

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

FAKULTÄT V- BIOLOGIE

BACHELORARBEIT

**Bedeutung von marinen Umweltfaktoren
(Salinität, Temperatur, Sauerstoff) im Benguela
Auftriebsgebiet für Wachstum und Kondition
von *Engraulis encrasicolus* Larven**

vorgelegt von Selina Stöhr

Matrikel-Nr. 1852007

Betreuende Gutachterin: Prof. Dr. G. Gerlach

(Biodiversität und Evolution der Tiere)

Zweiter Gutachter: Dr. W. Ekau

(ZMT Bremen, AG Fischereibiologie)

Oldenburg, den 02.03.2015

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
<i>Einleitung</i>	4
<i>Benguela Auftriebsgebiet</i>	4
<i>Entstehung und Filamentbildung</i>	4
<i>Fragestellung</i>	7
<i>Arbeitshypothesen</i>	7
Material und Methoden	8
<i>Untersuchungsgebiet</i>	8
<i>Angaben zu den ausgewählten Stationen</i>	10
<i>Zooplanktonbiomasse ermitteln</i>	11
<i>Gefriertrocknung der Fischlarven</i>	12
<i>Wachstum und Altersbestimmung</i>	12
<i>Otolithen Extraktion</i>	13
<i>Statistische Methoden</i>	14
<i>Distanzberechnung</i>	15
<i>Datenanalyse</i>	15
Ergebnisse	16
<i>Verbreitung</i>	16
<i>Zooplanktondichte</i>	17
<i>Wachstum</i>	18
<i>Kondition</i>	21
Diskussion	24
<i>Verteilung</i>	24
<i>Wachstum</i>	24
<i>Kondition</i>	26

Zusammenfassung	28
Danksagung	29
Anhang	30
<i>Größenverteilung</i>	30
<i>Fischlarvenanzahl</i>	33
<i>Übersichtstabelle der untersuchten Larven</i>	34
<i>Abiotische Faktoren</i>	35
<i>Berechnung des Regressionsfaktors b für die Kondition</i>	37
Literaturverzeichnis	38
<i>Internetseiten</i>	41
Eigenständigkeitserklärung	42

Einleitung

Benguela Auftriebsgebiet

Das Benguela Auftriebsgebiet ist eines von vier wichtigen Auftriebsgebieten weltweit und zählt zu den produktivsten Meeresökosystemen der Welt (Geist, 2013). Sie alle liegen an den Westküsten der subtropischen Kontinente und spielen eine wichtige Rolle für den weltweiten Fischfang. In diesen Bereichen findet man eine große Vielfalt an Fischarten. Kaltes nährstoffreiches Wasser wird aus der Tiefe an die Oberfläche befördert und führt dort zu einer großen Nahrungsdichte für zahlreiche Fischarten und anderen Tierarten, wie Krebsen, Schildkröten, Haien und Walen.

Der Benguelastrom befindet sich vor der Westküste Afrikas im Südatlantik und wird im Norden und Süden von warmen tropischen Wassermassen begrenzt: Im Norden ist es der Angolastrom, im Süden werden Wassermassen vom Agulhasstrom abgeleitet. Das Benguela Auftriebsgebiet erstreckt sich von 19°S bis 34°S. In diesem Gebiet befinden sich entlang der Küste mehrere voneinander isolierte Auftriebszellen von unterschiedlicher Größe. Eine davon ist die Lüderitz Zelle (26°S) (Hutchings *et al.*, 2009). Die Lüderitz Zelle ist die größte Auftriebszelle der Welt und das ganze Jahr über aktiv (Molloy and Reinikainen, 2003)). Sie teilt den Benguelastrom biologisch und ozeanographisch in Nord- und Südbenguela ein (Duncombe Rae., 2005). Das breite Kontinentalschelf, das sich bei Walvis Bay (23-21°S) befindet, ist charakteristisch für das nördliche Benguelagebiet.

Entstehung und Filamentbildung

Angetrieben wird der Benguelastrom durch den Passatwind. Dabei wird er mit kaltem Polarwasser vom Südatlantikstrom (SAC) versorgt. So erhält der Benguelastrom eine von Süd nach Nord gerichtete Strömung (Peterson and Stramma, 1991).

Das Zusammenwirken der Südostpassatwinde entlang der Küste und der Corioliskraft (Ekman-Trift) führen dazu, dass Auftriebsgebiete entstehen, in denen kaltes Wasser aus Tiefen von 200-300 m an die Oberfläche gelangen und so wie Filamente in den offenen Ozean reichen (Mittelstaedt, 1991). Es ist sauerstoff- und zooplanktonreich und hat eine Temperatur von 7°C bis 10,5°C (Molloy and Reinikainen, 2003).

Von Filamenten spricht man, wenn kaltes nährstoffreiches Wasser in schmalen Bandstrukturen horizontal zur Küste abtransportiert wird. An solchen Filamenten findet man Grenzflächen, sogenannte Fronten, in denen unterschiedliche Wassermassen aufeinander treffen (Bakun, 2006). Die Wassermassen unterscheiden sich in Salinität, Dichte, Temperatur, Nährstoffzusammensetzung und somit der Produktivität und der Artendichte (Ekau *et al.*, 2001; Luo *et al.*, 2014). Diese Fronten bilden ein besonderes Habitat für Fischlarven. Sie sind nährstoffreich und bieten so eine Fülle an Zooplankton. Man findet in solchen Zonen eine erhöhte Abundanz von Fischlarven (Ekau *et al.*, 2001).

Im Benguela Gebiet herrscht das ganze Jahr über eine starke Saisonalität, die dazu führt, dass im Winter sauerstoffreiches jedoch nährstoffarmes Wasser aus dem Süden in den Benguelastrom eingeschleust wird. Im Sommer gelangt sauerstoffarmes jedoch sehr nährstoffreiches Wasser aus dem Angolawirbel in den Benguelastrom (Mohrholz *et al.*, 2008). Bei Nährstoffen handelt es sich um Salze wie Nitrate, Phosphate und Silikate. Sie entstehen wenn sich organisches Material zersetzt, das ursprünglich aus der Oberflächenschicht abgesunken ist. Dies bietet optimale Bedingungen für das Gedeihen von Phytoplankton und stellt die

Nahrungsgrundlage für das gesamte Nahrungsnetz. Das führt dazu, dass vor der Westküste Afrikas hoch produktive Ökosysteme vorherrschen.

Das Benguela Auftriebsgebiet liefert einen großen Teil der weltweiten Fischerträge. Vor allem Holzmakrelen (*Trachurus capensis*) stehen ganz oben auf der Fangliste. Sardinen (*Sardinops sargax*) und Sardellen (*Engraulis encrasicolus*) zählten auch dazu, doch sie wurden in den 70er und 80er Jahren stark befischt, sodass das man seither einen stetigen Rückgang der Arten feststellt, der auf Überfischung (Boyer *et al.*, 2001) und veränderte Umweltbedingungen zurück zu führen ist (Geist, 2013). Alle drei Arten ernähren sich hauptsächlich von Phytoplankton und Zooplankton. „Die Populationsdynamik dieser Arten ist durch eine hohe Variabilität und Instabilität

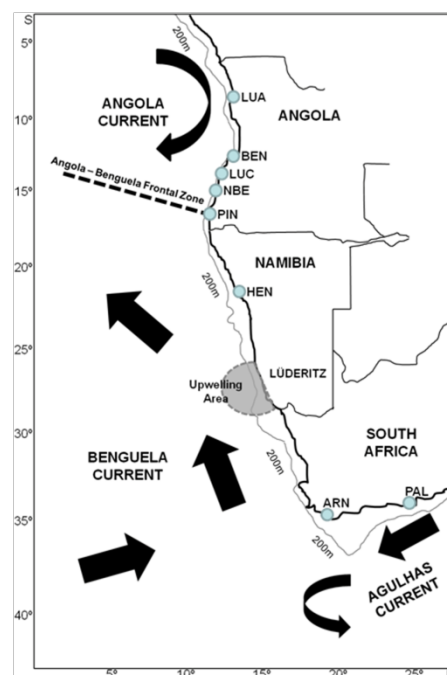


Abbildung 1: © 2014 Henriques *et al.*

gekennzeichnet und spiegelt sich in großen Schwankungen ihrer Bestände wider.“ (Geist, 2013). Verantwortlich dafür sind die sich ändernden Umweltbedingungen, die vor allem in den frühen Entwicklungsstadien der Fischarten Auswirkungen haben können. Eier, Larven und Juvenile sind am anfälligsten auf verändernde Umweltbedingungen (Geist, 2013). Fischlarven sind planktonisch, das bedeutet, sie können nicht eigenständig gegen den Strom schwimmen, sondern werden mit den Strömungen verdriftet. Sie können daher den vorherrschenden schlechten Umweltparametern nicht entfliehen und sind Änderung von Temperatur, Sauerstoffverteilung, Konzentration von Nährsalzen direkt ausgesetzt (Genus Podcast, 2011). Das führt außerdem zu einer Änderung der Gemeinschaften von Planktonarten. Im Benguelagebiet treten immer häufiger extrem sauerstoffarme Zonen auf. Nicht alle Lebewesen fallen einem Fressfeind zum Opfer sondern sterben ohne gefressen zu werden. Die toten Lebewesen sinken dann als Detritus in Richtung Meeresboden ab und werden auf dem Weg nach unten von Bakterien zersetzt, die der Umgebung Sauerstoff entziehen und dabei das Gas H_2S entstehen lassen, das giftig ist (Geist, 2013). In wie weit die einzelnen Fischarten dagegen tolerant sind und welche Auswirkungen das auf die frühen Entwicklungsstadien hat, ist noch nicht ausreichend erforscht.

Das Auftriebsgebiet bietet sowohl Nahrung für die adulten Tiere, stellt aber auch eine wichtige Grundlage für das Heranwachsen von Fischlarven dar. Fische ernähren sich von unterschiedlicher Beute in verschiedenen Entwicklungsstadien (Castro, 2003).

Fragestellung

Das Projekt GENUS (Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System) beschäftigt sich mit dem Einfluss des Klimawandels auf das nördliche Benguela System. Es geht darum, den Zusammenhang der Erderwärmung auf das Auftriebsgebiet zu klären und die biogeochemischen und ökologischen Strukturen modellierbar zu machen (<http://www.zmt-bremen.de/GENUS.html>).

Im Rahmen des Projekts GENUS am Leibniz Zentrum für marine Tropenökologie (ZMT) Bremen lag mein Fokus auf der Art *Engraulis encrasicolus* im nördlichen Benguela Auftriebsgebiet. Es sollte untersucht werden in wie weit äußere abiotische Faktoren, wie Sauerstoffgehalt, Salinität, Temperatur und der Faktor Nahrung, Einfluss auf das Wachstum und die Kondition von *E. encrasicolus* nehmen.

Das vorherrschende Filament wies unterschiedliche Strömungseigenschaften auf. In Filamenten herrschen unterschiedliche Bedingungen in Bezug auf die Beschaffenheit des Wassers. Anhand dieser verschiedenen Situation innerhalb eines Filaments, wurden das Wachstum und die Kondition der Fischlarven untersucht.

Arbeitshypothesen

Folgenden Hypothesen wurden geprüft:

- 1) Es gibt einen Unterschied zwischen dem nördlichen und mittleren Transekt in den Entwicklungsstadien und der Kondition der Larven aufgrund von Unterschieden in den abiotischen Bedingungen.
- 2) Es gibt Unterschiede im Wachstum der Larven entlang eines Filaments aufgrund von Veränderungen im Filament mit zunehmender Entfernung von der Küste.

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Die Larven von *Engraulis encrasicolus* wurden während der Expedition „ME 103-2“ mit dem deutschen Forschungsschiff *Meteor* gefangen. Die Fahrt ging vom 25. Januar bis 10. Februar 2014. Dabei wurde systematisch ein Gebiet vor der Küste Namibias im Benguela Auftriebsgebiet abgefahren (siehe Abb. 2). Der nördlichste Punkt liegt bei 19° 24' S und 11°28' O. Der gesamte Bereich ist in 3 Transekte eingeteilt worden. Das nördliche Transekt erstreckt sich von 19°19' S und 12°37'O bis 19°59' S und 10°38' O, das mittlere Transekt von 19°40' S und 12°38' O bis 20°20' S und 10°47' O und das südliche Transekt von 20°1' S und 12°53' O bis 20°38' S und 10°56' O. Das gesamte Gebiet deckt eine Fläche von 135 km Länge und 222 km Breite ab. Des Weiteren wurde zwischen küstenfern und küstennah unterschieden, sodass gleich viele Proben in Küstennähe und weiter entfernt von der Küste genommen wurden.

Die Temperatur, Salz- und Sauerstoffgehalte wurden mit einer Sea-Bird CTD ermittelt, die unmittelbar unter der Meeresoberfläche bis ungefähr 10 m über dem Meeresboden gemessen hat und so ein vertikales Profil erstellte.

Die Probenentnahme erfolgte mit unterschiedlichen Netzen. Für das Fangen der Fischlarven wurde überwiegend ein Rundnetz eingesetzt, das bis in eine Tiefe von ungefähr 50 m reicht. Das Rundnetz hat eine Öffnung von 1,5 m² eine Maschenweite von 500 µm. Für das Fangen von Zooplankton kam das Multinetz zum Einsatz. Dieses besteht aus fünf Einzelnetzen, die eine Öffnung von 0,25 m² haben. Jedes Netz hat eine Maschenweite von 500 µm, die dafür sorgen dass feinstes Plankton eingefangen wird. Das Multinetz beprobte in 5 unterschiedlichen Tiefen mit einem Intervall von 50 m bis max. 200 m. Insgesamt wurden an 29 Stationen Proben entnommen, an denen beide Netze zum Einsatz kamen. Die Netze wurden mit 2 Knoten für ungefähr 30 Minuten hinter dem Boot hergezogen und wurden Tag und Nacht ins Wasser gelassen. Die Sardellenlarven sind gleich nach dem Fang vom restlichen Plankton aussortiert und bei -80°C eingefroren worden.

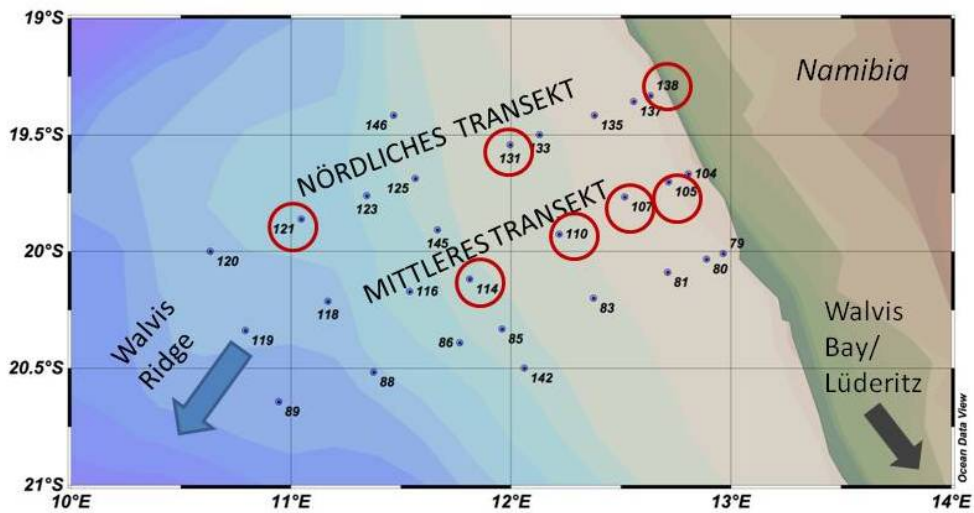


Abbildung 2: Das Untersuchungsgebiet vor Namibia im Benguela Auftriebsgebiet
Die roten Kreise zeigen die bearbeiteten Stationen

Nicht alle Stationen waren relevant für die vorliegende Ausarbeitung. Die gefangenen Fischlarven wiesen an den verschiedenen Stationen unterschiedliche Entwicklungsstadien auf. Aus diesem Grund wurden 2 Größenklassen ausgesucht, die eine Vergleichbarkeit zwischen den Stationen erlauben soll. Für den nördlichen Transekt wurden Größen von 15-19 mm ausgewählt, für den mittleren Transekt Größen von 6-9 mm. Es wurden Stationen gewählt, an denen genügend Fischlarven in den jeweiligen Größenklassen vorhanden waren. Es handelt sich um folgende Stationen (siehe Abb. 3): 105, 107, 110, 114, 121, 131, 138.

Außerdem wurde für die Auswahl der Stationen die Temperatur berücksichtigt. Die Temperaturen stiegen mit zunehmender Entfernung von der Küste immer mehr an.

Es fiel auf, dass im mittleren Transekt von der Küste ausgehend filamentartige Strukturen zu erkennen sind, die sich zum Teil auch auf das nördliche Transekt ausdehnen. An der Küste strömte kaltes Wasser an die Oberfläche, das wie ein Band bis zu Station 114 reichte, die von wärmerem Wasser umgeben war. Die Temperatur nahm dabei stetig zu. Die ausgewählte Station 121 wies sehr warme Temperaturen auf. Bei der Ergebnissuche stellte sich heraus, dass diese Stationen getrennt betrachtet werden muss, da wir davon ausgingen, dass diese Station mit warmem Wasser aus dem Norden versorgt wurde.

Der südliche Transekt war für die weitere Verarbeitung nicht relevant.

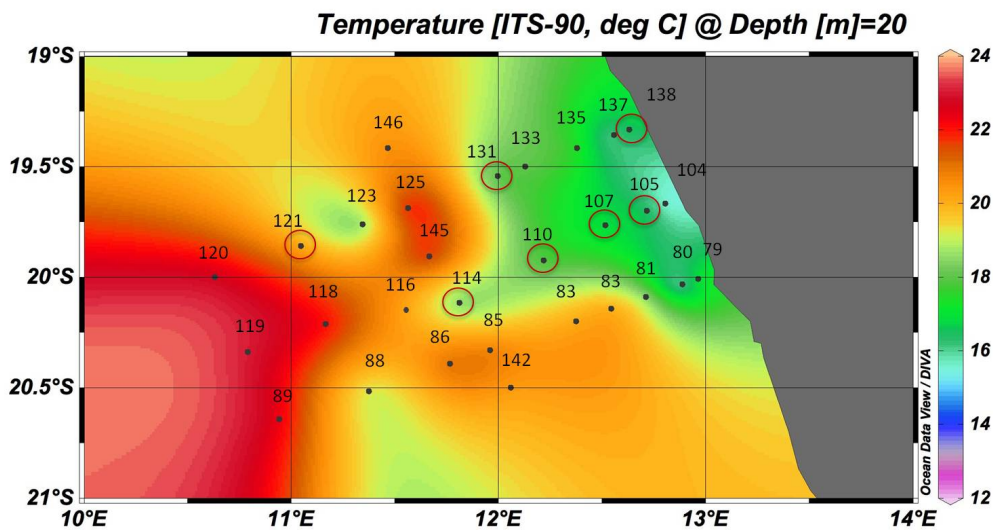


Abbildung 3: Temperaturverteilung bei 20 m. Die roten Kreise zeigen die ausgewählten Stationen

Angaben zu den ausgewählten Stationen

Tabelle 1: Stationen nach Transekt geordnet

Transekt	Station	Entfernung zur Küste (km)	Wassertiefe (m)	max. Fangtiefe (m)	SST (°C)	Temperatur (°C) bei Fangtiefe	Zooplankton-dichte (g)/m ²
Nord	138	7	48	47	17,4	15,4	4,47
	131	84	324	50	21,0	15,9	21,88
	121	200	1206	50	22,2	16,7	7,17
Mitte	105	15	90	20	19,0	16,6	13,70
	107	42	130	40	19,4	14,7	116,26
	110	81	381	50	20,9	15,0	45,08
	114	135	502	50	20,6	14,8	16,91

Die Oberflächentemperatur (SST) war bei beiden Transekten an der Küste am niedrigsten. Mit zunehmender Entfernung von der Küste stiegen die Temperaturen an. Das traf bei Station 114 nicht zu, hier nahm die Temperatur wieder ein wenig ab. Bei Station 121 wurden die höchsten Temperaturen gemessen mit 22,2°C an der Oberfläche und 16,7°C in 50 m Tiefe. Station 107 wies bei einer Fangtiefe von 40 m die niedrigste Temperatur von beiden Transekten auf. Hierbei war auch die Zooplanktondichte am Größten. Bei Station 105 lag die Zooplanktondichte dreimal höher als bei Station 138, die ebenfalls unmittelbar vor der Küste liegt. Station 110 hatte einen doppelt so hohen Zooplanktonwert als Station 131, die sich auf selber Höhe befindet.

Zooplanktonbiomasse ermitteln

Das Zooplankton ist die direkte Nahrungsquelle der Fischlarven. Mögliche Beuteorganismen sind Copepoden, Copepodeneier, Nauplien und Phytoplankton, wie z.B. Diatomen (Bone and Moore, 2008). Um zu sehen, ob die Zooplanktonbiomasse einen entscheidenden Einfluss auf die Häufigkeiten und Größe der Fischlarven haben könnte, wurde diese, für die von uns ausgesuchten Stationen, ermittelt.

Das eingefangene Zooplankton wurde an Bord gleich nach dem Fang in Plastikbehältern mit 4% Formol konserviert. Die Bestimmung der Zooplanktonbiomasse wurde an Land im Labor durchgeführt. Dazu wurde das Formol abgegossen. Dafür wurden zwei Siebe mit einem Durchmesser von 6,4 cm und einer Maschengröße von 300 µm und ein Trichter, der das Abgießen erleichtert, verwendet. Das Zooplankton wurde mittels einer mit destilliertem Wasser gefüllten Kautexflasche auf das Sieb überführt. Anschließend legte man das Sieb für 2 Minuten auf ein saugfähiges Papiertuch, um so zusätzliche Flüssigkeitsreste zu entfernen und für jede Probe die gleichen Bedingungen zu schaffen. Mit einer Feinwaage bestimmte man nun das Nassgewicht der Zooplanktonbiomasse auf zwei Dezimalstellen in g genau. Um große Messabweichungen zu vermeiden, wurde nach jeder Messung das Leergewicht des nassen Siebes zusätzlich gemessen und anschließend vom gemessenen Wert abgezogen. Die Siebe hatten ein Trockengewicht von 45,6 g und 45,03 g. Das Abgießen des Formols und die folgenden 2 Minuten auf dem saugfähigen Papier erfolgten unter dem Abzug mit Nitrilhandschuhen, da Formol giftig ist.

Dichteberechnung:

Die Dichte der Zooplanktonbiomasse m wurde in Abhängigkeit vom filtrierten Volumen (m^3) V und des Tiefenabschnitts (m) T ermittelt.

$$d = (m/V) * T$$

Die Zooplanktonbiomasse wurde für jeden Tiefenabschnitt auf die Station aufaddiert, sodass man das gesamte Volumen jeder Station erhält.

Gefriertrocknung der Fischlarven

Die Körperlänge der Fischlarve wurde als Standardlänge gemessen. Dies bezeichnet die Länge vom vordersten Ende des Fisches bis zur Basis der Schwanzflosse. Die Vermessung erfolgte bereits auf dem Boot. Eine Stunde vor dem Gefriertrocknen wurde der Gefriertrockner angestellt und die Platten auseinander gebaut, sodass sie in den -80°C Kühler passten. Jede Larve wurde in ein Gläschen gegeben und beschriftet, dabei mussten die Proben auf Trockeneis gelagert werden. Der Darm wurde vor dem Gefriertrocknen unter dem Binokular mit Hilfe eines Skalpells und einer dünnen Nadel entnommen. Dies erfolgte wieder unter Kühlung mit Eiswasser. Anschließend kamen die Larven für 2 bis 3 Tage in den Gefriertrockner. Die Larven wurden herausgenommen und vor der Weiterverarbeitung für eine Stunde in einen Exsikkator gestellt, der mit Vakuum gefüllt wurde. Nach Ablauf der Stunde wurde das Trockengewicht (GDW) gemessen mit Hilfe einer Feinwaage. Danach folgte die Otolithen Extraktion.

Wachstum und Altersbestimmung

Die Altersbestimmung von Fischen erfolgt durch das Zählen der Wachstumsringe im Otolithen "increments".

Otolithen sind Kalkblättchen und bestehen zu 90 bis 99% aus Calciumcarbonat (Aragonite) und aus faserigen Proteinen (Otoline) (Degens *et al.*, 1969; MoralesNin, 1986a; Morales-Nin, 1986b). Sie sitzen freibeweglich im Innenohr der Fische und haben zwei Funktionen, zum einen sind sie zuständig für den Gleichgewichtssinn (Carlstrom, 1963; Gauldie, 1988) und zum anderen haben sie eine wichtige Funktion beim Hören. Das Wachstum wird gesteuert durch den Kalzium Metabolismus und die Aminosäuresynthese (Simkiss, 1974). Daraus ergibt sich die Bildung der täglichen "increments", die sich in "discontinuous" (niedriger Metabolismus) und "continuous" Zonen (hoher Metabolismus) aufteilen (Pannella, 1971, 1974; Dunkelberger *et al.*, 1980). Die Breite der „increments“ und die Dichte der mikrokristallinen Struktur der Otolithen sind abhängig vom Entwicklungsstadium des Fisches (Irie, 1960).

Man findet häufig Zwischentagesringe, die sich aufgrund von Migration, verändernden Futterraten (Pannella, 1974, 1980) oder Temperaturwechsel bilden (Pannella, 1980; Campana and Neilson, 1982, Campana, 1983, 1983; Brothers, 1987). Körper- und Otolithenwachstum sind eng miteinander gekoppelt. Die Breite der Ringe spiegelt die

Wachstumsrate wider und lässt Rückschlüsse auf Perioden zu, in denen der Fisch umweltbedingtem oder physischem Stress ausgesetzt wurde. Umweltfaktoren, wie Temperatur und Nahrungsverfügbarkeit können zu Unterschieden in der Breite der Wachstumsringe führen (Garcia *et al.*, 1998).

So lassen sich mit der Zählung der Ringe nicht nur Altersbestimmungen durchführen, sondern es werden auch Umweltveränderungen sichtbar. Die Unterschiede in der Breite der Wachstumsringe geben Aufschluss darüber, in welchen Gewässern sich der Fisch aufgehalten hat, ob es Nahrungsengpässe gab oder ob er sich eine Zeit lang in kälterem bzw. wärmerem Wasser aufhielt. Mit diesen Daten lassen sich auch Angaben über die Rekrutierung und die Mortalität machen.

Otolithen Extraktion

Um den Wachstum und das Alter zu bestimmen, benötigt man die Sagitta Otolithen der Fischlarven.

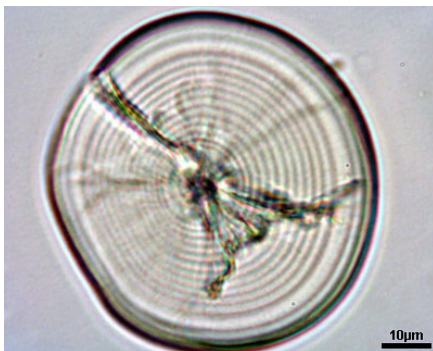


Abbildung 4: Sagitta Otolith einer *E. encrasicolus* Larve

Für die Extraktion der Otolithen benötigt man ein Binokular, eine Petrischale, Eis und Mikrosezierbesteck. Wenn es möglich war, wurden beide Sagitta Otolithen entnommen. Die Otolithen wurden gesäubert und mit einer Nadel in eine schwarze Plastikschiene überführt. Ein kleiner Wassertropfen in der Mitte der Schiene erleichterte das Überführen von der Nadel in die Schiene. Ein Tropfen Zweikomponentenkleber wurde auf einen Objektträger gegeben und der trockene Otolith

darauf gesetzt. Der Kleber musste anschließend 24 h trocknen. Alle Otolithen kleiner als 50 µm wurden in einen Objektglaträger mit Vertiefung überführt, in dem ein Tropfen Immersionsöl gegeben wurde. Die größeren Otolithen mussten zum Teil geschliffen werden mit einem feinem 2400er Silizium Karbid Papier. Die freischwimmenden Otolithen wurden direkt nach dem Überführen unter Mikroskop gelegt und Bilder davon gemacht. Die Otolithen wurden angeschaut bei 40-63x Vergrößerung, die aufgeklebten Otolithen wurden dabei immer mit einem Tropfen Immersionsöl versehen. Insgesamt wurden von 73 Larven die Otolithen entnommen und vermessen (siehe Anhang Tab. 6).

Digitale Bilder wurden mit der Zeiss Axio Cam ICm1 aufgenommen. Für die Aufnahmen wurde das Programm Axio Vision Rel 4.8 verwendet.

Die Vermessung erfolgte mit Hilfe von Image Pro Plus 5.1. Die Zuwachsbreite der Ringe und der Otolithenradius wurden ausgemessen. Die Ringe wurden mehrfach gezählt u.a. von einem unabhängigen Beobachter. Bei Abweichungen von mehr als 5% wurde der Otolith aussortiert. Über die Zählung der Ringe wurde das Alter ermittelt (Bailey; MoralesNin and Aldebert, 1997).

Statistische Methoden

Für die Beschreibung des Wachstums, der täglichen Wachstumsrate und der Kondition wurden Modelle und statistische Analysen angewandt.

Die Standardlänge des Fisches SL_i (mm) wurde über den Otolithenradius OR_i (μm) rückgerechnet. OR_i ist der Radius bei "increment" i und OR_c ist der Radius beim Fang c (catch). Die Rückrechnung wurde nach (Folkvord and Mosegaard, 2002) aus folgender Formel berechnet:

$$(SL_i) = \left(\frac{OR_i}{OR_c}\right)^b SL_c$$

Um die tägliche Zuwachsrate ($\Delta SL_i / \Delta t$) zu berechnen gilt:

$$SL_{i+1} - SL_i$$

Das Wachstum der Fischlarven lässt sich nach Laird-Gompertz (Zweifel and Lasker, 1976) beschreiben. L_t ist die Länge zu einer bestimmten Zeit, L_0 ist die Länge zum Zeitpunkt des Schlupfes, k und G sind spezifische Wachstumskoeffizienten.

$$L_t = L_0 e^{k(1-e^{-Gt})}$$

Der Konditionsfaktor CF wird mit folgender Formel berechnet (Heincke, 1908), wobei GDW (mg) das gemessene Trockengewicht ist und b die Steigung der errechneten Regressionsgerade aus dem Logarithmus von SL (mm) und dem gemessenen Trockengewicht:

$$CF = GDW * SL^{(-b)} * 10^4$$

Die Zooplanktonplanktondichte wurde für die Stationen des nördlichen und mittleren Transekts aus den Multinetzdaten berechnet. Dies erfolgte über eine Dreisatzrechnung unter Einbindung des filtrierten Volumens jedes Multinetzes und wurde auf g/m^2 für jede Stationen des nördlichen und mittleren Transekts aufaddiert.

Die Sauerstoffdaten der CTD Messung wurde für alle 29 Stationen nach (Garcia and Gordon, 1992) von ml/l in % umgerechnet.

Distanzberechnung

Um die Entfernungen der jeweiligen Stationen zur Küste zu ermitteln, wurden mit Hilfe der Internetseite www.findlatitudeandlongitude.com (23.10.2014) die Längengrade der jeweiligen Stationen über die Breitengrade festgestellt. Anschließend wurde mit den ermittelten Daten auf der Internetseite www.movabletype.co.uk/scripts/latlong.html (23.10.2014) die Entfernung zur Küste berechnet. Die Ermittlung erfolgte in einer waagerechten Linie zur Küste. Daher sind Abweichungen in der Entfernung möglich.

Datenanalyse

Für die visuelle Datenanalyse und statistische Tests wurde die Software *JMP10* verwendet. Um ozeanografische Profile herzustellen, kam das Programm *Ocean Data View* (ODV 4.6.3) zum Einsatz.

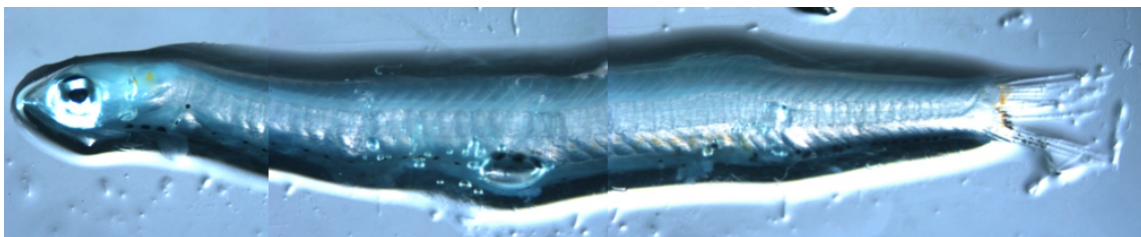


Abbildung 5: *Engraulis encrasicolus* Larve, Größe 19 mm

Ergebnisse

Verbreitung

Die Größenverteilung der Fischlarven *Engraulis encrasicolus* zeigte eine ungleiche Verteilung sowohl zwischen den Transekten, als auch entlang eines Transekt (siehe Tabellen 2/3/4 im Anhang). Der nördliche Transekt wies überwiegend größere Fischlarven auf, im mittleren gab es vermehrt kleine Fischlarven und im südlichen Transekt waren nur an zwei Stationen Fischlarven gefangen worden, die 9 bis 22 mm groß waren.

Insgesamt wurden im nördlichen Transekt am meisten *E. encrasicolus* gefangen, davon wies Station 131 die größte Anzahl auf mit 346 Stück. Im mittleren Transekt wurde an Station 110 die meisten Fischlarven gezählt. Im südlichen Transekt wurden nur sehr wenige Larven gefangen. Von 57 Larven wurden 54 Stück an Station 85 gezählt.

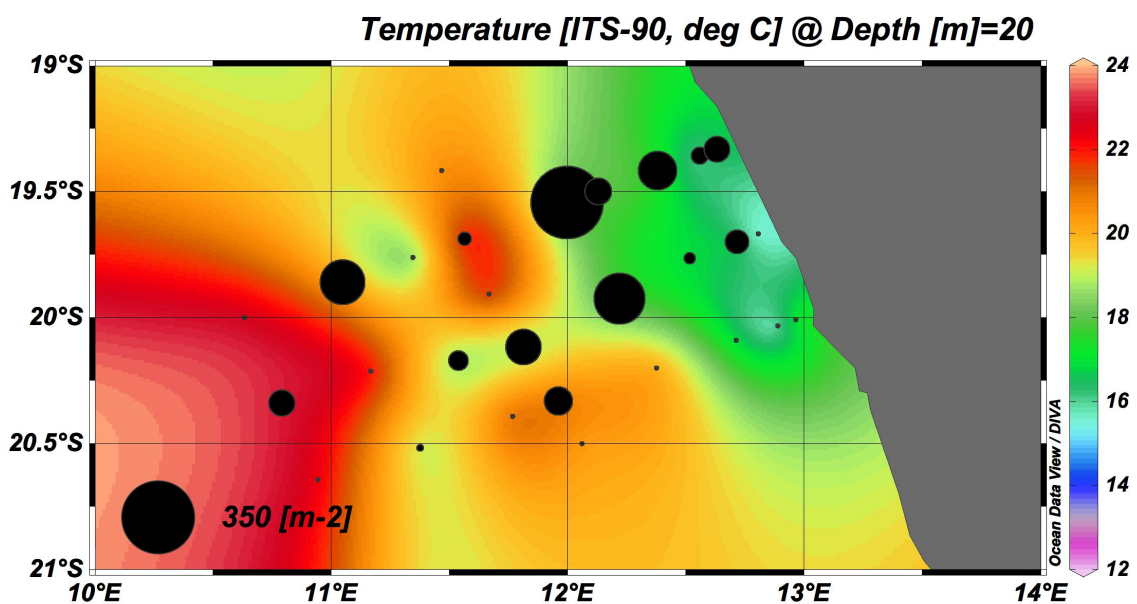


Abbildung 6: Verteilung der Fischlarven *E. encrasicolus* im Untersuchungsgebiet in Bezug auf die Temperatur bei 20 m

Zooplanktondichte

Im mittleren Transekt wurde eine höhere Dichte an Zooplankton gemessen. Speziell an Station 107 (roter Bereich) traten Mengen von $116,26 \text{ g/m}^2$ auf. Unmittelbar vor der Küste war kein Zooplankton vorhanden. Im nördlichen Transekt wurde nur sehr wenig Zooplankton gemessen.

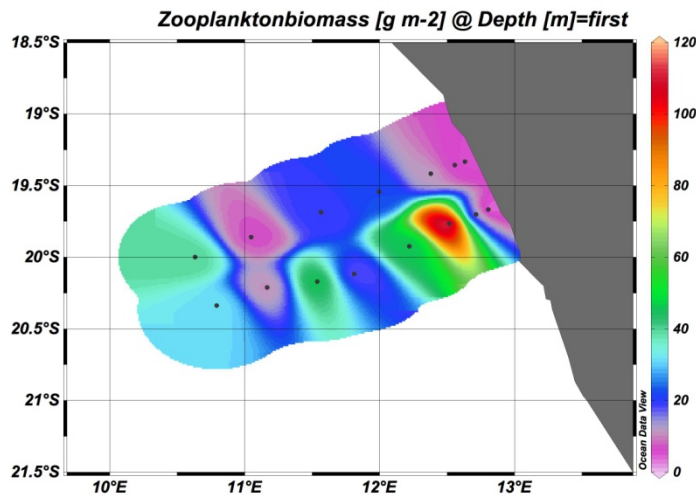


Abbildung 7:
Zooplanktonverteilung für den nördlichen und mittleren Transekt

In Abhängigkeit von der Temperatur stellte sich heraus, dass die Zooplanktondichte an einer bestimmten Station am größten ist. Station 107 wies die höchste Dichte auf und hatte eine Wassertemperatur von $16,8^\circ\text{C}$ bei 20 m. Küstennahe und küstenferne Stationen zeigten sehr niedrige Werte an Zooplankton. Die Dichte an Zooplankton nahm von Station 107 mit zunehmender Entfernung zur Küste exponentiell ab (Abb. 8).

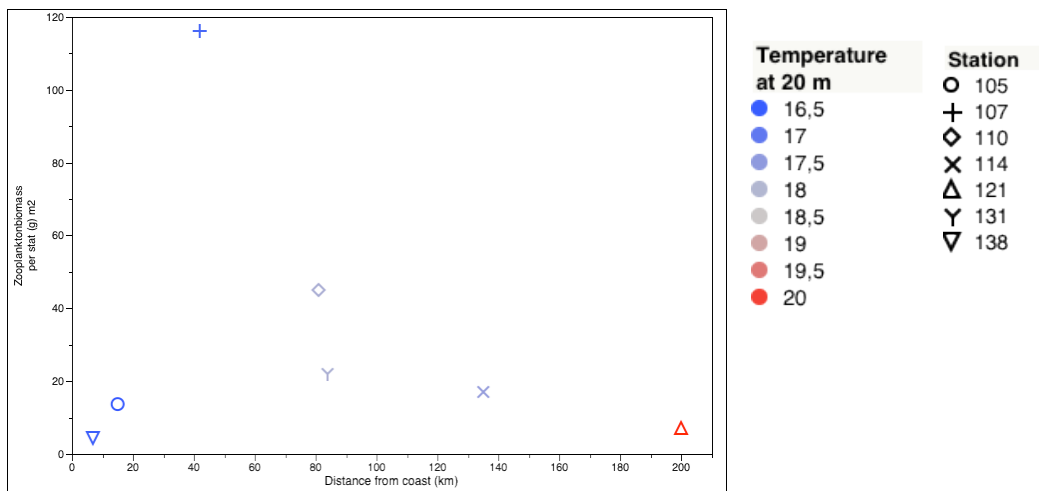


Abbildung 8: Zooplanktonbiomasse in g/m^2 für jede Station gegen die Entfernung zur Küste in Abhängigkeit der Temperatur bei 20 m Tiefe

Wachstum

Man erkennt deutlich, dass der nördliche Transekt ein stärkeres Wachstum der einzelnen Fischlarven aufzeigte als der mittlere Transekt. Außerdem waren die Larven des nördlichen Transekts beim Schlupf bereits größer als die des mittleren Transekts. Bei Station 105 (dunkelblau) stachen zwei Larven heraus, sie wiesen das gleiche bzw. zum Teil ein stärkeres Wachstum auf als die Larven vom nördlichen Transekt. Je früher die Larven gefangen wurden, desto größer waren sie beim Schlupf.

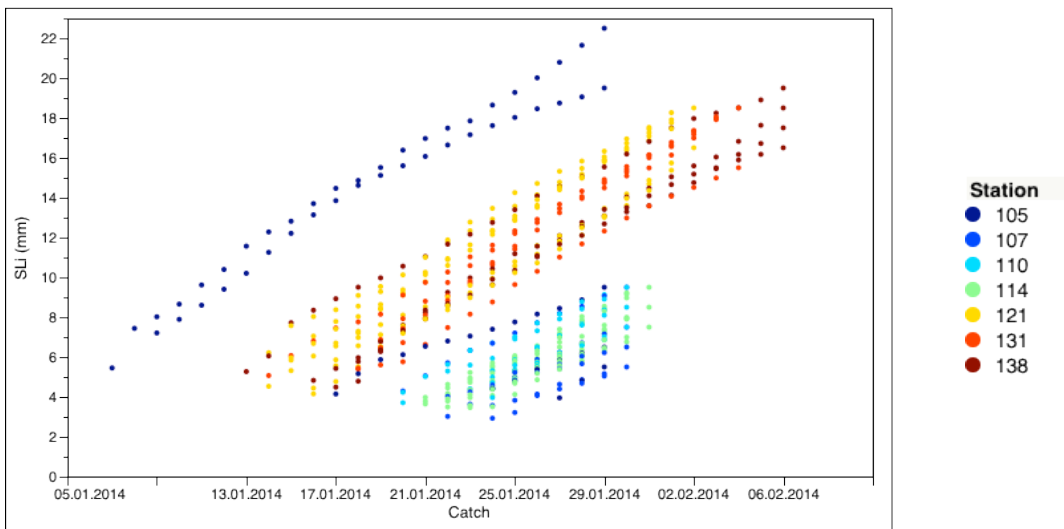
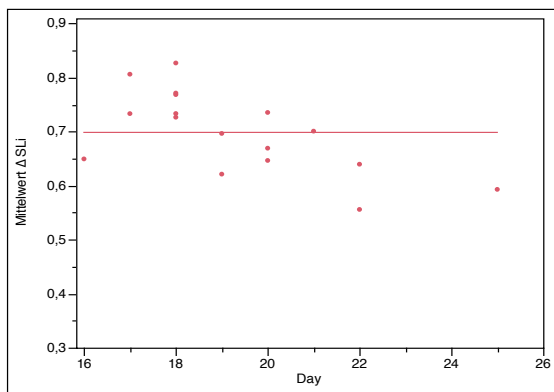


Abbildung 9: Zusehen ist der Wachstum SL_i gegen das Fangdatum und damit die Zurückrechnung des Schlupfzeitpunktes. (Jede Farbe steht für eine Station. Die warmen Farben stehen für den nördlichen Transekt, die kalten Farben für den mittleren Transekt.)

Die mittlere Wachstumsrate lag im nördlichen Transekt bei 0,69. Im mittleren Transekt lag sie bei 0,54 und somit deutlich niedriger als im nördlichen Transekt. Für die Berechnung des Wachstums ergab sich ein Regressionsfaktor b von 0,4711.

Nord



Mitte

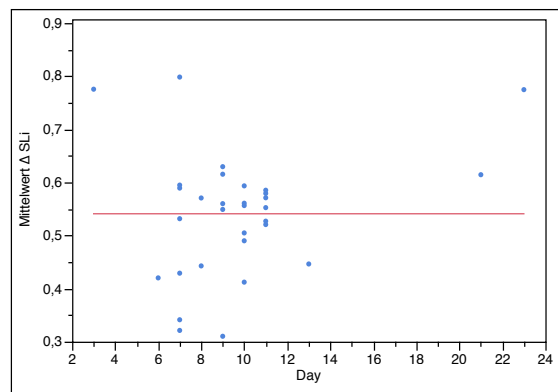


Abbildung 10: Mittelwerte der Wachstumsrate für den nördlichen und mittleren Transekt in Bezug auf das Alter in Tagen 18

Der mittlere Transekt wies Temperaturen zwischen 16,5 und 18 °C. Die zwei küstennahen Stationen des nördlichen Transekt lagen im selben Temperaturbereich jedoch zeigte Station 121 wärmere Temperaturen (Abb. 11) wie schon bereits erwähnt (siehe Abb. 3). Die mittlere Wachstumsrate stieg tendenziell mit zunehmender Temperatur an.

Das gleiche Schema zeigte sich auch beim Sauerstoffgehalt (Abb. 12). Auch hier stiegen die Werte tendenziell mit zunehmendem Sauerstoffgehalt an. Station 121 wies auch hier den höchsten Sauerstoffgehalt auf. Die restlichen Stationen zeigten Werte zwischen 75 und 95%. Es sind keine deutlichen Unterschiede zwischen dem nördlichen und mittleren Transekt zu erkennen.

Es lässt sich somit ein Bezug zwischen Temperatur und Sauerstoffsättigung herstellen, als auch zwischen der Wachstumsrate und der Temperatur bzw. dem Sauerstoff.

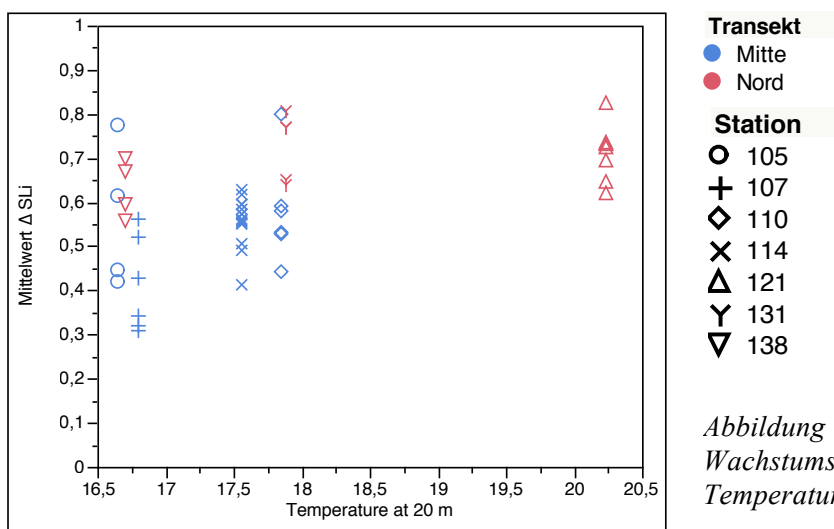


Abbildung 11: Mittlere Wachstumsrate in Abhängigkeit der Temperatur in 20 m Tiefe

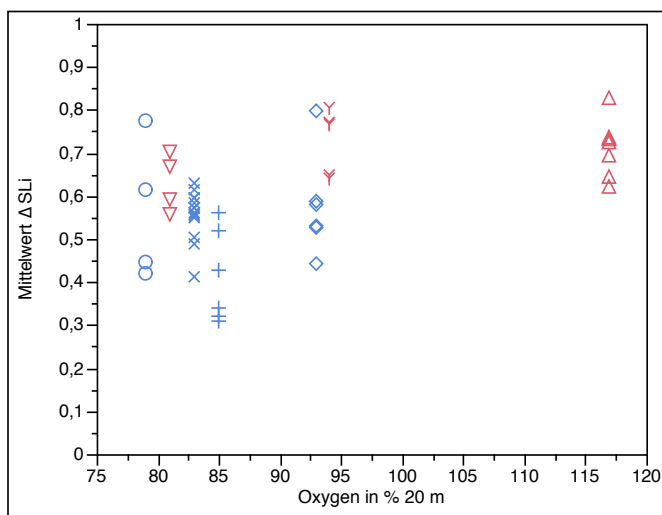


Abbildung 12: Mittlere Wachstumsrate in Abhängigkeit zum Sauerstoffgehalt in % bei 20 m Tiefe

Der mittlere Transekt wies niedrigere Salzgehalte auf als der nördliche Transekt. Hier ist eine deutliche Abgrenzung zum nördlichen Transekt zu erkennen. Station 138, die direkt vor der Küste des nördlichen Transekts lag, hatte den höchsten Salzgehalt mit 35,42 PSU. Bei Station 105, die ungefähr auf gleicher Höhe zu Station 138 lag, betrug der Salzgehalt gerademal 35,265 PSU.

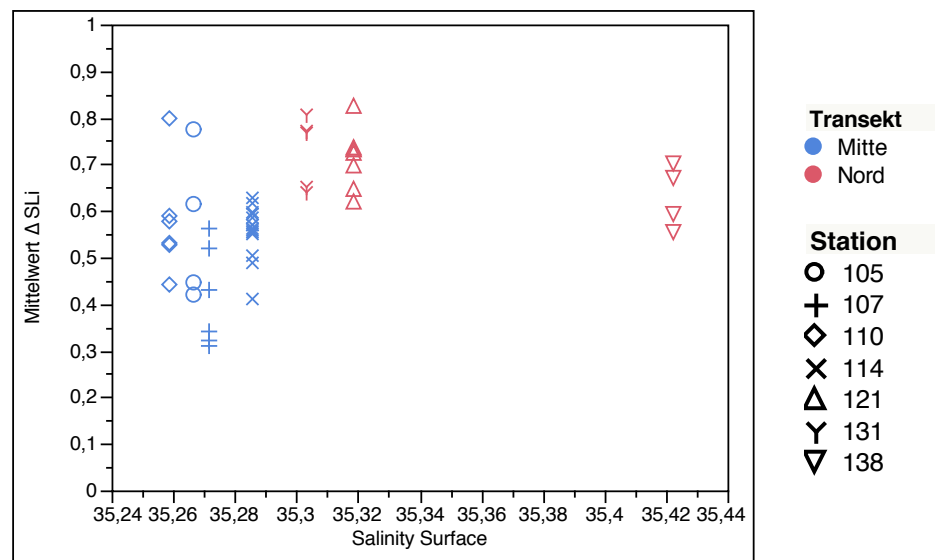


Abbildung 13: Mittlere Wachstumsrate in Abhängigkeit der Salinität (PSU) an der Oberfläche

Die mittlere Wachstumsrate nahm mit zunehmender Entfernung zur Küste zu (Abb. 14). Die Zooplanktonbiomasse zeigte kein konstantes Bild und nahm tendenziell ab (Abb. 15). Daraus kann man schließen, dass die Zooplanktonbiomasse keinen direkten Einfluss auf die Wachstumsrate der Larven hat.

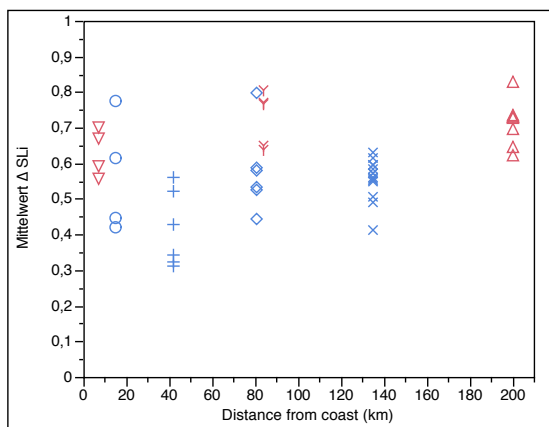


Abbildung 15: Mittlere Wachstumsrate über die Entfernung zur Küste

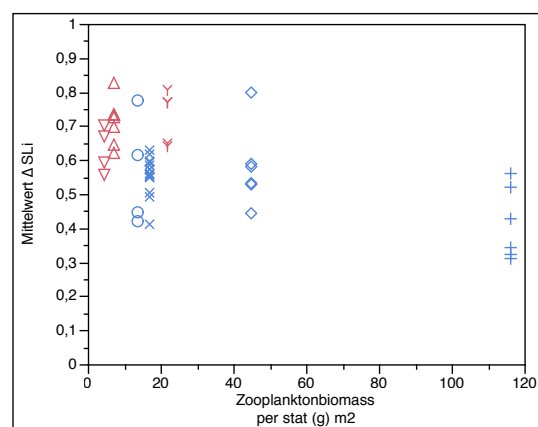


Abbildung 14: Mittlere Wachstumsrate in Abhängigkeit zur Zooplanktondichte

Kondition

Für die Berechnung der Kondition ergab sich ein Regressionsfaktor b von 3,6595606.

Man erkennt eine klare Abgrenzung zwischen dem Gewicht der Larven vom nördlichen und mittleren Transekt (Abb. 16). Der CF vom nördlichen Transekt lag zwischen 0,7 und 1,9. Dabei variierten die Trockengewichte zwischen 2 und 5 mg.

Der mittlere Transekt wies CF Werte zwischen 0,4 und 1,6 auf. Das Trockengewicht lag dabei nie höher als 0,5 mg, bis auf die zwei größeren Larven von Station 105. Eine davon maß das schwerste Gewicht aller Larven mit 6,5 mg. Die zwei Larven hatten dafür recht niedrige CF Werte. Sie lagen bei 0,8.

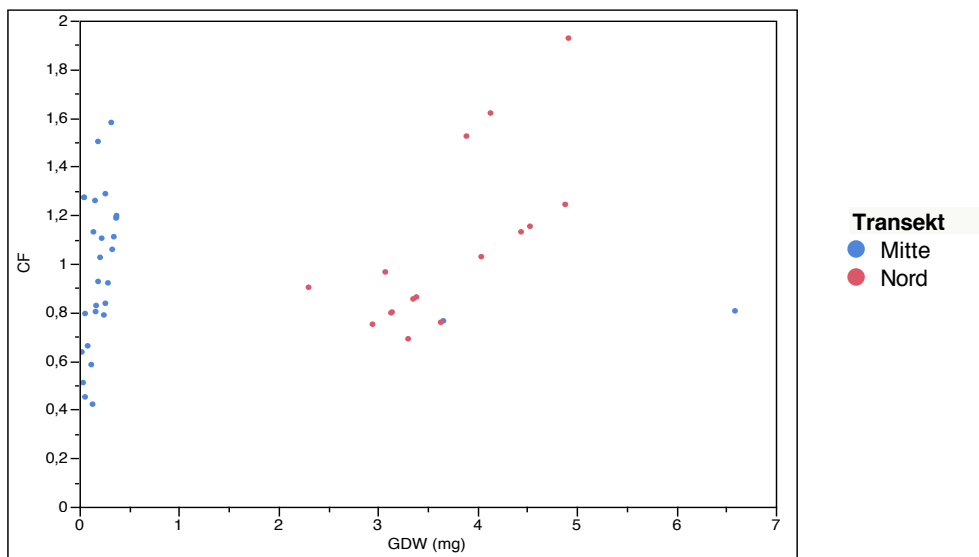


Abbildung 16: Konditionsfaktor in Abhängigkeit des Trockengewichts

Der CF lag zunächst recht tief unter dem Wert 1 bei den Stationen unmittelbar vor der Küste, stieg an bis 1,6 und nahm dann aber mit zunehmender Temperatur ab (Abb. 17). Die Konditionen der Fischlarven vom nördlichen Transekt lagen dabei meist tiefer als die des mittleren Transekt bis auf Station 121. Station 121 wies den höchsten CF auf. Station 121 (Dreieck nach oben) wird hier getrennt betrachtet, wie oben bereits erklärt. Tendenziell stieg der CF mit zunehmender Temperatur, wenn man Station 121 ausschließt.

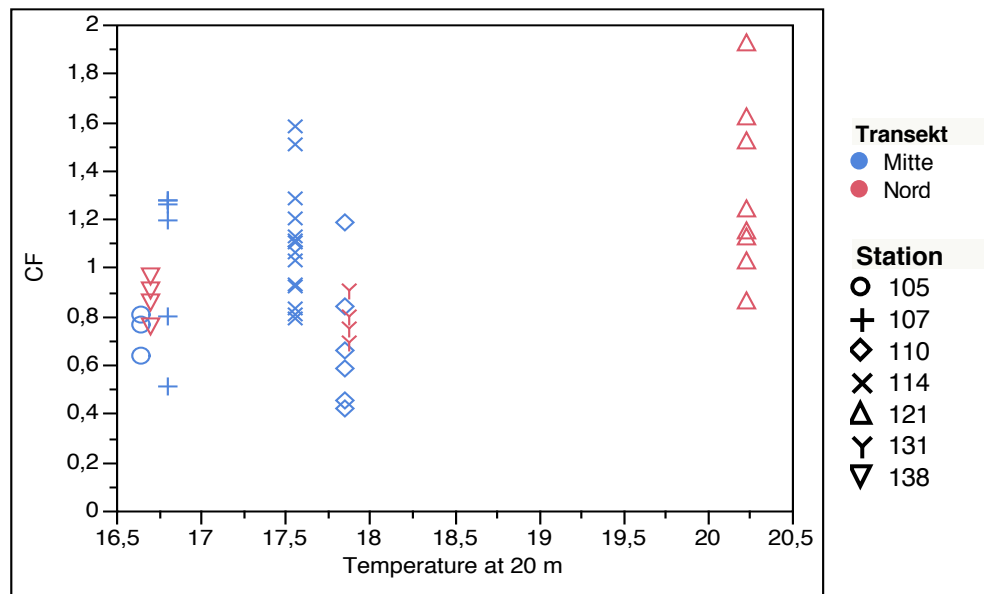


Abbildung 17: Konditionsfaktor in Abhängigkeit der Temperatur bei 20 m Tiefe

Ein ähnliches Schema zeigte sich auch beim Sauerstoffgehalt in 20 m Tiefe (Abb. 18). Zunächst lag der CF unter 1, stieg dann an auf 1,6 und sank dann stetig ab bis zu einem Wert von 0,7. Der Sauerstoffgehalt nahm dabei stetig zu. Station 121 (Dreieck nach oben) fällt allerdings wieder aus diesem Schema heraus. Station 121 wies den höchsten CF auf bei über 117% Sauerstoffsättigung. Tendenziell sank auch hier der CF mit zunehmendem Sauerstoffgehalt, wenn man Station 121 wieder ausschließt.

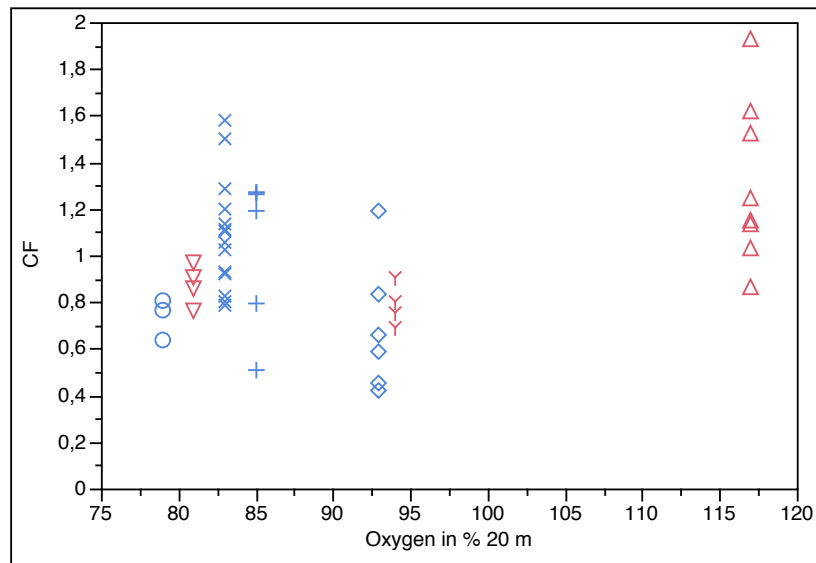
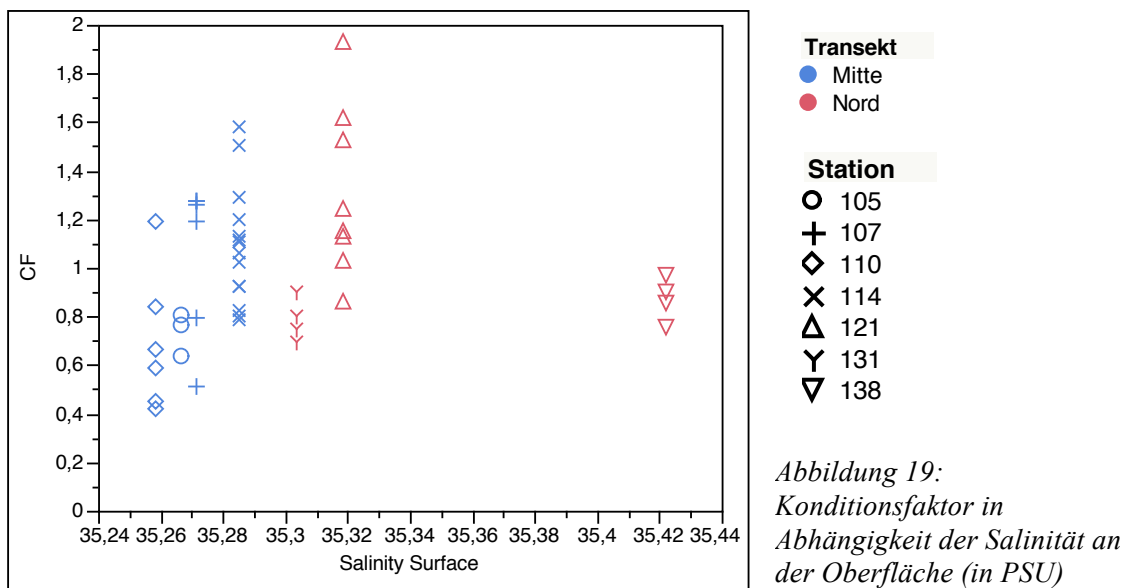


Abbildung 18: Konditionsfaktor in Abhängigkeit des Sauerstoffgehalts in % in 20 m Tiefe

Wie schon beschrieben, zeigte sich bei der Salinität eine deutliche Abgrenzung zwischen dem nördlichen und mittlerem Transekt. Im mittleren Transekt stieg der CF mit zunehmender Salinität. Im nördlichen Transekt gab es sehr hohe und niedrige CF Werte, während die Spanne des Salzgehalts recht groß war. Station 138 und 131 wiesen fast die selben CF Werte auf, obwohl der Unterschied des Salzgehalts bei 0,12 lag. Heraus stach Station 138 mit einem Wert von 35,42 PSU. Im mittleren Transekt lagen die Salzgehalte recht nah zusammen zwischen 35,25 und 35,29 PSU.



Der CF nahm mit zunehmender Entfernung zur Küste (Abb. 20) und zunehmender Zooplanktonbiomasse zu (Abb. 21). Station 121 wird dafür ausgeblendet, ansonsten würde der CF mit zunehmender Zooplanktonbiomasse sinken. In beiden Fällen gibt es Ausreißer, an denen niedrige CF Werte ermittelt wurden.

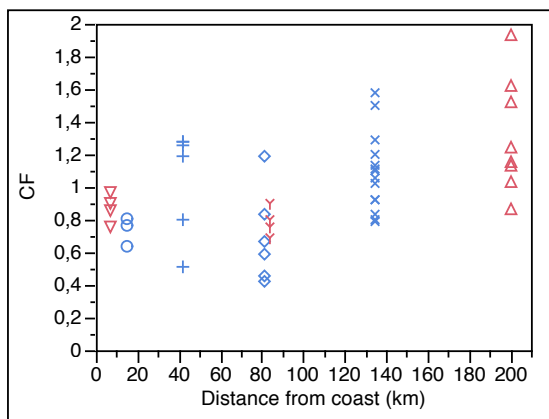


Abbildung 20: Konditionsfaktor in Abhängigkeit zur Entfernung der Küste

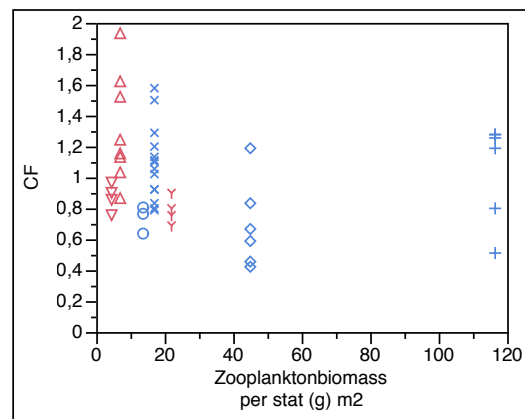


Abbildung 21: Konditionsfaktor in Abhängigkeit der Zooplanktonbiomasse

Diskussion

Verteilung

Im nördlichen Transekt wurden generell größere Fischlarven gefangen als im mittleren Transekt. Diese Verteilung wird auf Strömungsverhältnisse zurückgeführt. Wie die Temperaturverteilungskarte zeigt, gelangte kaltes nährstoffreiches Wasser an der Küste des mittleren Transekts an die Oberfläche und reichte bis Station 114 horizontal ins Meer hinaus. An dieser Stelle wird angenommen, dass sich das Filament teilte und nach Norden und Süden abgelenkt wurde. Die Sardellen sind im mittleren Transekt geschlüpft und mit der Strömung nach Norden getrieben worden.

Wachstum

Die Wassertemperaturen an der Küste sind gering, da es sich um frisches Auftriebswasser handelt. Die Strömung treibt das kalte Auftriebswasser horizontal von der Küste weg. Das küstenferne Wasser ist wärmer, da es sich schon länger an der Oberfläche befindet und von der Sonne aufgeheizt wird (Postel, 1990). So steigen die Temperaturen entlang eines Filaments stetig an, je weiter man sich von der Küste entfernt.

Die Temperatur beeinflusst die Wachstumsrate bedeutend (Houde, 2008). Die Temperatur ist der größte abiotische Faktor, der metabolische Raten beeinflusst und in unterschiedliche Organisationsebenen eingreift (Individuum, Population, Gemeinschaft, Ökosystem (Neill *et al.*, 1994)). Davon betroffen sind Schlupfzeitpunkt, Fressraten und Fresserfolg, Wachstum, Verteilung, Mortalität, und Schwimmaktivitäten. Ein Beweis dafür sind die wärmeren Temperaturen im Mittelmeer, die nachweislich höhere tägliche Wachstumsraten bei Sardellen zeigten (Garcia *et al.*, 1998). Diese Aussage erwies sich auch in den beiden untersuchten Transekten. Mit zunehmender Temperatur stieg die mittlere Wachstumsrate leicht an. Da die Temperaturen im Untersuchungsgebiet nicht mehr als 8°C variierten, ist nur eine leichte Zunahme der Wachstumsrate zu erkennen. Das beweist die RGT- Regel. Bei einem Anstieg von 10°C verdoppelt sich die Reaktionsgeschwindigkeit im Organismus (Jacobus Henricus van 't Hoff, 1884).

Die Temperatur und Sauerstoff zeigten dasselbe Schema, was das Wachstum der Larven angeht. Mit zunehmender Temperatur bzw. Sauerstoffgehalt stieg das Wachstum in beiden Transekten tendenziell an. Die Sauerstoffsättigung lag zwischen

75 und 117% und erwies sich als einen Bereich, der keine Beeinträchtigungen im Stoffwechsel der Larven ergab. Fischlarven sind im Allgemeinen recht intolerant gegen Sauerstoffminimumzonen. Das gilt besonders für Sardellen (Geist, 2013).

Sauerstoffminimumzonen ($<2,5 \text{ ml O}_2 \text{ L}^{-1}$) traten unmittelbar vor der Küste direkt über dem Meeresboden in 40 m Tiefe auf (siehe Anhang Abb. 23). In diesem Bereich halten sich keine Fischlarven auf, da hier der Auftrieb so stark ist, dass sie mit der Strömung an die Oberfläche vertrieben werden.

Das meiste Zooplankton wurde ca. 40 km vor der Küste festgestellt. Diese hohe Zooplanktonanzahl lässt auf ablandigen Transport und aktiven Auftrieb schließen. Die Temperatur in 40 m Tiefe betrug hier $14,7 \text{ }^\circ\text{C}$, was die kälteste Temperatur in Fangtiefe bei beiden Transekten war.

Phytoplankton benötigt kaltes nährstoffreiches Wasser und Licht um Primärproduktion und Photosynthese betreiben zu können. Das frische Auftriebswasser an der Küste bietet dafür optimale Bedingungen. Die Temperatur an der Oberfläche ist abhängig von der Intensität des Auftriebes. Je mehr Wasser gefördert wird, desto näher gelangt es an die Oberfläche und desto kälter ist das Wasser.

Die hohen Sauerstoffkonzentrationen entlang eines Filaments sind auf die Algen zurückzuführen. Auch wenn die Algen schon gestorben oder konsumiert wurden, findet man dennoch einen hohen Sauerstoffgehalt in den oberen Wasserschichten. Dies begründet das Entstehen von übersättigten Sauerstoffzonen. Außerdem lässt sich so erklären, weshalb an Station 107 so viel Zooplankton gefunden wurde. Für das Wachsen von Zooplankton werden kalte Temperaturen und Sauerstoff benötigt. Unmittelbar vor der Küste bei Station 105 gelangte frisches Auftriebswasser an die Oberfläche und bot so optimale Bedingungen für das Wachstum von Phytoplankton, was die direkte Nahrungsquelle von Zooplankton ist, so dass sich das Zooplankton ungehindert vermehren konnte. Küstenfernes Wasser zeichnet sich durch stabile Temperaturen, wenige Nährstoffe und keine Durchmischung der Wassersäule aus. Dadurch findet wenig Primärproduktion statt. Aus diesem Grund wurde wenig bis kein Zooplankton ab einer Entfernung von 135 km zur Küste gefangen. Sardellen benötigen Phyto- und Zooplankton als Nahrung. Außerdem ist bewiesen, dass Sardellen besser in stabilem Wasser mit genug Futter überleben (Cushing, 1996). Deshalb fanden wir auch nur wenige Sardellen in den küstenfernen Stationen. Das Zooplankton spielt indirekt eine wichtige Rolle für das Wachstum der Larven. Im nördlichen Transekt wurde gerade mal 40 % der Menge an Zooplankton vom mittleren Transekt gemessen.

Daher wurden dort auch nur vermehrt große Larven gefangen. Für kleine frisch geschlüpfte Larven gab es zu wenig Nahrung, so dass ihre Überlebenschancen sehr gering waren. Das lässt vermuten, dass im südlichen Transekt nur wenig Zooplankton vorhanden war, da hier am wenigsten Larven gefangen wurden.

Ein weiterer Faktor, der die Produktion von Zooplankton beeinflusst, ist windbedingter Stress, der durch die ablandigen Winde beim Ekman Transport entsteht. Mit einem stärkeren Auftrieb nimmt die Quantität des Zooplanktons ab und damit auch die Anzahl der Sardellen (Cushing, 1996). Somit hängen Auftriebsaktivität, Zooplankton- und Sardellenquantität eng zusammen.

Auch die Nahrungsbedingungen der adulten Tiere spielen einen entscheidenden Faktor bei der Qualität und Quantität von Fischeiern (Houde, 2008). Es ist bewiesen, dass maternale Effekte Unterschiede in Anzahl, Größe und Qualität der Embryos und Larven zeigen. Tatsache ist, dass kleine Mutterfische kleinere Eier und Larven produzieren. Dies beweist, warum im mittleren Transekt hauptsächlich nur kleine Fischlarven gefangen wurden. Die Larven vom nördlichen Transekt waren bereits beim Schlupf größer, wurden jedoch auch früher gefangen. Betrachtet man das Fangdatum, sind diese die ersten, der untersuchten Larven, die gefangen wurden. Im Südhalbkugel Sommer gelangt warmes nährstoffreiches Wasser aus dem Norden in den Benguelastrom und könnte damit einen Monat früher, als die Larven gefangen worden sind, bessere Bedingungen für die adulten Tiere des nördlichen Transekts gehabt haben. Auffallend ist, dass die zwei größeren Larven (19 und 22 mm) von Station 105 beim Schlupf viel größer waren, als die restlichen Larven vom mittleren Transekt. Möglicherweise hätte man zu einem früheren Zeitpunkt im Untersuchungsgebiet mehr größere Larven gefunden. Auftriebsmaximum ist im Winter und am Anfang des Frühlings, ruhige Perioden sind während des Sommers (Shannon, 1985).

Die Salinität hat keinen Einfluss auf die Wachstumsrate, die Werte lagen alle recht dicht beieinander zwischen 35,25 und 35,42 PSU. Bis auf die Abgrenzung zwischen nördlichen und mittleren Transekt, lässt sich kein Muster erkennen, das einen positiven oder negativen Effekt auf die Wachstumsrate hat.

Kondition

Die Kondition von Fischen ergibt sich aus der Länge und das Gewicht des Fisches. Die Nahrungsbeschaffenheit spielt dabei eine wichtige Rolle. Je mehr Nahrung ihnen zur Verfügung steht desto höher ist der Konditionsfaktor. Die Larven des mittleren

Transekts waren bedeutend kleiner und dementsprechend maßen sie auch ein geringeres Trockengewicht, als die des nördlichen Transekts. Der CF vom nördlichen Transekt lag zwischen 0,7 und 1,9. Dabei variierten die Trockengewichte zwischen 2 und 5 mg. Der mittlere Transekt wies CF Werte zwischen 0,4 und 1,6 auf. Das Trockengewicht lag dabei nie höher als 0,5 mg. Die Beute Quantität und Qualität bestimmen die Kondition als auch die Wachstumsrate, beides sind wichtige Faktoren für das Überleben der Larvenphase (Geist, 2013). Wie oben schon beschrieben, verursacht starke Strömung eine Abnahme der Beutedichte. Dies wirkt sich, wie auch auf die Wachstumsrate negativ auf den Konditionsfaktor aus (Hjort, 1914).

Der CF von beiden Transekten sank ganz leicht mit zunehmender Temperatur und Sauerstoffkonzentration. Es wurde jedoch auch beobachtet, dass der CF mit zunehmender Entfernung zur Küste im mittleren Transekt anstieg. Da die Temperaturen mit zunehmender Entfernung zur Küste auch stiegen, stimmt die Aussage, dass der CF mit steigender Temperatur sinkt, nicht ganz überein. Darum muss es einen anderen Faktor geben, der die Zunahme des Konditionsfaktors mit Entfernung zur Küste hervorruft. Der Anstieg der Zooplanktonbiomasse führte dazu, dass der CF im mittleren Transekt zunahm. Im nördlichen Transekt nahm die Zooplanktonbiomasse mit zunehmender Entfernung ab genauso wie der CF. Somit ist die Menge der Zooplanktonbiomasse der entscheidende Faktor, der sich positiv auf den CF auswirkt.

Zwischen dem nördlichen und dem mittleren Transekt herrschen unterschiedliche Salzgehalte (siehe Abb. 13/19). Im nördlichen Transekt lagen die Werte zwischen 35,3 und 35,42 PSU. Im mittleren Transekt wurden Werte zwischen 35,25 und 35,29 PSU gemessen. Vom Norden her gelangt wärmeres Wasser in das Auftriebsgebiet. Wenn warmes und kaltes Wasser aufeinander treffen, führt dies dazu, dass ein Teil des Wassers verdunstet und der Salzgehalt in dem Gebiet ansteigt. Das würde begründen, weshalb im nördlichen Transekt höhere Salzgehalte vorlagen.

Der CF stieg im mittleren Transekt mit zunehmendem Salzgehalt an. Im Norden zeigte sich eine gleichbleibende Tendenz des CF, obwohl die Werte im nördlichen Transekt recht weit auseinander lagen. Es lässt sich nicht eindeutig sagen, ob es einen Bereich gibt, der für die Kondition der Sardellenlarven förderlich ist. Durch den rasanten Anstieg im mittleren Transekt kann aber angenommen werden, dass die Larven mit Werten zwischen 35,25 und 35,32 PSU gut zurecht kommen.

Zusammenfassung

Abschließend kann ich sagen, dass man an Station 121 wohl die besten Voraussetzungen für das Heranwachsen von *Engraulis encrasicolus* gefunden hat. Station 121 bot optimale Bedingungen, wie eine sauerstoffreiche obere Wassersäule, hohe Temperaturen (16-22°C), ausreichend Nahrung und einen nicht zu hohen Salzgehalt. Aufgrund dessen fiel Station 121 auf allen Grafiken durch besonders hohe Werte auf. Sowohl die Wachstumsrate, als auch der Konditionsfaktor lagen sehr hoch.

Hypothese 1:

Es gibt einen Unterschied zwischen dem nördlichen und mittleren Transekt in den Entwicklungsstadien und der Kondition der Larven aufgrund von Unterschieden in den abiotischen Bedingungen.

Die Unterschiede erwiesen sich anhand der Zooplanktendichte. Im nördlichen Transekt wurden vermehrt große Larven gefangen (>10mm), wohingegen im mittleren mit der größten Dichte an Zooplankton viele kleine Larven gefangen wurden. Die Kondition der nördlichen *E. encrasicolus* war zudem größer mit Werten über 0,8, als die des mittleren Transekts.

Des Weiteren wurde ein Unterschied der Wachstumsrate zwischen den Transekten festgestellt. Die mittlere Wachstumsrate im nördlichen Transekt betrug 0,69, im mittleren Transekt betrug sie 0,54.

Hypothese 2:

Es gibt Unterschiede im Wachstum der Larven entlang eines Filaments aufgrund von Veränderungen im Filament mit zunehmender Entfernung von der Küste.

Dies erwies sich als bestätigt. Die Temperatur als auch der Sauerstoffgehalt nahmen mit zunehmender Entfernung zur Küste zu. Gleichzeitig stieg die mittlere Wachstumsrate, die abhängig von der Temperatur ist mit an.

Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Werner Ekau für die umfangreiche Betreuung und die stets hilfreichen Diskussionen meiner Arbeit bedanken.

Sowie bei Simon Geist und Stephanie Simon, die mir immer für Fragen zur Seite standen und mich an die praktischen Arbeitsschritte herangeführt haben.

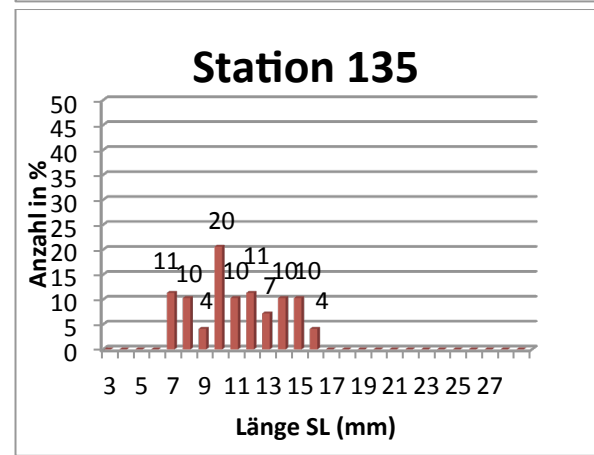
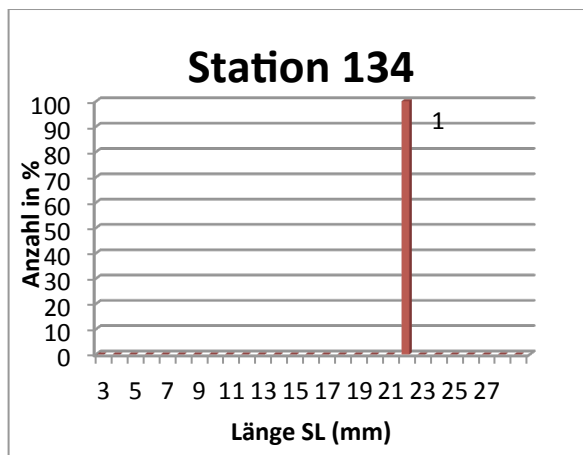
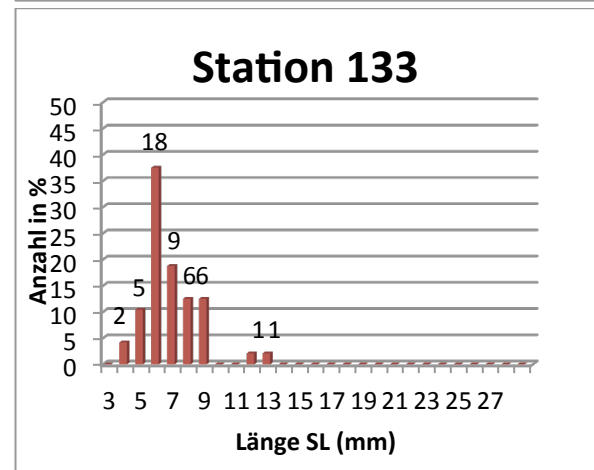
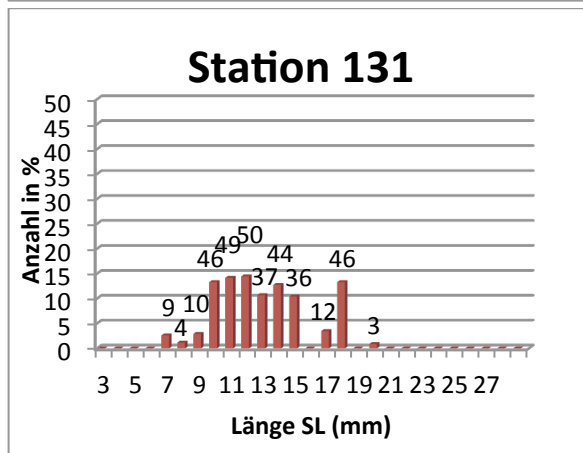
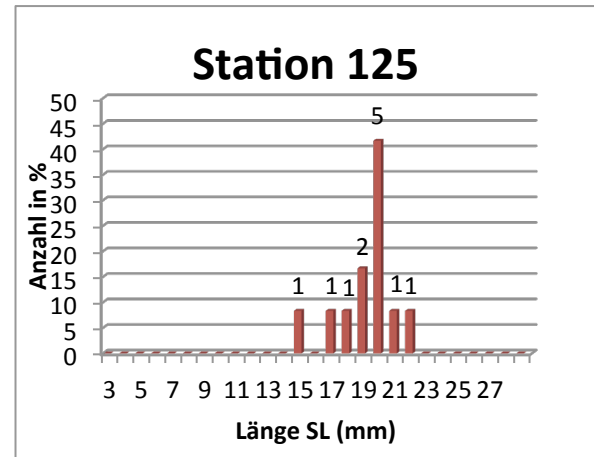
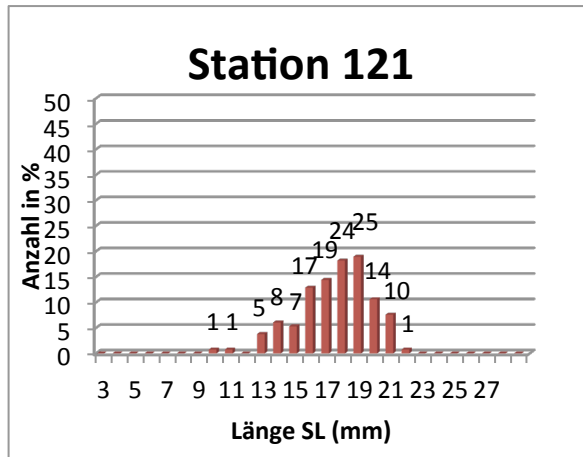
Außerdem möchte ich Stefanie Bröhl und Conny von Waldthausen danken für die hilfreiche Unterstützung im Labor.

Ich danke, dass es mir ermöglicht wurde die Arbeit in der Abteilung Fischereiökologie am ZMT in Bremen schreiben zu können!

Anhang

Größenverteilung

Tabelle 2: Größenverteilung der *E. encrasicolus* im nördlichen Transekt nach Stationen



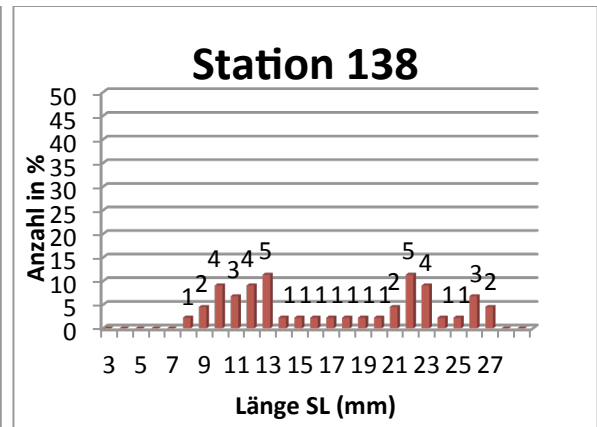
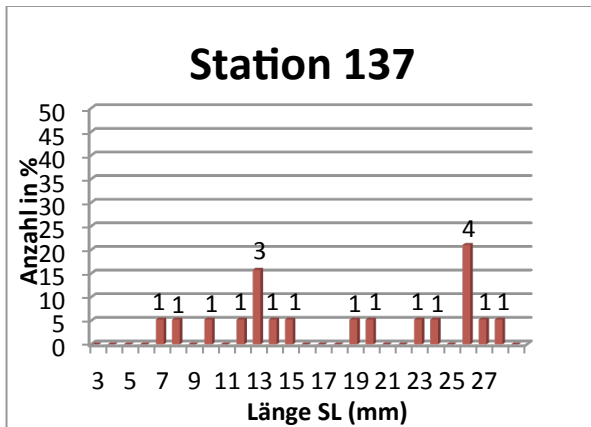
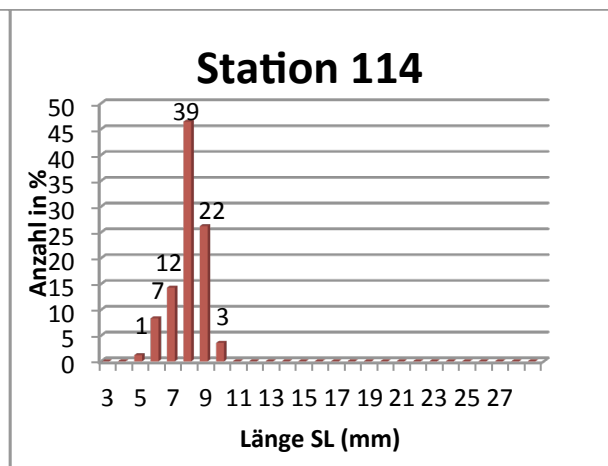
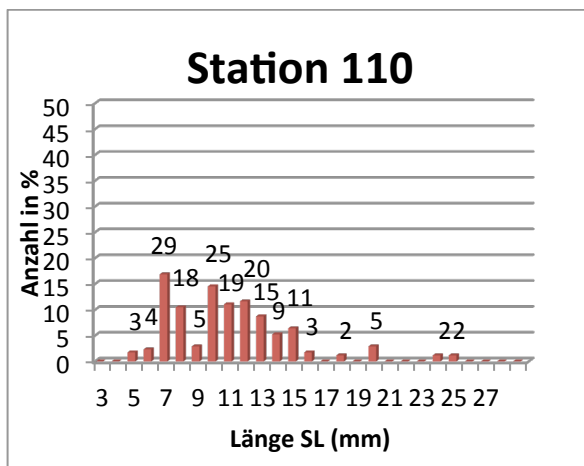
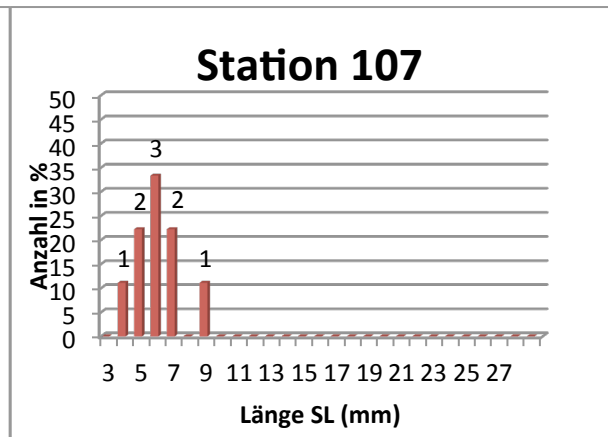
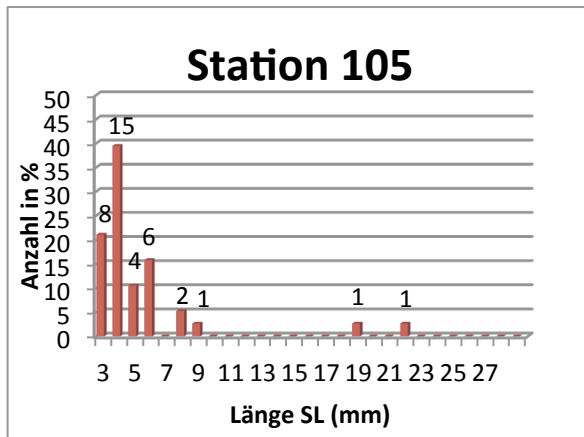


Tabelle 3: Größenverteilung der *E. encrasicolus* im mittleren Transekt nach Stationen



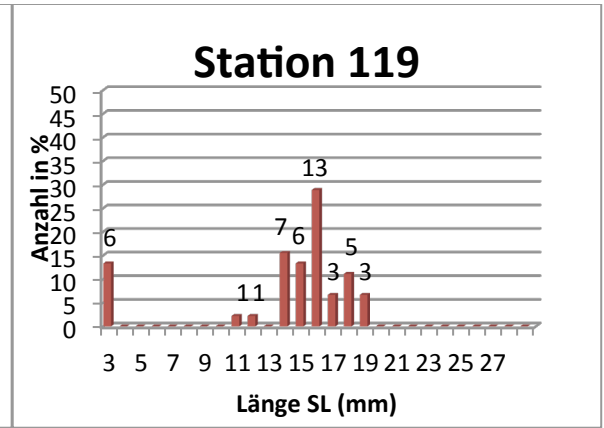
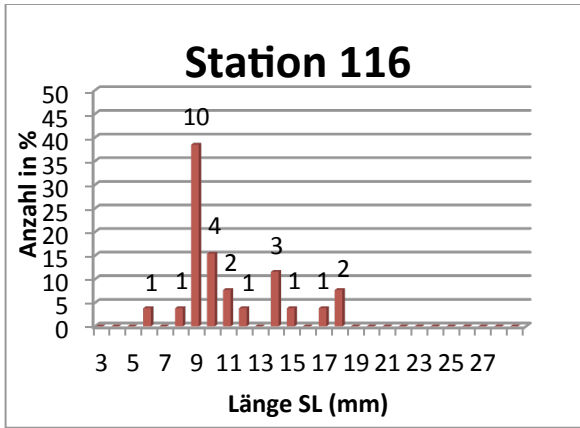
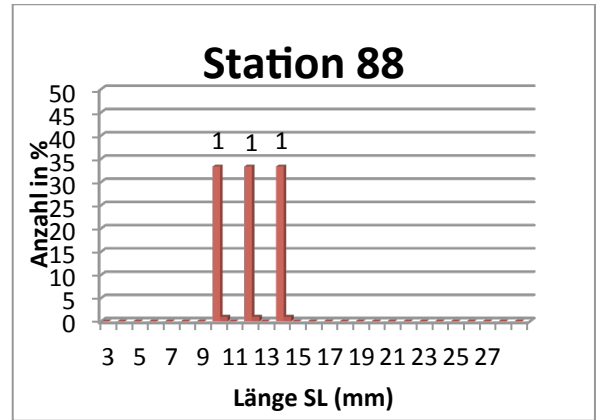
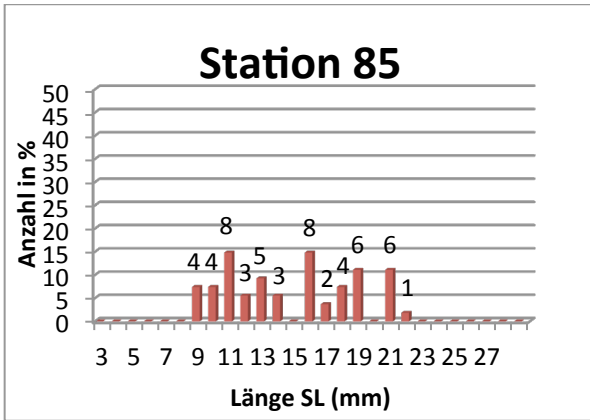


Tabelle 4 :Größenverteilung der *E. encrasicolus* im südlichen Transekt nach Stationen



Fischlarvenanzahl

Tabelle 5: Gesamtanzahl der *E. encrasicolus* Larven

Nord	Anzahl Gesamt: 699	Mitte	Anzahl Gesamt: 374	Süd	Anzahl Gesamt: 57
120	-	104	-	79	-
121	132	105	38	81	-
125	12	107	9	83	-
131	346	110	172	85	54
133	48	114	84	86	-
134	1	116	26	88	3
135	97	119	45		
137	19				
138	44				

Übersichtstabelle der untersuchten Larven

Tabelle 6: Fischnummern der untersuchten Larven

Station	FishNo.	Station	FishNo.
105	1180	114	1453a
105	1213	114	1453b
105	1214	114	1453c
105	1177a	114	1453d
105	1177b	114	1453e
105	1177c	114	1453f
105	1177d	114	1453g
105	1178a	114	1456a
105	1178d	114	1456b
105	1178f	114	1456c
105	1179a	114	1456d
105	1179b	114	1456e
107	1350	121	1657a
107	1232a	121	1657b
107	1232b	121	1657c
107	1232c	121	1664a
107	1232d	121	1664b
107	1232e	121	1664c
107	1239a	121	1665a
107	1239b	121	1665b
107	1239c	131	1758a
110	1391a	131	1758b
110	1391b	131	1758c
110	1391c	131	1759a
110	1403a	131	1759b
110	1403b	131	1759c
110	1403c	131	1776a
110	1403d	131	1776b
110	1423a	131	1776c
110	1423b	131	1806c
110	1423c	131	1806d
110	1423d	138	2015
110	1425a	138	2027
110	1425b	138	2028
114	1450a	138	2032
114	1450b	138	2037
114	1450c		

Abiotische Faktoren

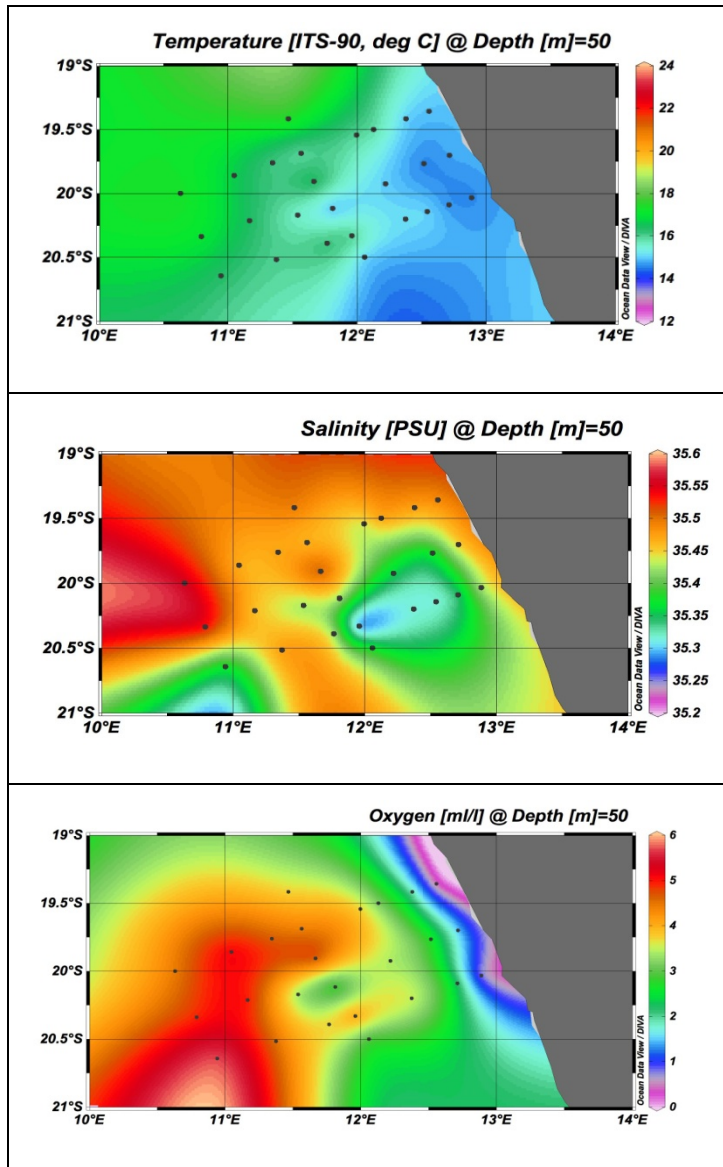


Abbildung 22: Temperatur, Salinität, Sauerstoffgehalt bei einer Tiefe von 50 m (von oben betrachtet)

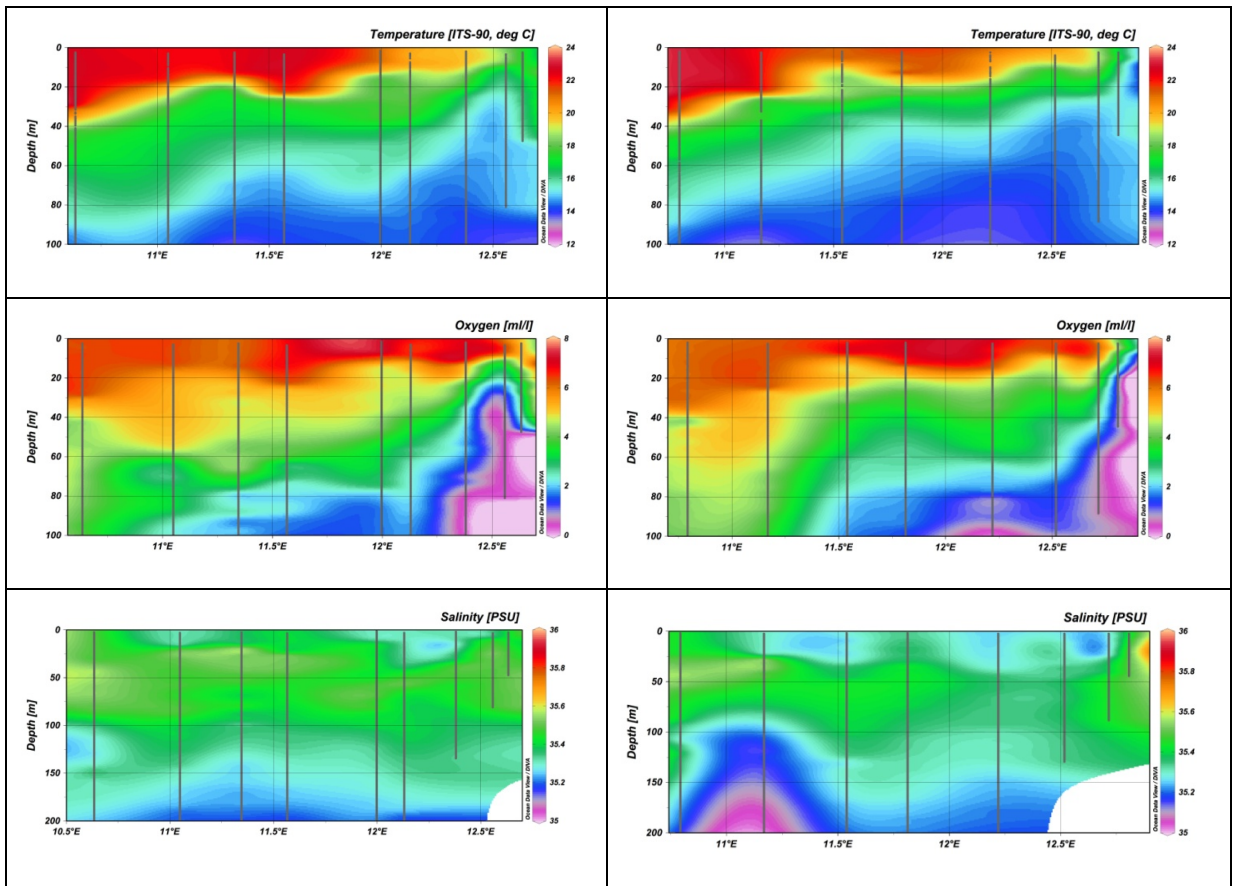


Abbildung 23: Temperatur, Salinität, Sauerstoffgehalt Querschnitte durch den nördlichen (links) und mittleren Transekt (rechts)

Berechnung des Regressionsfaktors b für die Kondition

Cruise

● ME 103-2

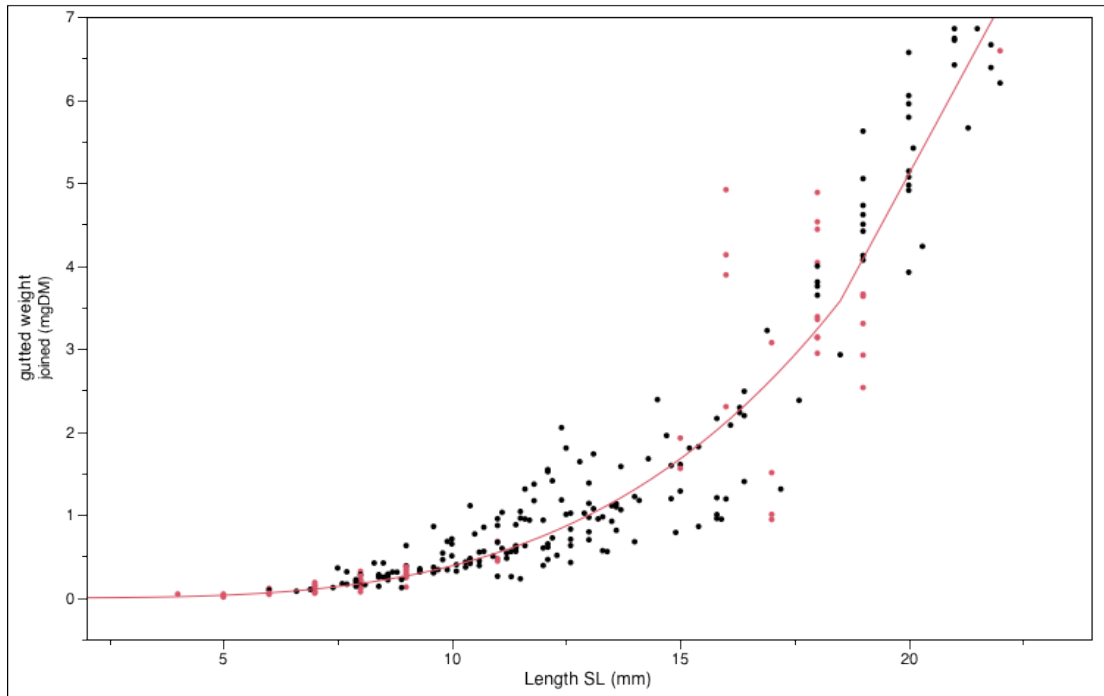


Abbildung 24: Trockengewicht (GDW) gegen die Standardlänge SL. Die Parabel zeigt den Logarithmus aus GDW und SL

Berechnung des Regressionsfaktor b aus dem Logarithmus des GDW und der SL:

$$\text{Log}(\text{gutted weight joined (mgDM)}) = -9,335235 + 3,6595606 * \text{Log}(\text{Length SL (mm)})$$

Literaturverzeichnis

- Bailey K.** The Early Life-History of the Pacific Hake, *Merluccius-Productus*. *Fishery Bulletin*: 589–598.
- Bakun A. 2006.** Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina* **70**: 105–122.
- Bone Q, Moore RH. 2008.** *Biology of fishes*. New York: Taylor & Francis.
- Boyer DC, Boyer HJ, Fossen, Kreiner, I. und A. 2001.** Changes in abundance of the northern Benguela sardine stock during the decade 1990-2000, with comments on the relative importance of fishing and the environment. *South African Journal of Marine Science*, 2001: 67–84.
- Brothers EB. 1987.** Methodological approaches to the examination of otoliths in ageing studies. *R.C. Summerfelt and G.E. Hall, (eds), Age and Growth of Fish, Iowa State University Press*: 319–330.
- Campana SE. 1983.** Feeding periodicity and the production of daily growth increment in otolith of steelhead trout (*Salmo gaidneri*) and tarry flounder (*Platichthys tellatus*). *Canadian Journal of Zoology* **61**: 591– 1 597.
- Campana SE, Neilson JD. 1982.** Daily Growth Increments in Otoliths of Starry Flounder (*Platichthys stellatus*) and the Influence of Some Environmental Variables in Their Production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **39**: 937–942. doi:10.1139/f82-127.
- Carlstrom D. 1963.** A cristallographic study of vertebrate otoliths. *Biological Bulletin, Marine Biological Laboratory Woods Hole*: 441–463.
- Castro P. 2003.** *Marine Biology*. New York: Mcgraw-Hill.
- Cushing DH. 1996.** *Excellence in Eology: Towards a science of recruitment in fish population*. Oldendorf: Ecology Institut.
- Degens ET, Deuser WG, Haedrich RL. 1969.** Molecular structure and composition of fish otoliths. *Marine Biol.* **2**: 105–113. doi:10.1007/BF00347005.
- Duncombe Rae. 2005.** A demonstration of the hydrographic partition of the Benguela upwelling ecosystem at 26 degrees 40 ' S. *AFRICAN JOURNAL OF MARINE SCIENCE* **27**: 617–628.

- Dunkelberger DG, Dean JM, Watabe N. 1980.** The ultrastructure of the otolithic membrane and otolith in the juvenile mummichog, *Fundulus heteroclitus*. *J. Morphol.* **163**: 367–377. doi:10.1002/jmor.1051630309.
- Ekau W, Hendricks A, Kadler S, Koch, Volker and Loick, Natalie. 2001.** Winter ichthyoplankton in the northern Benguela upwelling and Angola-Benguela Front regions. *South African Journal of Marine Science*, MAY-JUN 2001: 259–265.
- Folkvord A, Mosegaard H. 2002.** Some uses of individual age data. Growth and growth analysis. *Manual of Fish Sclerochronology*, 2002: 146–166.
- Garcia A, Cortes D, Ramirez T. 1998.** Daily larval growth and RNA and DNA content of the NW Mediterranean anchovy *Engraulis encrasicolus* and their relations to the environment. *Marine Ecology Progress Series* **166**: 237–245. doi:10.3354/meps166237.
- Garcia HE, Gordon LI. 1992.** Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations. *Limnology and Oceanography* **37**: 1307–1312.
- Gauldie R. 1988.** Function, form and time-keeping properties of fish otoliths. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **91**: 395–402. doi:10.1016/0300-9629(88)90436-7.
- Geist SJ. 2013.** *Early life history traits of coastal pelagic fishes in the northern Benguela Current ecosystem off Namibia*, Universität Bremen, Bremen.
- Genus Podcast. 2011.** *Wind und Wassermassen - Physikalische Ozeanographie im Benguela-Auftriebsgebiet*. <http://www.youtube.com/watch?v=RoCYF9RHTIs>. (23 Oct. 2014).
- Heincke. 1908.** Bericht über die Untersuchungen der Biologischen Anstalt auf Helgoland zur Naturgeschichte der Nutzfische. *Die Beteiligung Deutschlands an der Internationalen Meeresforschung*, 1908: 67–155.
- Hjort J. 1914.** Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. *Conseil International pour l'Exploration de la Mer*: 1–228.
- Houde ED. 2008.** Emerging from Hjort's Shadow. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* **41**: 53–70. doi:10.2960/J.v41.m634.

- Hutchings L, van der Lingen, C. D., Shannon LJ, et al. 2009.** The Benguela Current: An ecosystem of four components. *Progress in Oceanography* **83**: 15–32. doi:10.1016/j.pocean.2009.07.046.
- Irie T. 1960.** The growth of the fish otolith. *Journal Faculty Animal Husbandry Hiroshima University*: 203–221.
- Luo JY, Grassian B, Tang D, et al. 2014.** Environmental drivers of the fine-scale distribution of a gelatinous zooplankton community across a mesoscale front. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **510**: 129–149. doi:10.3354/meps10908.
- Mittelstaedt E. 1991.** The ocean boundary along the northwest African coast: Circulation and oceanographic properties at the sea surface. *Progress in Oceanography* **26**: 307–355. doi:10.1016/0079-6611(91)90011-A.
- Mohrholz V, Bartholomae CH, van der Plas, A. K., Lass H.U. 2008.** The seasonal variability of the northern Benguela undercurrent and its relation to the oxygen budget on the shelf. *Cont Shelf Res* **28**: 424–441.
- Molloy F, Reinikainen T. 2003.** *Namibia's marine environment*. Namibia: Directorate of Environmental Affairs of the Ministry of Environment and Tourism.
- MoralesNin B. 1986a.** Chemical composition of the sea bass (*Dicentrarchus labrax*, Pisces: Serranidae) otoliths. *Cybiurn* **10**: 115–120.
- MoralesNin B, Aldebert Y. 1997.** Growth of juvenile *Merluccius merluccius* in the Gulf of Lions (NW Mediterranean) based on otolith microstructure and length-frequency analysis. *Fisheries Research* **30**: 77–85. doi:10.1016/S0165-7836(96)00553-X.
- Morales-Nin B. 1986b.** Structure and composition of *Merluccius capensis* otoliths. *South African Journal of Marine Science*: 3–10.
- Neill WH, Miller JM, Van Der Veer, Henk W., Winemiller KO. 1994.** Ecophysiology of marine fish recruitment: A conceptual framework for understanding interannual variability. *Netherlands Journal of Sea Research* **32**: 135–152. doi:10.1016/0077-7579(94)90037-X.
- Pannella G. 1971.** Fish Otoliths: Daily Growth Layers and Periodical Patterns. *Science* **173**: 1124–1127. doi:10.1126/science.173.4002.1124.

- Pannella G. 1974.** Otolith growth patterns: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. *T. Bagenal (ed) The ageing of fish. Unwin Brothers Ltd., England: 28–39.*
- Pannella G. 1980.** Growth patterns of fish sagittae. *D.C. Rhoads and R.A. Lutz, (eds) Skeletal growth of aquatic Plenum Press: 519–560.*
- Peterson RG, Stramma L. 1991.** Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography 26: 1–73. doi:10.1016/0079-6611(91)90006-8.*
- Postel L.** Die Reaktion des Mesozooplanktons, speziell der Biomasse, auf küstennahen Auftrieb vor Westafrika. *Meereswissenschaftliche Berichte*, in press.
- Shannon LV. 1985.** The Benguela ecosystem part I. Evolution of the Benguela, physical features and processes. *In Oceanography and Marine Biology: 105–182.*
- Simkiss K. 1974.** Calcium metabolism of fish in relation to ageing. *T.B. Bagenal, (ed) Ageing of fish, Unwin Brothers Ltd., Surrey, England: 1–12.*
- Zweifel JR, Lasker R. 1976.** Prehatch and posthatch growth of fishes. A general model. *Fisheries Bulletin US 74: 609–621.*

Internetseiten:

www.findlatitudeandlongitude.com (23.10.2014)

www.movabletype.co.uk/scripts/latlong.html (23.10.2014)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Oldenburg, den 02.03.2015

Selina Stöhr