeden Otolithen durch mehrere Leser gleichzeitig beurteilen zu lassen, um auf diese Weise zu einem repräsentativen Querschnittsergebnis zu gelangen. Schließlich handelt es sich um einige tausend Otolithen, die in der Regel sehr aufwendig präpariert werden müssen.

Der versuchsweise Austausch von Otolithensätzen hat außerdem gezeigt, dass Otolithen während dieser Zyklen zerstört werden oder sogar verloren gehen können. Deswegen werden Trainingskurse punktuell ausgerichtet, mit einer überschaubaren Menge an gezielt gesammelten, kleineren Otolithen-Stichproben, die als Referenz- oder Lernstichproben dienen. In Zukunft kann dies durch Weiterentwicklung von Bildanalyse-Systemen und mit Hilfe des Internets als Austauschmedium sicherlich vereinfacht werden. Allerdings entfällt auch hier nicht die Präparationsphase, und gleichzeitig müssen noch große Probleme in der Mikroskopier-Technik bewältigt werden, die sich nicht ohne weiteres automatisieren lassen.

Die bisherigen Arbeiten (z. B. Anon. 1995 a,b,c; Ernst et al. 1995; Evans et al. 1995; Fetter et al. 1992; Pontual et al. 1995) haben sich ausnahmslos mit detektorischen und technischen Aspekten des Verzerrungsproblems beschäftigt (regelmäßiger Abgleich von Präparationsmethoden und Interpretationsweisen, Instrumentenstandardisierung etc.). Im Gegensatz dazu habe ich mich mit der statistischen Standardisierung von Alterslesungen befasst, die zu einer potentiellen Korrektur von Alterslesungen führen kann, sofern bestimmte Randbedingungen erfüllt sind (Gröger 1996, 1999). Dazu habe ich die Technik der statistischen Eichung (Kalibrierung) eingeführt; denn ich gehe davon aus, dass – wie auch die Praxis zeigt – trotz Anwendung einer technischen Standardisierung immer eine gewisse Restvariabilität, teils systematischer, teils nicht-systematischer Natur übrigbleibt. Dazu gebe ich auch Hinweise, wie man diese Restungenauigkeit im Rahmen einer statistischen Standardisierung berücksichtigen kann.

Die Standardisierung erfordert eine Trennung des systematischen Anteils von der nicht-systematischen Streuung, wobei der systematische Anteil dann dazu verwendet wird, die Lesungen aller Leser simultan – nicht nur die zweier Leser paarweise – auf einander abzugleichen. Dabei wird gleichzeitig versucht, die Ursachen der systematischen Streuung durch sogenannte Referenz- oder Lernstichproben nicht nur zu identifizieren und zu erfassen, sondern auch in einem Kalibrierungsmodell mitzuberücksichtigen. Dies setzt aber voraus, dass erstens das Design der Otolithen-Stichprobennahme dies erlaubt, und zweitens die zufällige, individuelle Streuungskomponente durch ein gezieltes Training weitgehend reduziert und über das gesamte Altersspektrum relativ gleichmäßig verteilt ist. Dann lässt sich die Verzerrung mit relativ kleinen Fehler korrigieren.

Statistische Kalibrierungstechniken sind zwar in dem hier geschilderten Kontext neu, werden aber schon lange in den unterschiedlichsten Disziplinen angewendet; vor allem in der Chemie und in der Physik spielen sie eine wichtige Rolle. Sie sind immer dann sinnvoll, wenn wie im Fall der Alterslesungen zeitintensive und teure Untersuchungen notwendig sind, um bestimmte Sachverhalte mit einer hohen Genauigkeit zu untersuchen, aber nicht genügend Zeit oder Geld zur Verfügung steht, dies immer mit gleicher Intensität zu tun. In solchen Fällen erscheint es plausibel, die Ergebnisse der teuren, genauen Trainingseinheiten mit den vorläufigen Ergebnissen weniger intensiver Routineuntersuchungen zu koppeln und mit Hilfe der so gewonnenen Beziehung eine Korrektur vorzunehmen. In diesem Fall sind die routinemäßig erhobenen Alterslesungen die zu kalibrierende, ungenauere Größe und der im Zuge von speziellen Experimenten gewonnene Kalibrierungsstandard, das sogenannte Standardalter, die sicherere Größe. Zur statistischen Kalibrierung gibt es eine Reihe unterschiedlicher Arbeiten (u. a. Naes et al. (1986); Martens et al. (1989); Scheffe (1973); Wilcox (1992)).

In meinen Arbeiten verfolge ich den Ansatz der **inversen Kalibrierung** (inverse Prognose), die auf einem linearen Regressionsansatz beruht und sich nach Martens et al. (1989) insbesondere für die Interpolation und damit für Problematik der Alterslesung eignet. Dieser Ansatz fußt auf dem Grundverständnis von Gleichung (1), in der ausgedrückt wird, dass das gelesene Alter vom wahren Alter abhängig ist und nicht umgekehrt, das wahre Alter vom gelesenen.

Die inverse Kalibrierung stuft also die genauere Größe (hier das Standardalter, das im Idealfall das wahre Alter ist) als x-Variable ein und die zu kalibrierende, weniger exakte Größe (hier das gelesene Alter) als y-Variable. Diese Kausalrichtung erhält vor allem bei multiplen Fragestellungen mit mehreren möglichen Verzerrungsfaktoren auf der rechten Seite eine besondere Tragweite. Allerdings setzt die inverse Kalibrierung eine genau geschätzte Regressionsbeziehung voraus, um das korrigierte Alter auch genau vorhersagen zu können.

### Allgemeine Vorgehensweise bei der Alterslesungskalibrierung

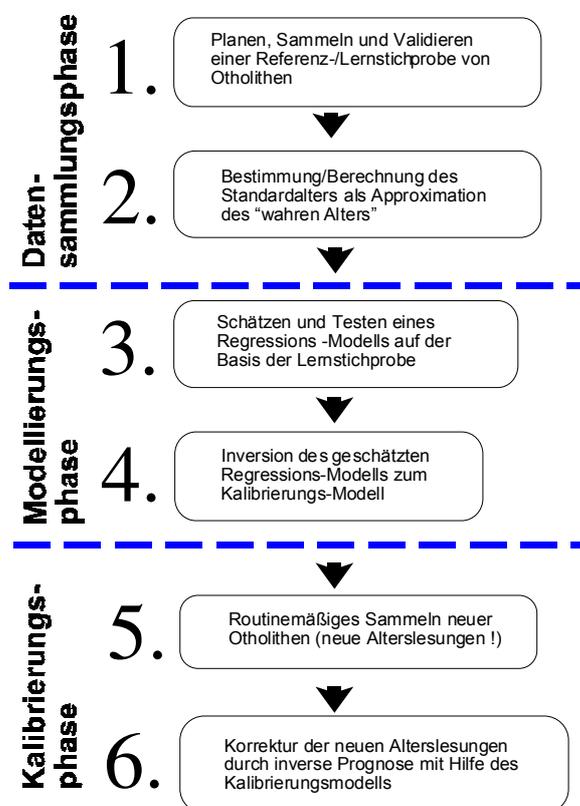


Abbildung 3: Überblick über den Prozess der Alterslesungskalibrierung.

*Overview over the process of age reading calibration.*

Abbildung 3 skizziert den groben Ablauf des Kalibrierungsprozesses. Dieser besteht aus drei Phasen: Datensammlung (1 und 2), Modellierung (3 und 4) und Kalibrierungsphase (5 und 6).

#### 1: Planen, Sammeln, Validieren

Ausgangsbasis der Datensammelungsphase in Abbildung 3 ist eine Referenz- oder Lernstichprobe mit einer begrenzten Zahl gezielt ausgewählter Otolithen. Anhand dieser Otolithen, deren Anzahl gegenüber den später folgenden Routineuntersuchungen in der Regel verhältnismäßig klein ist, werden zunächst vergleichende Alterslesungen durch eine bestimmte Anzahl miteinander in Kontakt stehender Altersleser vorgenommen. Dabei wird für jeden gelesenen Otolithen die Variationsbreite berechnet, um auf diese Weise kritische Otolithentypen feststellen zu können, die anschließend genauer betrachtet werden müssen.

#### 2: Bestimmung/Berechnung des Standardalters

Aus diesen Alterslesungen wird ferner, sofern das jeweils wahre Alter des korrespondierenden Fisches nicht bekannt ist, das sogenannte Standard-Alter bestimmt, das als Vergleichsgrundlage für sämtliche Alterslesungen im Rahmen der Modellierungsphase von Abbildung 3 dienen soll. Die Berechnung des Standard-Alters er-

folgt durch Approximation mittels einer später noch genauer zu spezifizierenden Maßzahl.

### **3: Schätzen und Testen**

Ziel der Alterslesungen in dieser Phase ist es, einerseits durch intensives gemeinsames Training und ständigen Abgleich z. B. Effekte unterschiedlicher Altersleseschulen (Teil der systematischen Streuungskomponente) zu verringern, aber auch die individuelle Sicherheit der Interpretation (Teil der nicht-systematischen Streuungskomponente) zu erhöhen und über das gesamte zur Verfügung stehende Altersspektrum zu stabilisieren.

Das Training, das im Idealfall in verschiedenen Zyklen abläuft, bei denen zwecks sukzessiver Messung des Standardisierungserfolges verschiedene Otolithenstichproben zwischen den beteiligten Lesern ausgetauscht („zirkuliert“, „rotiert“) werden, wird durch statistische Regressionsanalysen begleitet. Dieser Vorgang soll durch die zweite bzw. Modellierungsphase in Abbildung 3 zum Ausdruck gebracht werden. Schließlich erfolgt die Inversion des geschätzten Regressions-Modells.

### **4: Inversion des geschätzten Regressions-Modells**

Allerdings ist hier keine strenge Trennung zwischen der ersten und zweiten Phase möglich, da wegen des kontinuierlichen Abgleichs auch kontinuierlich Information aus der zweiten Phase in die erste Phase zurückfließt, um dort eine sukzessive Verbesserung zu erreichen.

Die Modellierungsphase dient zunächst im wesentlichen dazu, erstens für jeden Leser die potentiellen Faktoren der Alterslesungs-Verzerrung zu identifizieren und zweitens den individuellen Standardisierungsfortschritt zu messen. Denn im Idealfall sieht das Design der Rotationsformulare das Eintragen von Begleitinformation vor, die Angaben über Faktoren enthalten, die die Interpretation des Lesers in irgendeiner Weise beeinflussen könnten. (Es werden Länge des Fisches, Fang-Gebiet, Fangzeitpunkt, Größe sowie andere wichtige Merkmale des Otolithen, allgemeine Lesbarkeitskriterien wie Sehfehler, verwendeter Mikroskoptyp, verwendete Auflösung des Mikroskops etc. eingetragen; im Zweifelsfall orientiert sich der Leser z. B. an der Länge des zugehörigen Fisches.)

In einem solchen Fall besteht die Möglichkeit, die Faktoren, die zu einer systematischen Fehleinschätzung des Fischalters führen können, nicht nur zu identifizieren, sondern durch Diskussion während des Trainings zu reduzieren bzw. zu eliminieren.

Ist die Eliminierung aus irgendwelchen Gründen nicht erfolgreich, weil z. B. Faktoren wie Fangzeitpunkt oder Sehfehler nicht eliminiert werden können, so kann ein

solcher Faktor im Rahmen des Kalibrierungsprozesses, d.h. durch Aufnahme in das endgültige Regressionsmodell berücksichtigt werden.

Diese interpretationsbeeinflussenden Faktoren können individuell durchaus verschieden sein, weshalb es sinnvoll ist, leserspezifische Regressionsmodelle abzuleiten. Selbst wenn die einzelnen Faktoren der Verzerrung im Detail nicht zu identifizieren sind, der Leser aber in seinen Lesungen trotzdem signifikant vom vorgegebenen Standard-Alter abweicht, lassen sich einfache Kalibrierungsmodelle anpassen. In diesem Fall kommt es dann hauptsächlich darauf an, dass die Leser stabil lesen, um ihre Lesungen später mit vernünftiger Qualität korrigieren zu können.

In dieser Phase ist es durchaus sinnvoll Genauigkeitsvorgaben oder -schränken einzuführen, um die leserspezifische Stabilität sicherzustellen. Die Koeffizienten der individuellen Regressionsmodelle werden während dieser Phase ständig auf Signifikanz überprüft, um auf diese Weise eine signifikante von einer nicht signifikanten Abweichung der Lesungen von der Grundlinie unterscheiden zu können. Nur signifikante Abweichungen werden als Verzerrungen im Regressionsmodell interpretiert und dementsprechend berücksichtigt. Gleichzeitig werden die Modellvoraussetzungen ständig überprüft. Ist für jeden Leser das endgültige Regressionsmodell gefunden, lassen sich aus diesen die leserspezifischen Kalibrierungsmodelle ableiten.

### **5: Routinemäßiges Sammeln neuer Otolithen**

Mit Hilfe dieser so ermittelten endgültigen individuellen Kalibrierungsmodelle können anschließend routinemäßige Lesungen des jeweiligen Alterslesers vorgenommen und ...

### **6: Korrektur der neuen Alterslesungen**

... individuell standardisiert bzw. korrigiert werden; vorausgesetzt wird dann jedoch eine durch Training erzielte relativ hohe Präzision des Lesers. Da sich die Interpretationscharakteristika eines Lesers im Laufe der Zeit durch Lerneffekte verändern können, sollte zumindest nach jedem gemeinsamen Training (Rotationszyklus) das entsprechende Kalibrierungsmodell aktualisiert werden.

Weiterführungen dieses Ansatzes ermöglichen eine gezielte Qualitätskontrolle von Alterslesungen auf der Grundlage statistischer Methoden. Derjenige, der sich intensiver mit der hier im Hintergrund verbliebenen Modellierungs- und Kalibrierungsproblematik im Detail befassen möchte, kann dies in den anderen Arbeiten nachlesen (Gröger 1996, 1999).

## Zitierte Literatur

- Anon.: Guide for the use of Baltic sprat and herring otoliths in fisheries studies. *Fischerei-Forschung (Sonderh.)*, 42 S., 1990.
- Anon.: Report of the Workshop on Baltic Cod Age Reading. Gdynia, Poland 6-10 June, ICES CM/J:5, 1994.
- Anon.: Report of the Study Group on Baltic Cod Age-Reading. ICES CM/J:2, 1995a.
- Anon.: Report of the Workshop on Mackerel Otolith Reading. ICES CM/H:1, 1995b.
- Anon.: Report of the ICES Workshop on Sandeel Otolith Analysis. ICES CM/G:4, 1995c.
- Anon.: Report of the Study Group on Cod Age Reading. Rostock, Germany, 7-11 October 1996. ICES CM /J:1, 1997a.
- Anon.: Report by Correspondence of the Baltic Herring Age Reading Study Group. ICES CM/J:5, 1997b.
- Anon.: Report of the Baltic Herring Age Reading Study Group. Riga, Latvia, 23-27 February 1998. ICES CM/H:2, 1998.
- Ernst, P.; Larsson, O.; Oeberst, R.; Schulz, N.: Preliminary Results of a Comparative Cod Otolith Age Reading Experiment Carried Out by Scientists from Sweden and Germany in 1994. ICES CM /J:25, 1995.
- Evans, G.T.; Hoenig, J.M.: Detecting Differences among Several Readers of Fish Ages. ICES CM/D:10, 1995.
- Fetter, M.; Groth, B.; Kaestner, D.; Wyshinsky, D.: Guide for the Use of Baltic Herring Otoliths in Fisheries Studies. *Fisch.-Forsch. Part 2.*, 1992.
- Gröger, J. A.: Simple Statistical Age Reading Calibration Model. ICES CM/D:4, 1996.
- Gröger, J.: A theoretical note on the interpersonal correction of age readings by means of calibration techniques. *Arch. Fish. Mar. Res* 47(1), 77–101, 1999.
- Martens, H.; Naes, T.: *Multivariate Calibration*. Chichester: Wiley & Sons, 419 pp., 1989.
- Naes, T.; Irgens, C.; Martens, H. (1986). Comparison of Linear Statistical Methods for Calibration of NIR Instruments. *J.Royal Stat. Soc., C*. 35(2), 195–206.
- Pontual, H. de; Troadec, H.: Results and Interest of a Survey to Assess Age Reading Activity Within Different Laboratories. ICES CM/D:11, 1995.
- Scheffe, H.: A Statistical Theory of Calibration. *Ann. Stat.*, 1(1), 1–37, 1973.
- Wilcox, R.R.: An Improved Method for Comparing Variances When Distributions Have Non-identical Shapes. *Comput. Stat. Data Anal.*, 13(2), 163–172, 1992.