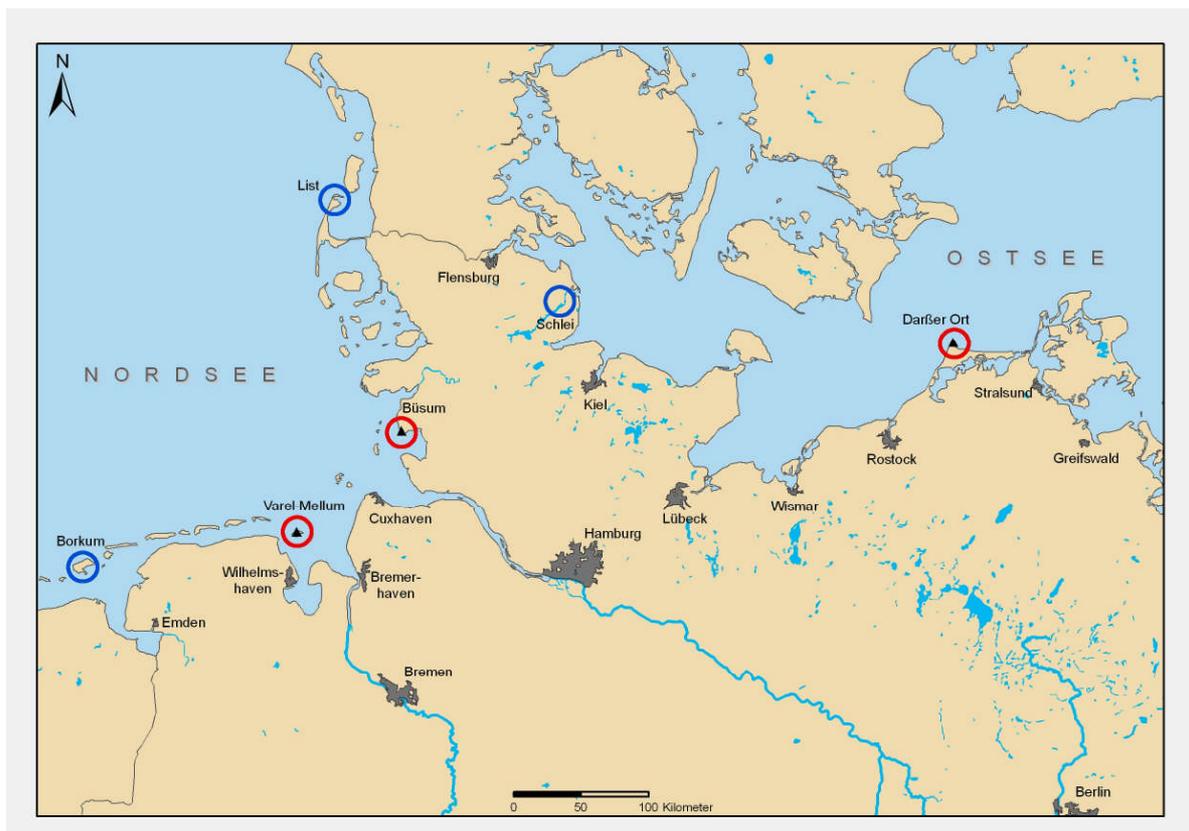


# Histologische Untersuchung der Gonaden von Aalmuttern aus Nord- und Ostsee

Beprobung 2008

FKZ 301 02 029



Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Juni 2009

Auftragnehmer:

Institut für Angewandte Ökologie  
Forschungsgesellschaft mbH  
Broderstorf bei Rostock  
Alte Dorfstr. 11 · 18184 Neu Broderstorf  
Tel: 038204-6180 Fax: 038204-61810  
E-mail: [info@ifaoe.de](mailto:info@ifaoe.de)

Institutsleiter: Prof. Dr. H. Sordyl

Projektleitung: Dr. Jens Gercken  
und Bericht

Bearbeitung: J. Gercken  
M. Sundt

Probenahme im Auftrag der Umweltprobenbank:

Dr. Markus Quack  
Universität Trier  
Fachbereich VI - Biogeographie  
Am Wissenschaftspark 25-27  
54296 Trier

## Extended Abstract

Eelpout (*Zoarces viviparus*), also known as viviparous blenny has been proposed by HELCOM and OSPARCOM as a favourite sentinel species for monitoring of the impacts of marine environmental pollution. It has also been selected by the German Environmental Specimen Bank (ESB) as a bioindicator for the presence of potential hazardous substances in coastal waters.

With the intention to investigate biological effects parameters the ESB initiated an investigation in 2006 on the occurrence of gonadal disorders in eelpout which were sampled for routine chemical contaminant analysis. This report presents the results of a follow-up study performed in 2008 with the objective to confirm and expand findings on the presence of eelpout gonadal disorders, namely intersex and ovarian degenerations (atresia), which were frequently observed in the first field-survey.

The gonads originated from eelpout sampled in spring and early summer 2008 in the North Sea at the stations Borkum, Varel, Büsum and List/Sylt and in the Baltic Sea at the mouth of the Schlei fjord and off the Darß peninsula at Darßer Ort. Of this stations Varel, Büsum and Darßer Ort are regular sampling areas of the German ESB. The muscle and liver tissue of fish selected for the gonad investigation were pooled for accompanying and future chemical analysis.

The testes of male eelpout were examined by light microscopy. The analysis of the developmental stage revealed that in March testes possessed only primary and secondary spermatocytes. From late May to June spermatids and spermatozoa were predominantly present in the testicular tubules. At the North Sea stations the percentage of intersex fish was 28% at Borkum, 32% at Büsum and 40% at List/Sylt. At Varel, were samples were collected three times, the prevalence ranged from 8 to 44%. In Baltic coastal waters the intersex incidence was 20% at the station Schlei and 32% at Darßer Ort. In general, the degree of intersexuality was low with only few single primary oocytes dispersed in normally developed testis tissue. The mean severity of intersex as calculated by means of an intersex index was highest at Büsum and Borkum. At the other sampling areas the mean degree of intersex was somewhat lower and more or less at the same level.

Ovaries from female eelpout were examined by using mainly macroscopical and to a minor extent histological methods. The determination of gonadal development revealed that in March the most advanced oocytes were in an early stage of vitellogenesis. Oocytes in a late stage of vitellogenesis were present in May and June. By means of histological examination typical characteristics of different stages of follicular atresia were observed. The macroscopical analysis using a binocular magnifier revealed conspicuous forms of follicular degeneration as well as less prominent types of follicle/oocyte degeneration. The macroscopic examination was somewhat hampered by the often small size and undeveloped stage of the ovaries. When all forms of degenerations were taken into consideration their prevalence was 90% to 100% in female eelpout from the stations Varel, Büsum and Schlei and about 45% to 65% at Sylt, Borkum and Darßer Ort.

Findings obtained from a survey of the scientific literature indicate that the very prominent type of atretic degeneration obviously represented postovulatory follicles (POF) in different stages of resorption. During gestation POF have a important function in maternal-fetal exchange of nutrients. After having given birth to the brood POF are still present during the early phase of the new gonadal development. It is emphasized that – as histology clearly demonstrated – beside POFs other forms of rather severe follicle/oocytes atresia was observed. This kind of atresia is likely the result stress factors of either natural and/or anthropogenic origin. In light of this finding it is emphasized that for a future reliable macroscopic analysis of preovulatory atresia it is important to sample ovaries in a late stage of oocytes development.

Taken together this study has documented the widespread occurrence of intersex in male eelpout from German coastal waters and thus confirmed the finding of the former ESB-investigation performed in 2006. With respect to the presence of atretic degenerations during ovarian development the results of this study are also in line with the first ESB-study. However, it has been shown that the widespread atresia observed in female eelpout was due to both atretic postovulatory follicles and to preovulatory follicle/oocytes as well. Recommendations for the future monitoring of primarily stress related atresia are presented.

**Keywords:** Germany, Wadden Sea, Baltic Sea, eelpout, intersex, atresia, biological effects monitoring

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Ziel der Untersuchung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>2</b>
2.1	Probenahmestationen	2
2.2	Probenmaterial	2
2.3	Histologische Aufarbeitung der Proben	3
2.4	Auswertung der Proben	4
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>5</b>
3.1.	Gonadenuntersuchung bei männlichen Aalmuttern	5
3.1.1	Biometrische Begleitdaten	5
3.1.2	Zur Histologie des Hodens	6
3.1.3	Hodenreife und auffällige Gewebeveränderungen	6
3.1.4	Regionale Häufigkeit und Ausprägung von Intersex	12
3.1.5	Bewertung der Intersex-Befunde	16
3.2	Gonadenuntersuchung bei weiblichen Aalmuttern	18
3.2.1	Biometrische Begleitdaten	18
3.2.2	Bau des Ovars und Eientwicklung	18
3.2.3	Reifestadien der Ovarien	19
3.2.4	Regionale Häufigkeit und Ausprägung von degenerativen Veränderungen	21
3.2.5	Bewertung der Ovar-Degenerationen	27
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Tabellenanhang</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>

## **1 Veranlassung und Ziel der Untersuchung**

Bei der in den Küstengewässern von Nord- und Ostsee lebenden Aalmutter handelt es sich um eine Fischart, die sich als besonders vorteilhaft für das marine Schadstoff- und biologische Effektmonitoring erwiesen hat. Zum einen erfüllt sie wegen ihrer vergleichsweise hohen Standorttreue eine wichtige Voraussetzung für das biologische Monitoring, zum anderen ist sie u.a. aufgrund ihrer viviparen Fortpflanzung zur Erfassung von reprotoxischen Stress- und Schadstoffeffekten prädestiniert.

Die Aalmutter wird bereits seit vielen Jahren von der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) als Bioindikator für die Belastung des marinen Lebensraums mit Schadstoffen verwendet. So werden im Rahmen des jährlich durchgeführten Monitorings Aalmuttern an zwei Stationen im Wattenmeer und einer Station in der Ostsee gefangen, um Proben von Muskulatur und Leber für die aktuelle und retrospektive chemische Analytik von Schadstoffen zu gewinnen (BMU, 2000; Umweltbundesamt, 1996).

Im Zusammenhang mit Bestrebungen der UPB, das chemisch analytisch orientierte Schadstoffmonitoring um biologische Effektparameter zu ergänzen, wurden im Jahr 2006 erstmalig die bis dahin nicht weiter verwerteten Gonaden der Aalmutter für eine Studie zum Vorkommen von Entwicklungsstörungen in Hoden bzw. Ovar der Tiere genutzt. Diese Entscheidung fiel vor dem Hintergrund von Befunden aus den Küstengewässern von Mecklenburg-Vorpommern, die gezeigt hatten, dass Aalmuttern in den dortigen Küstengewässern auffallend häufig Gonadenstörungen aufwiesen (IfAÖ, 2007).

Als ein Ergebnis der 2006 durchgeführten Studie wurde erstmalig für den deutschen Bereich der Nordsee bei männlichen Aalmuttern ein häufiges Auftreten von weiblichen Eizellen im Hoden (Intersex) nachgewiesen. Bei weiblichen Aalmuttern traten unerwartet häufig deutliche Degenerationen des Ovars (Atresie) auf (Gercken, 2007).

Mit der hier vorgelegten Folgeuntersuchung sollten ergänzende und umfassendere Basisdaten zum Vorkommen von Intersex und von Ovar-Degenerationen bei der Aalmutter in den deutschen Küstengewässern gewonnen werden. Die Beprobung der Aalmuttern erfolgte 2008 an vier Stationen in der Nordsee und an zwei Standorten in der Ostsee. Wie bei der 2006 durchgeführten Studie sollte die vorliegende Untersuchung primär das Vorkommen von weiblichen Geschlechtszellen (Oocyten) im Hodengewebe männlicher Aalmuttern und die Häufigkeit von degenerativen Veränderungen im Ovar der Weibchen erfassen. Außerdem wurde ein regionaler Vergleich des durchschnittlichen Reifegrades der männlichen und weiblichen Gonade durchgeführt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Probenahmestationen

Für die vorliegende Gonadenuntersuchung wurden Aalmuttern an vier Stationen im Wattenmeer und an zwei Stationen an der deutschen Ostseeküste gefangen (Tab. 1; Abb. 1). Bei den Stationen Varel, Büsum und Darßer Ort handelt es sich um die regulären Probenahmegebiete der UPB, von denen auch die Proben für die erste Gonadenuntersuchung 2006 stammten. Um ein umfassenderes Bild über die Verbreitung von Gonadenstörungen zu erhalten, wurden außerdem erstmalig Aalmuttern an den Stationen Borkum, Sylt und Schlei gefangen.

Im Gebiet Varel-Mellum wurden - zusätzlich zur routinemäßigen Mai-Beprobung - auch im März und April Aalmuttern beprobt, um den Kenntnisstand zur Gonadenreife der Aalmutter im Frühjahr zu erweitern (Tab. 1).

Tab. 1: Stationen und Zeitraum der Beprobung von Aalmuttern in Nord- und Ostsee

Station	Gebiet	Datum	Fangart	Status der Station
Borkum	Borkum-Juist; südöstlich Insel Borkum; Osterems	21.05./26.05.08	Kurre	erstmalig beprobte Sonderstation
Varel	Transekt Varel-Mellum; Mellumbalje und Moosbalje	27.03./31.03.08 15.04.08 13.05.08	Kurre	Station UPB-Monitoring
Büsum	Meldorfer Bucht, Steertloch und Wöhrdener Loch	06.05.08	Kurre	Station UPB-Monitoring
Sylt	Sylt-Römö-Watt; Lister Ley/Pandertief	21.05./27.06.08	Kurre	erstmalig beprobte Sonderstation
Schlei	Schleimündung; Olpenitzdorf	22.04.08	Reuse	erstmalig beprobte Sonderstation
Darßer Ort	Darßer Ort	17.06./15.07.08	Reuse	Station UPB-Monitoring

### 2.2 Probenmaterial

Die Probenahmen und die Sektion der Aalmuttern wurden im Auftrag der UPB von Mitarbeitern des Fachbereichs Biogeographie der Universität Trier durchgeführt. Der Fang der Tiere erfolgte durch ortsansässige Fischer, die im Wattenmeer Kurren und in der Ostsee Reusen als Fanggeräte verwendeten.

Im Verlauf der Sektion wurden biometrische Daten erhoben und Hoden bzw. Ovarien entnommen. Die Gonade wurde komplett in neutral gepuffertem Formalin (10%-ig) fixiert und an das Institut für Angewandte Ökologie GmbH zur Durchführung der histologischen und makroskopischen Untersuchungen übergeben.

Für die vorliegende Studie wurden von jeder Station jeweils 25 Hoden und 24-30 Ovarien untersucht. Falls vorhanden, wurden weitere Gonadenproben nach Entfernung des Fixativs zur Langzeitlagerung in 70% Ethanol überführt. Diese Rückstellproben können im Rahmen einer Folgeuntersuchung zur Ergänzung der vorliegenden Studie dienen.

Als Ergänzung der biometrischen Parameter wurde bei den meisten der im Mai an den UPB-Stationen gefangenen Aalmuttern auch eine Altersbestimmung anhand der Analyse von Otolithen durchgeführt. Diese im Auftrag der UPB erhobenen Altersdaten wurden vom Probennehmer (Universität Trier) als begleitende Information zur Verfügung gestellt.



**Abb. 1:** Lage der Probenahmegebiete in Nord- und Ostsee. Die regulär beprobten UPB-Stationen sind rot und die erstmalig beprobten Sonderstationen blau markiert.

### 2.3 Histologische Aufarbeitung der Proben

Die beiden Stränge des paarigen Hodens wurden getrennt und jeweils durch Querschnitte in drei Stücke geteilt. Die zueinander gehörenden drei Abschnitte wurden gemeinsam in einer Einbettform eingebettet, so dass von jedem Hoden zwei Gewebeblöcke zur Anfertigung der Schnittpräparate vorlagen.

Von den Ovar-Proben wurde ein Teil anhand von Querschnitten histologisch untersucht, um das Spektrum unterschiedlicher degenerativer Veränderungen genau zu erfassen. Der größte Teil der Ovarien wurde makroskopisch befundet (s.u.).

#### Einbettung von Hoden und Ovar in Kunstharzmedium (Technovit 7100, Fa. Heraeus Kulzer)

- Auswaschen des Fixiermediums mit *A. demin.* und anschließende Dehydratation in aufsteigender Ethanol-Reihe.
- Inkubationen in Ethanol(100%)-Monomerlösung (1:1, V:V).
- Inkubationen in 100%-Monomerlösung.
- Einbettung in Einbettformen in frischer Monomerlösung, der ein Katalysator zum Start der Polymerisationsreaktion zugegeben wurde.

### Anfertigung der Schnittpräparate

- Mit einem motorisch angetriebenem Mikrotom (Microm HM-360, Walldorf) wurden Schnittpräparate von 3µm Dicke hergestellt. Die Schnitte erfolgten in 3 verschiedenen Ebenen des Gewebeblocks, so dass von jedem einzelnen Hodenstrang 9 Querschnitte bzw. vom gesamten Hoden 18 Querschnitte zur mikroskopischen Untersuchung zur Verfügung standen.
- Färbung der Schnitte mit Toluidinblau und mit Hämalaun-Eosin.

## 2.4 Auswertung der Proben

Die *Hodenschnitte* wurden mit einem Lichtmikroskop (Olympus BH-2) hinsichtlich des Reifegrades, des Auftretens von Intersex sowie von weiteren histopathologischen Veränderungen untersucht. Für jeden der 18 Querschnitte eines Hodens wurde die Bewertung des Grades von Intersex anhand der in Tabelle 2 aufgeführten Kriterien vorgenommen. Zur fotografischen Dokumentation ausgewählter Befunde wurde eine Digitalkamera (Olympus Camedia C-5050 Zoom) verwendet.

**Tab. 2: Kriterien zur Bewertung der Intensität der Intersex-Ausprägung**

Rang	Entwicklungsstatus der Oocyten (OS)	Rang	Verteilung der Oocyten (OV)
1	primäre Oocyte	1	eine einzelne Oocyte
2	Cortical-Alveolus-Stadium	2	1 bis 9 Oocyten (multifocal) und/ oder 1 Cluster von 2-3 Oocyten
3	vitellogene Oocyte	3	10 bis 49 Oocyten (multifocal ) und/oder 4-6 assoziierte Oocyten (Cluster, verschiedene oder gemeinsamer Tubulus)
		4	> 50 Oocyten und/oder > 6 assoziierte Oocyten (strangförmige Anordnung)

Um die Intersex-Intensität des gesamten Hodens zu bewerten, wurde die Summe der Produkte aus den Rangzahlen des Oocytenstadiums (OS) und der Oocyten-Verteilung (OV) durch die Anzahl untersuchter Hodenquerschnitte (n=18) geteilt.

$$IS - Index = \frac{\sum [OS \times OV]}{n}$$

Die Bewertung von *degenerativen Veränderungen im Ovar (Atresie)* erfolgte vorwiegend makroskopisch mit Hilfe einer Binokularlupe (OLYMPUS SZH10) und ergänzend durch die Untersuchung von histologischen Präparaten (s.o.). Aufgrund ihrer geringen Größe wurden die im März und April an der Station Varel beprobten Ovarien ausschließlich histologisch befundet.

Die Intensität des Vorkommens atretischer Eizellen bzw. Follikel wurde immer durch denselben Untersucher den folgenden drei Kategorien zugeordnet:

- Schweregrad 1: vereinzelt fokales Auftreten degenerierter Eizellen  
 Schweregrad 2: regelmäßiges Auftreten degenerierter Eizellen im gesamten Ovar  
 Schweregrad 3: sehr häufiges Auftreten degenerierter Eizellen (>50%)

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Gonadenuntersuchung bei männlichen Aalmuttern

##### 3.1.1 Biometrische Begleitdaten

Für die vorliegende Untersuchung wurden von jedem Probenahmegebiet jeweils die Hoden von 25 Aalmuttern histologisch untersucht.

In Tabelle 3 sind die durchschnittlichen Längen und Gewichte aller Aalmutter-Proben aufgeführt. Wie die Daten zeigen, waren die Männchen der vier Nordsee-Proben deutlich kleiner und dementsprechend von geringerem Gewicht als ihre Artgenossen in den beiden Ostsee-Proben.

Tab. 3: Biometrische Begleitdaten der untersuchten männlichen Aalmuttern (n=25)

Station	Probenahme- zeitraum	Länge (cm) [MW ± STABW]	Gewicht (g) [MW ± STABW]
Borkum	21.05./26.05.08	19,1 ± 2,4	40,6 ± 15,7
Varel	27.03./31.03.08	16,8 ± 2,4	19,1 ± 8,8
Varel	15.04.08	16,9 ± 2,4	23,4 ± 9,3
Varel	13.05.08	18,0 ± 1,4	31,1 ± 6,8
Büsum	06.05.08	17,2 ± 2,1	25,4 ± 9,6
Sylt	21.05./27.06.08	16,9 ± 2,1	24,4 ± 7,2
Schlei	22.04.08	24,6 ± 1,8	74,4 ± 16,8
Darßer Ort	17.06./15.07.08	24,8 ± 2,7	71,9 ± 25,9

Zusammengefasst bestätigen die biometrischen Daten die Befunde früherer Beprobungen durch die Umweltprobenbank, denen zufolge die im Wattenmeer gefangenen Aalmuttern immer deutlich kleiner waren als Tiere von der Station Darßer Ort in der Ostsee. Vermutlich hat die eingesetzte Fangtechnik einen Einfluss auf die Größe der gefangenen Aalmuttern. Wie bereits erwähnt, erfolgte der Fang im Wattenmeer mit Baumkurren, während an der Ostsee Aalreusen zum Einsatz kamen.

Aufgrund der Größenunterschiede der Aalmuttern der Nordsee- und Ostsee-Proben könnte man vermuten, dass die Proben auch eine unterschiedliche Alterszusammensetzung aufweisen. Dass dies nicht der Fall ist, hat die Altersbestimmung bei Tieren von den UPB-Stationen Varel (Mai), Büsum und Darßer Ort ergeben. Wie die im Tabellenanhang aufgeführten Altersdaten zeigen, setzten sich alle Proben ausschließlich bzw. überwiegend aus Tieren der Altersklassen 1 und 2 zusammen (Tab. 16,17,20). Die Aalmutter kann somit offensichtlich bei gleichem Alter deutliche standortabhängige Größenunterschiede aufweisen.

### 3.1.2 Zur Histologie des Hodens

Der Hoden (Testis) der Aalmutter ist ein paariges, längliches Organ, das mit Mesenterien dorsal in der Leibeshöhle fixiert ist. Im histologischen Bild erweist sich der Hoden aus zahlreichen Hoden- bzw. Samenkanälchen (*Tubuli seminiferi*) aufgebaut, zwischen denen eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Schicht von Bindegewebe liegt. In dem der Tubuluswand anliegenden Keimepithel befinden sich als frühestes Gametenstadium die mit Sertoli-Zellen assoziierten primären Spermatogonien, die sich durch Teilung zu sekundären Spermatogonien entwickeln. Dieses Stadium liegt innerhalb einer so genannten Spermatocyste, deren Wandung von den Sertoli-Zellen gebildet wird. Wenn die Keimzellen im Verlauf weiterer synchroner Teilungsschritte das Stadium der sekundären Spermatocyte und/oder Spermatide erreicht haben, löst sich die Wand der Spermatocyste auf und entlässt den Inhalt in das Lumen des Tubulus. Dort reifen die Spermatiden abschließend zu befruchtungsfähigen Spermatozoen (Spermien) heran.

Die einzelnen Entwicklungsstadien der Keimzellen unterscheiden sich histologisch auf Grund ihrer Lage, Größe und Anfärbung. Anhand der relativen Anteile einzelner Gametenstadien lässt sich der Reifestatus eines Hodens klassifizieren.

Zur Bestimmung der Hodenreife wurden die folgenden sechs Kategorien gewählt:

#### 0 Inaktives Gewebe

- 1 Hodenkanälchen enthalten nur primäre Spermatogonien im Keimepithel und sekundäre Spermatogonien innerhalb der Spermatocysten.
- 2 Hodenkanälchen enthalten vorwiegend Spermatocysten mit primären und sekundären Spermatocyten sowie wenige Spermatogonien. Vereinzelt können Spermatiden vorkommen.
- 3 Neben Spermatocyten treten auch regelmäßig Spermatiden auf. Spermatocysten sind z.T. aufgelöst und haben Spermatiden in das Tubuluslumen entlassen. Vereinzelt können auch reife Spermatozoen im Lumen vorkommen.
- 4 Tubuli enthalten überwiegend Spermatiden und Spermatozoen im Lumen. Geringer Anteil randständiger Spermatocysten.
- 5 Lumen der Hodenkanälchen fast ausschließlich mit reifen Spermatozoen gefüllt. Geringer Anteil unreifer Gametenstadien kann vorkommen.

### 3.1.3 Hodenreife und auffällige Gewebeveränderungen

Neben der später vorgestellten Erfassung der Intersex-Häufigkeit und -Intensität diente die histologische Analyse auch zur Ermittlung des durchschnittlichen Reifestadiums der Hoden an den Probenahmestandorten. Weitere Erkenntnisse zur Hodenentwicklung im Frühjahr sollte außerdem eine dreimalige Beprobung der Station Varel im Zeitraum von Ende März bis Mitte April liefern. Außerdem wurde im Rahmen der histologischen Befundung die Ausprägung des interstitiellen Bindegewebes und des Keimepithels sowie das Vorkommen von Makrophagenansammlungen (MMZ) und von auffälligen Anomalien (mit Ausnahme von Intersex) registriert.

Das Ergebnis der Reifebestimmung und der allgemeinen Analyse des Hodengewebes ist in Tabelle 4 zusammengefasst. Außerdem ist im Anhang in den Tabellen 13 bis 20 stationsbezogen der Reifestatus jedes untersuchten Männchens angegeben.

Zum Zeitpunkt der frühesten, bei Varel-Mellum *Ende März* erfolgten Beprobung enthielten die Hodentubuli ausschließlich Spermatozyten, in denen sich nur primäre und sekundäre Spermatozyten befanden. In der Regel waren die frühen primären Spermatozyten häufiger vertreten. Selten traten auch zu einem geringen Anteil die weiter entwickelten Spermatozyten auf. Insgesamt gesehen besaßen alle untersuchten Hoden das Reifestadium 2 (Tab. 4, Abb. 2A+B).

*Mitte April* dominierten in den Tubuli noch immer die in den Spermatozyten befindlichen Spermatozyten-Stadien. Es wurden nun aber häufiger die weiter entwickelten sekundären Spermatozyten beobachtet. Gut die Hälfte der Hoden wies nun außerdem einen geringen Anteil an Spermatozyten auf. Sekundäre Spermatozyten wurden ebenfalls immer in geringer Anzahl beobachtet. Alle Hoden wurden weiterhin dem Reifegrad 2 zugeordnet.

Bei der *Mitte Mai* erfolgten dritten Beprobung im Gebiet Varel-Mellum wurden in den Hoden zumeist unterschiedliche Anteile von Keimzellen in allen Entwicklungsstadien angetroffen, darunter auch seltener bis verbreitet freie Spermatozoen. Die weit überwiegende Anzahl der Keimzellen befand sich aber immer noch in Spermatozyten eingeschlossen. Dementsprechend wiesen die Tubuli im Allgemeinen noch kein deutliches Lumen mit freien Gameten auf. Hinsichtlich des Reifegrades wurden 23 Hoden in das Stadium 3 und zwei Hoden in das Stadium 4 gruppiert [MW: 3,1] (Tab. 4, Abb. 2C).

An den einmal beprobten Stationen folgte der durchschnittliche Reifestatus im Großen und Ganzen dem Zeitpunkt der Beprobung. Im Seegebiet bei *Borkum*, wo zwei Beprobungen in der zweiten Maihälfte stattfanden, wiesen die Hoden der Probenahme vom 21. Mai eine Mischung aus Spermatozyten, Spermatozyten und Spermatozoen auf. Bei den nur wenige Tage später am 26. Mai gefangenen Männchen dominierten bereits deutlich die Spermatozoen. Die Reifestadien umfassten den Bereich von 3 bis 5. Im Mittel besaßen die Hoden den Reifegrad 4.

Im Hauptprielssystem der Meldorfer Bucht bei *Büsum* erfolgte die Probenahme Anfang Mai. Die Hoden dieser Probe besaßen vorwiegend das Reifestadium 3 (Abb. 2D). Einige Männchen befanden sich noch im Stadium 2.

Bei den im Abstand von gut einem Monat bei *Sylt* beprobten Aalmuttern traten erwartungsgemäß deutliche Reifeunterschiede auf. So wurde bei den Männchen der Mai-Beprobung immer eine Mischung verschiedener Gametenstadien festgestellt (Reifestadien 3-4), während Ende Juni fast alle Männchen das Reifestadium 5 aufwiesen. In den Lumina der Hodentubuli befanden sich dann mehr oder weniger ausschließlich reife Spermatozoen (Abb. 2F).

Die im April im Mündungsbereich der *Schlei* beprobten Männchen besaßen ein auffallend weit entwickeltes Hodengewebe. Die durchschnittliche Hodenreife entsprach in etwa derjenigen von der Station Büsum, obwohl die Probenahme in der Schlei zwei Wochen vor der dortigen Beprobung stattfand. Die überwiegende Anzahl der Tiere besaß das Reifestadium 3, bei dem Spermatozyten und Spermatozyten dominieren.

Die spätesten Probenahmen wurden Mitte Juni und Mitte Juli am *Darßer Ort* durchgeführt. Alle 15 am 17. Juni gefangenen Männchen besaßen das Reifestadium 4 (Abb. 2E). Bei den 10 Tieren vom 15. Juli war die Keimzellentwicklung bereits abgeschlossen (Reifestadium 5).

In Bezug auf Veränderungen der allgemeinen histologischen Ausprägung der Hoden ist als auffälligstes Merkmal zunächst die variable Ausprägung des Bindegewebes zwischen den Tubuli zu nennen. Bei den Aalmuttern von den Standorten Borkum, Varel (Mai), Büsum und der Schlei war das Bindegewebe durchweg unauffällig ausgeprägt. Andere Verhältnisse bestanden bei den früheren Beprobungen bei Varel-Mellum, wo 30-40% der Tiere stärker entwickeltes interstitielles Bindegewebe aufwiesen. In den Proben von Sylt und vom Darßer Ort wurden bei ca. 50% bzw. 75% der Tiere stark entwickelte Bindegewebsstränge festgestellt (Tab. 4, Abb. 3A+B).

Ein weiterer auffälliger Unterschied zwischen den Proben betraf die Ausprägung des so genannten Keimepithels. Das der Tubuluswand anliegende Keimepithel ist die Bildungsstätte für die Entwicklung neuer Keimzellen. Wie Tabelle 4 zeigt, war das Auftreten eines deutlich entwickelten Keimepithels mit dem Reifegrad der Aalmuttern verbunden. So war es nur bei den Tieren auffällig, bei denen sich die Spermatocysten aufgelöst hatten und die Gameten frei im Tubuluslumen lagen. Bei Hoden von den Stationen Borkum und Darßer Ort besaßen Zellen des Keimepithels häufiger auffällig große Vakuolen (Abb. 3C).

Relativ selten und allgemein geringgradig ausgeprägt wies das Hodengewebe sog. Melano-Makrophagenzentren (MMZ) auf. Dabei handelt es sich um Ansammlungen von Makrophagen, die u.a. mit dem Vorliegen von Entzündungsprozessen in Verbindung gebracht werden. Am häufigsten traten MMZ im April und Mai an der Station Varel auf. Seltener wurden MMZ bei Aalmuttern beobachtet, die im März bei Varel sowie bei Büsum, Sylt und der Schlei gefangen worden waren (Abb. 3E+F).

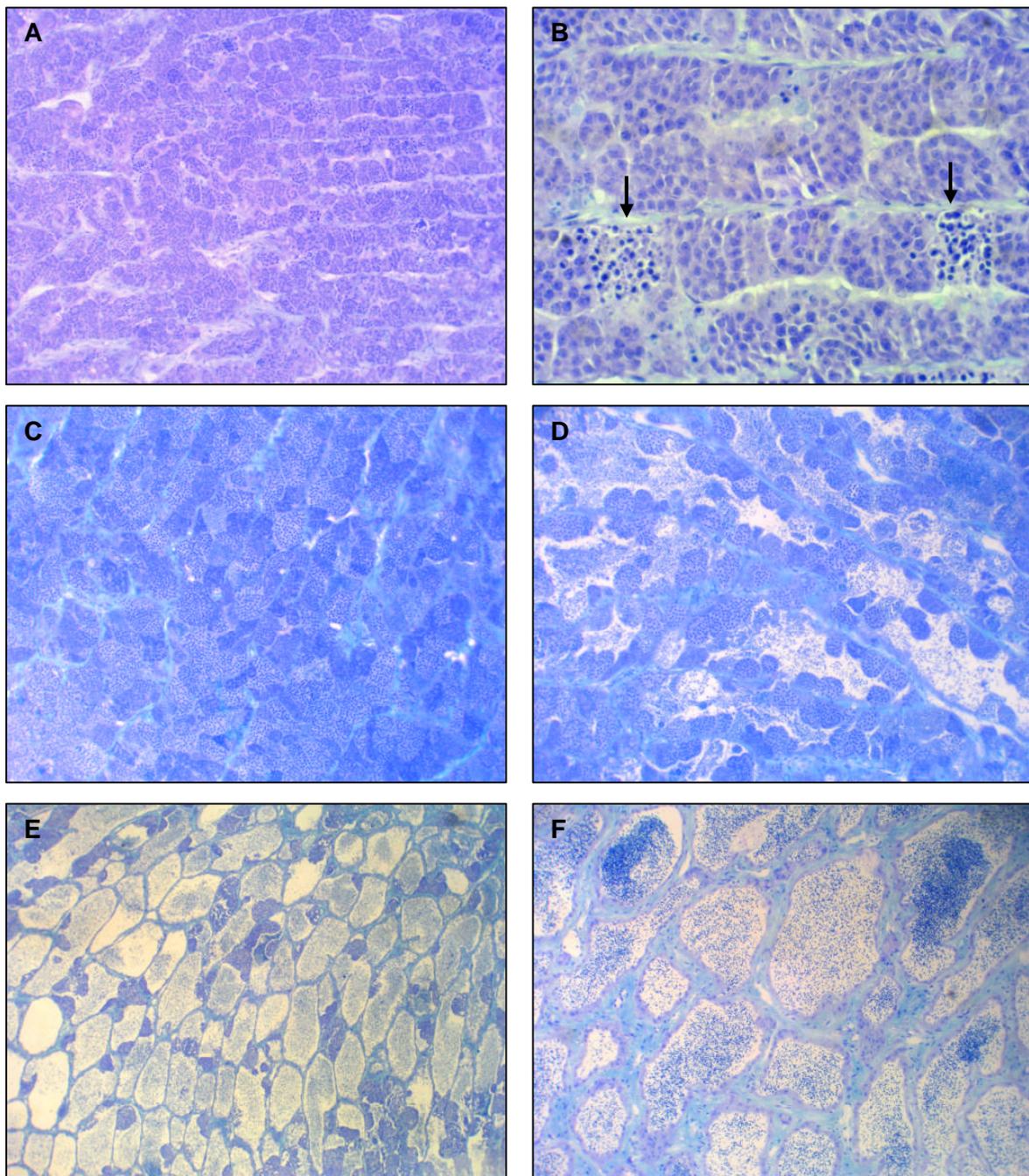
In Tabelle 4 sind in der Spalte „Pathologie“ Veränderungen aufgeführt, die als Merkmal einer histologischen Schädigung anzusehen sind. So traten in den Proben von Borkum, Varel, Sylt und der Schlei bei einer meist geringen Anzahl von Aalmuttern nekrotische Tubuli auf. Diese Degeneration des Hodengewebes war aber immer fokal auf einen relativ kleinen Bereich des Hodens begrenzt (Abb. 3D). Außerdem wurden regionale Unterschiede im Auftreten von auffälligen Vakuolen im Keimepithel ermittelt. Inwiefern es sich hierbei um ein eindeutig pathologisches Merkmal handelt, ist derzeit nicht sicher zu sagen.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die in Tabelle 4 genannten „auffälligen Merkmale“ besonders häufig bei männlichen Aalmuttern von der Station Darßer Ort vorkamen.

Tab. 4: Befunde zur Hodenreife und zum Vorkommen histologischer Auffälligkeiten

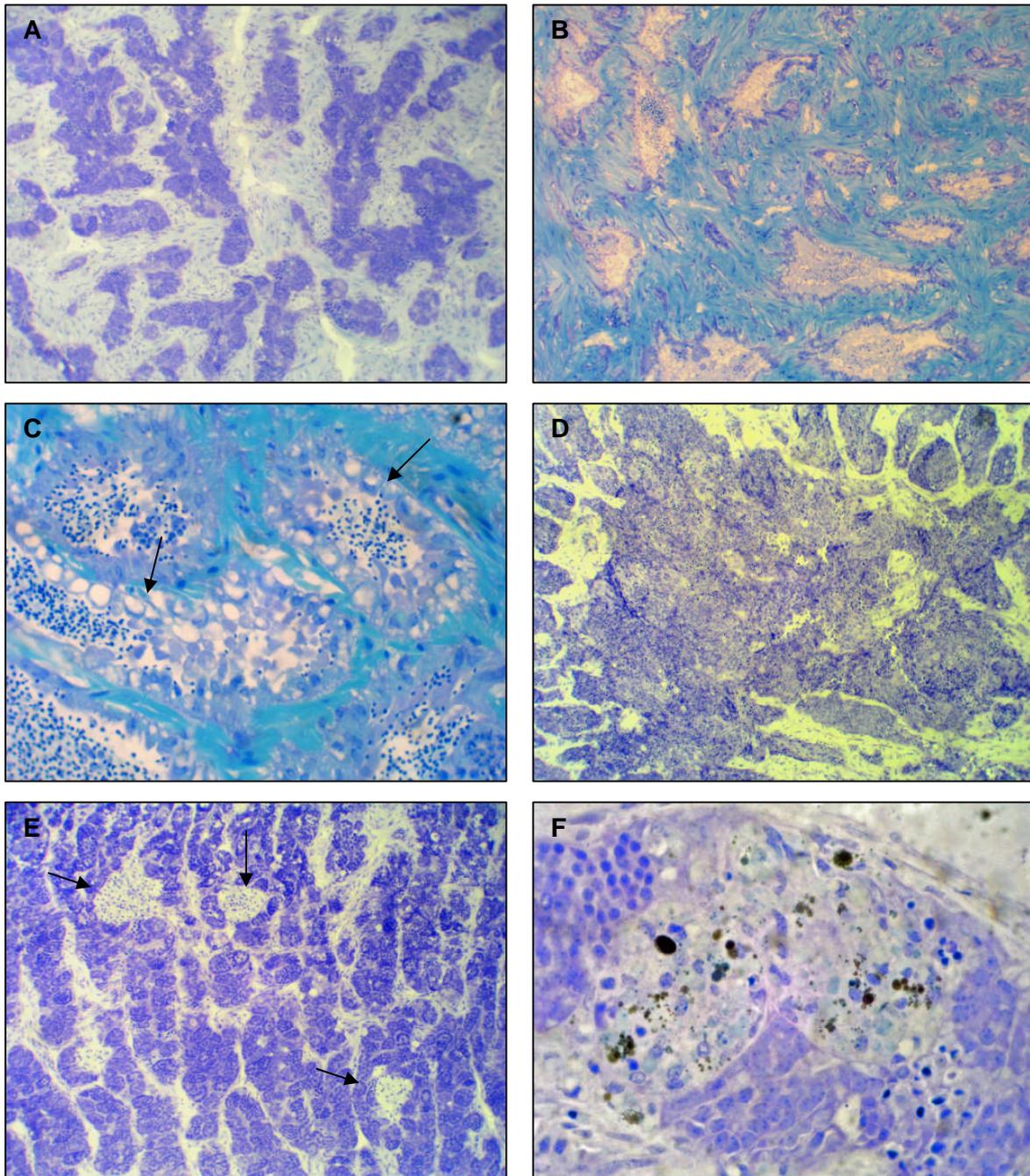
Station	Datum	Reifestadien					MW $\pm$ STABW	Binde- gewebe	Keim- epithel	MMZ	Pathologie
		2	3	4	5						
Borkum	21.05.08 + 26.05.08	0	7	11	7	4,0 $\pm$ 0,8	meistens unauffällig	$\frac{2}{3}$ deutlich	unauffällig	~25% VAC-KE*  ~10% fokal deg. Tubuli	
Varel	27.03.08 + 31.03.08	2	0	0	0	2,0 $\pm$ 0	ca. 40% deutlich	unauffällig	~20% geringgradig	~30% fokal deg. Tubuli	
Varel	15.04.08	2	0	0	0	2,0 $\pm$ 0	$\frac{1}{3}$ deutlich	unauffällig	~50%; meist geringgradig	~10% fokal deg. Tubuli	
Varel	13.05.08	0	23	2	0	3,1 $\pm$ 0,3	unauffällig	meistens unauffällig	~50%; meist geringgradig		
Büsum	06.05.08	4	19	0	0	2,8 $\pm$ 0,4	unauffällig	unauffällig	~10%; geringgradig		
Sylt	21/22.05.08 + 27.06.08	0	4	3	18	4,6 $\pm$ 0,8	bei Hälfte deutlich	bei Hälfte deutlich	~5%; relativ deutlich	~5% fokal deg. Tubuli	
Schlei	22.04.08	4	20	1	0	2,9 $\pm$ 0,4	unauffällig	unauffällig	~10%; relativ deutlich	~10% fokal deg. Tubuli	
Darßer Ort	17.06.08 + 15.07.08	0	0	15	10	4,4 $\pm$ 0,5	$\frac{3}{4}$ variabel/ deutlich	$\frac{3}{4}$ -deutlich	unauffällig	~55% VAC-KE	

\* VAC-KE: Vakualisierung des Keimepithels



**Abb. 2: Hodengewebe in unterschiedlichen Entwicklungsstadien**

- A+B: Frühes Reifestadium 2 im März: In den Tubuli dominieren Spermatocysten, in denen sich entweder primäre oder sekundäre (Pfeile) Spermatocyten befinden.
- C: Reifestadium 3 (Varel, Mai): Die Tubuli enthalten Spermatocyten und Spermatiden. Es treten noch keine freien Keimzellen in Lumina auf.
- D: Reifestadium 3 (Büsum, Mai): Die Spermatocysten sind z.T. zerrissen. In den Lumina der Tubuli befinden sich Spermatiden und auch schon Spermien.
- E: Reifestadium 4 (Darßer Ort, Juni): Die Lumina der Tubuli enthalten vorwiegend Spermien sowie einen geringen Anteil Spermatocysten mit frühen Gametenstadien.
- F: Reifestadium 5 (Sylt, Juni): Hodentubuli mit großen Lumina, die ausschließlich reife Spermien enthalten. An der Wandung der Tubuli befindet sich ein Keimepithel.  
(Toluidinblau-Färbung; E: 40x; A,C,D,F: 100x; B: 400x)



**Abb. 3: Auffällige Veränderungen im Hodengewebe**

- A: Hoden in frühem Reifestadium mit deutlich entwickeltem, hellem interstitiellem Bindegewebe (Varel, März).
- B: Hoden in fortgeschrittenem Reifestadium mit stark ausgeprägtem Bindegewebe (Borkum, Mai).
- C: Deutlich entwickeltes Keimepithel mit auffälliger Vakuolisierung (Darßer Ort, Juni).
- D: Fokaler Bereich degenerierter Hodentubuli (Varel, April).
- E: Ansammlungen von Makrophagen (MMZ) in früh entwickeltem Hodengewebe (Varel, März).
- F: Detailansicht eines Makrophagenzentrums. Bei den dunklen Flecken handelt es sich um Melanin-Ablagerungen (Varel, April).

(Toluidinblau-Färbung; A,B,C,D,E: 100x; F: 600x)

### **3.1.4 Regionale Häufigkeit und Ausprägung von Intersex**

An allen vier Nordseestationen und beiden Standorten der Ostseeküste wurden männliche Aalmuttern mit Intersex (Ovotestis) nachgewiesen. Die Häufigkeit und der durchschnittliche Grad der Intersex-Ausprägung sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Im Wattenmeer kamen die höchsten Intersex-Prävalenzen von 44% und 40% bei den Proben der Stationen Varel und Sylt vor. Mit einer Häufigkeit von 32% und 28% wiesen die Hoden der Männchen von den Stationen Büsum bzw. Borkum ebenfalls einen beträchtlich hohen Prozentsatz von Intersexualität auf. Dass die Intersex-Häufigkeit in einem Probenahmegebiet stark schwanken kann, zeigte die dreimalige Beprobung bei Varel-Mellum. Im April wurde dort die im regionalen Vergleich geringste und im März und Mai die höchste Intersex-Prävalenz ermittelt.

Wie die Intersex-Indices der Nordsee-Proben zeigen, war die Intersexualität bei den Aalmuttern der Station Büsum im Mittel am intensivsten ausgeprägt. Auch bei Borkum erwies sich Intersex vergleichsweise deutlicher ausgeprägt, während Intersex bei den Aalmuttern der Stationen Sylt und Varel im Mittel am schwächsten entwickelt war.

An der Ostseeküste wies die Station Schlei mit 16% eine halb so hohe Häufigkeit von Intersex auf wie die Station Darßer Ort mit 32%. Der relativ hohe Intersex-Index der Schlei-Probe ist auf das Vorkommen von stärker ausgeprägtem Intersex bei einem der fünf betroffenen Männchen zurückzuführen. Ansonsten war die Intersexualität nicht deutlicher entwickelt als am Darßer Ort.

Insgesamt betrachtet wurde die Ausprägung von Intersexualität bei der großen Mehrzahl der betroffenen Männchen an allen Stationen als geringgradig bewertet. Der Umstand, dass sowohl sehr kleine als auch größere Männchen Intersex aufwiesen, lässt den Schluss zu, dass diese Pathomorphose nicht mit dem Alter korreliert ist. In der Tat zeigen die in den Tabellen 16, 17 und 20 aufgeführten Altersangaben, dass Aalmuttern der Altersklasse 1 und 2 sowohl von geringer als auch intensiver ausgeprägter Intersexualität betroffen waren.

Im histologischen Bild äußerte sich die vorwiegend geringgradig ausgeprägte Intersexualität als Auftreten von nur wenigen, vereinzelt im Hodengewebe verstreut liegenden Oocyten (Abb. 4A+B). Gruppen von bis zu maximal fünf Oocyten wurden nur selten beobachtet. Die Oocyten befanden sich zumeist im Stadium einer frühen primären Oocyte. Späte primäre Oocyten traten seltener und dann im Allgemeinen nur bei Hoden in einem weiter entwickelten Reifestadium auf (Tab. 6). Reifere Oocyten, bei denen bereits eine Einlagerung von Dottersubstanz stattgefunden hatte, wurden nicht beobachtet (Abb. 4C+D).

Gelegentlich wurden Oocyten angetroffen, die sich augenscheinlich im Zustand der Resorption befanden. Die Zelle erschien dann unscharf begrenzt und teilweise aufgelöst. Es bestand der Eindruck, als würden die Oocyten von den umgebenden Zellen des Hodengewebes aktiv resorbiert (Abb. 5A-D). Interessanterweise wurde die Resorption von Oocyten hauptsächlich bei Aalmuttern beobachtet, die zu einem späteren Zeitpunkt im Jahr beprobt worden waren (Tab. 6).

Unabhängig von der Intensität der Zwitterbildung wiesen die männlichen Gametenstadien immer ein normales, unauffälliges Aussehen auf.

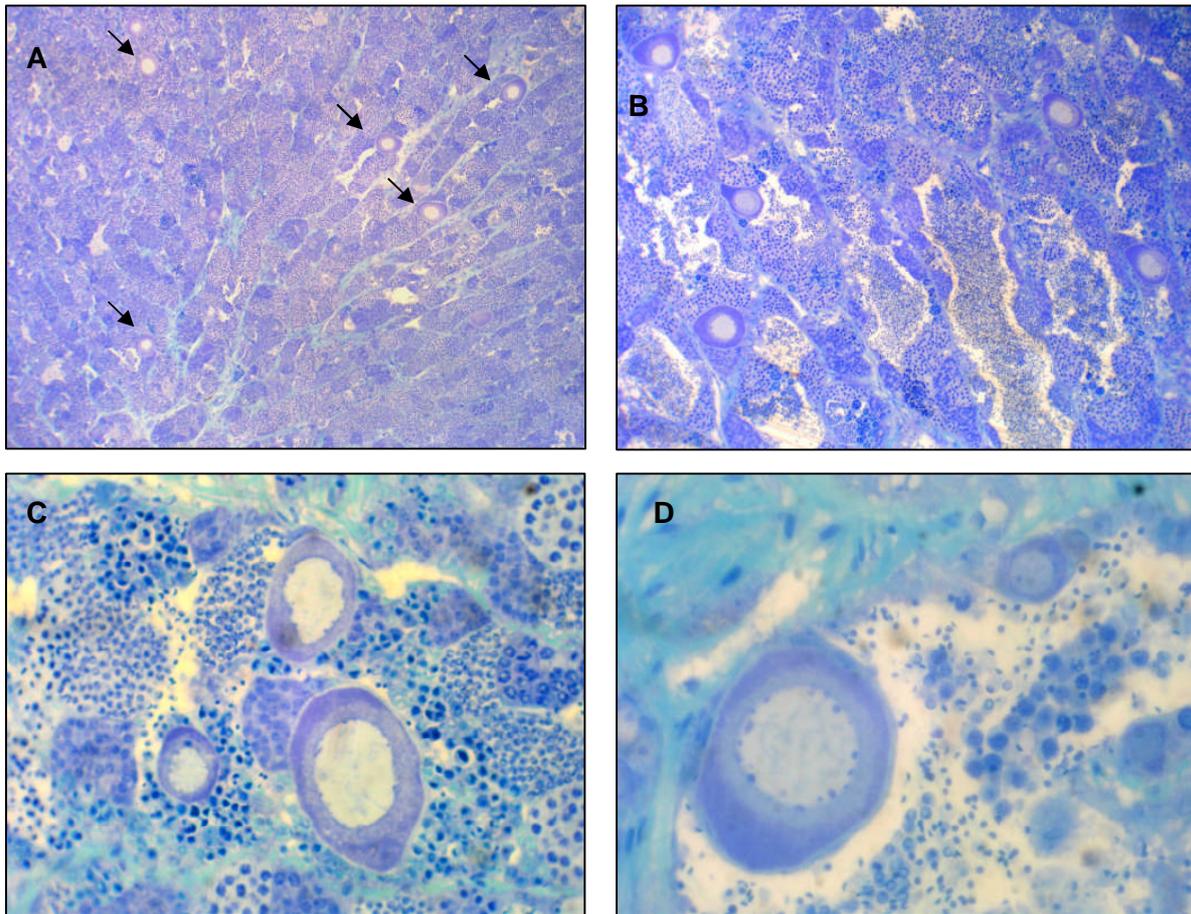
Tab. 5: Häufigkeit und Ausprägung (IS-Index) von Intersex im regionalen Vergleich

Station	Proben [n]	Intersex [n]	Intersex [%]	IS-Index [MW ± STABW]	IS-Index [Median]
<b>Borkum</b>	25	7	28	0,51 ± 0,50	0,39
<b>Varel (März)</b>	25	10	40	0,25 ± 0,36	0,11
<b>Varel (April)</b>	25	2	8	0,19 ± 0,04	0,19
<b>Varel (Mai)</b>	25	11	44	0,31 ± 0,26	0,22
<b>Büsum</b>	25	8	32	0,88 ± 0,81	0,50
<b>Sylt</b>	25	10	40	0,23 ± 0,20	0,19
<b>Schlei</b>	25	5	20	0,44 ± 0,75	0,17
<b>Darßer Ort</b>	25	8	32	0,33 ± 0,44	0,19

Tab. 6: Status der testikulären Oocyten im regionalen Vergleich

Station	Datum	IS [n]	frühe PO*	späte PO	resorb. PO	Entwicklungsstadien testikulärer Oocyten
<b>Borkum</b>	21.05.08 + 26.05.08	7	7	3	4	frühe und späte primäre Oocyten, teils in Resorption
<b>Varel (März)</b>	27.03.08 + 31.03.08	10	10	-	-	frühe primäre Oocyten
<b>Varel (April)</b>	15.04.08	2	2	-	-	frühe primäre Oocyten
<b>Varel (Mai)</b>	13.05.08	11	11	2	1	frühe und späte primäre Oocyten
<b>Büsum</b>	06.05.08	8	8	-	1	frühe primäre Oocyten
<b>Sylt</b>	21/22.05.08 + 27.06.08	10	3	5	6	frühe und späte primäre Oocyten, häufig Resorption
<b>Schlei</b>	22.04.08	5	4	1	-	auffällig kleine primäre Oocyten
<b>Darßer Ort</b>	17.06.08 + 15.07.08	8	6	2	4	frühe und späte primäre Oocyten, teils in Resorption

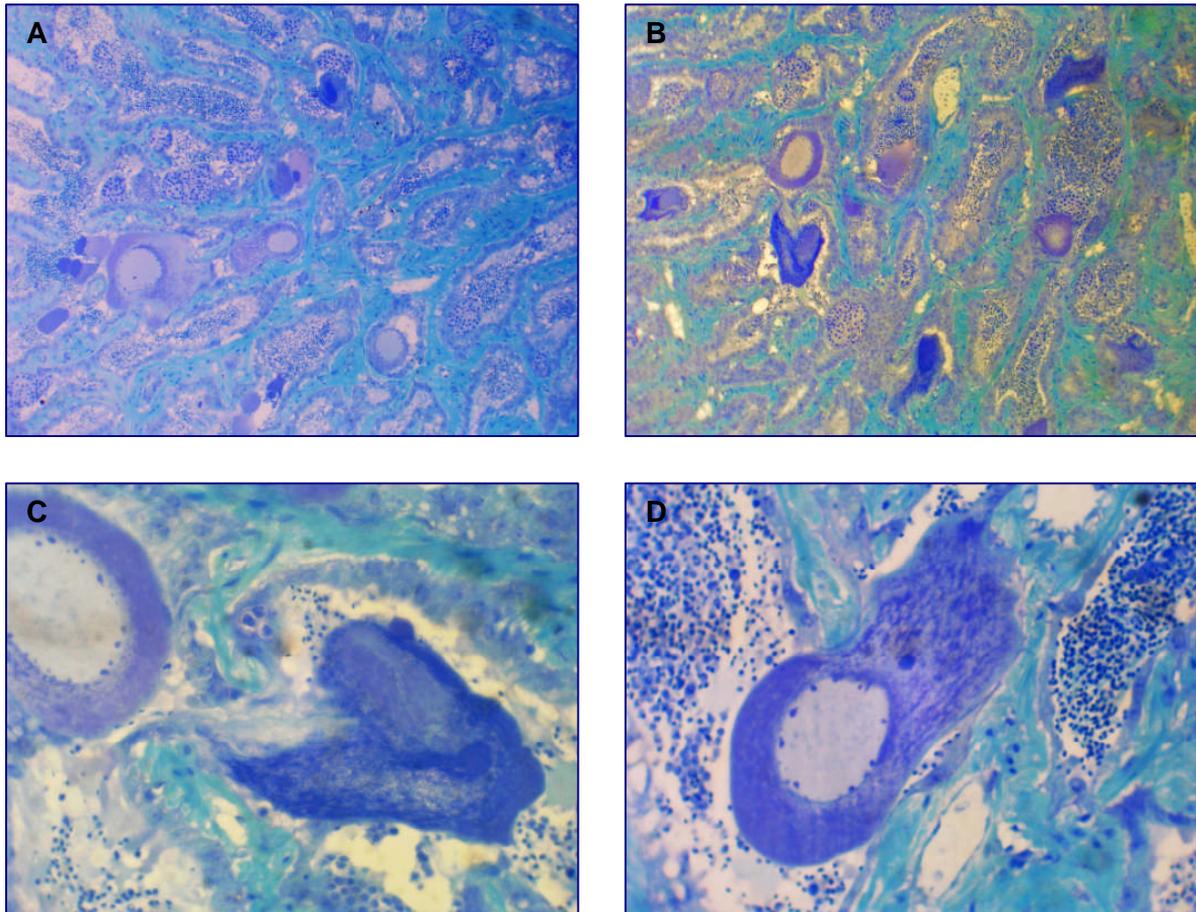
\* PO: primäre Oocyte



**Abb. 4: Ausprägung von Intersex bei männlichen Aalmuttern**

- A: Hoden mit relativ vielen verstreut liegenden primären Oocyten (Pfeile).
- B: Mehrere, einzeln in Hodentubuli auftretende primäre Oocyten.
- C+D: Gemeinsames Vorkommen von kleinen und größeren primären Oocyten in einem Tubulus.

(Toluidinblau-Färbung; A: 40x, B: 100x, C,D: 400x)



**Abb. 5: Resorption von Oocyten in Intersex-Hoden**

A+B: Verstreut im Hodengewebe liegende primäre Oocyten, darunter mehrere im Stadium der Resorption.

C: Eine intakte und eine in fortgeschrittener Resorption befindliche primäre Oocyte.

D: Einzelne primäre Oocyte mit zum Teil in Auflösung befindlichem Cytoplasma. Die Tubuli enthalten reife Spermien.

(Toluidinblau-Färbung; A,B: 100x, C,D: 400x)

### 3.1.5 Bewertung der Intersex-Befunde

Die histologische Untersuchung der Hoden hat ein weit verbreitetes Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern in den deutschen Küstengewässern von Nord- und Ostsee dokumentiert. Hinsichtlich der Häufigkeit und Intensität von Intersex sowie der Entwicklungsstadien der testikulären Oocyten stimmen die aktuellen Ergebnisse grundsätzlich mit den Befunden der ersten Studie von 2006 überein (Gercken, 2007). In Tabelle 7 sind die 2006 und 2008 an den UPB-Stationen erhobenen Daten zur Intersex-Häufigkeit und -Ausprägung einander gegenübergestellt. Abbildung 6 gibt die Ergebnisse der beiden Intersex-Untersuchungen in grafischer Form wieder.

Im Wattenmeer wurde 2008 an beiden UPB-Stationen eine Zunahme der Intersex-Häufigkeit ermittelt. Hinsichtlich der Intensität von Intersex erwies sich die Station Büsum im Mittel als stärker betroffen als Varel-Mellum. Allerdings ist in diesem Zusammenhang auch zu bedenken, dass an dieser Station eine hohe Variabilität beim Vorkommen von Intersex auftrat.

Dass es sich bei den testikulären Oocyten immer um primäre Oocyten handelte und somit keine Einlagerung von Dotter bestand, deckt sich ebenfalls mit dem Ergebnis der ersten Studie sowie mit weiteren, andernorts unternommenen Felduntersuchungen (Gercken & Sordyl, 2002; IfAÖ 2007).

Im Unterschied zur Studie 2006 wurde bei der aktuellen Berechnung des IS-Index keine Differenzierung zwischen frühen (kleinen) und späten (großen) primären Oocyten (PO) mehr vorgenommen. Ausschlaggebend hierfür war der Befund, dass die späten primären Oocyten häufiger bei den später im Frühjahr erfolgten Beprobungen angetroffen wurden. Für den regionalen Vergleich der Intersex-Ausprägung im Rahmen eines Monitoring wäre es aber nicht sinnvoll, einen von der Beprobungszeit abhängigen Endpunkt in die Berechnung des IS-Index aufzunehmen. Insofern berücksichtigt die modifizierte Formel letztendlich nur Anzahl und Verteilung der Oocyten im histologischen Präparat.

Ein weiteres zeitabhängiges Phänomen war das insbesondere im späteren Frühjahr beobachtete Vorkommen von Oocyten, die sich im Zustand der Resorption befanden. Derartige Oocyten wurden auch bei der Untersuchung 2006 festgestellt. Dieser Befund lässt vermuten, dass primäre Oocyten möglicherweise durch Apoptose absterben, wenn ihnen das „Signal“ bzw. die Voraussetzung fehlt, um in das Stadium der Dotterbildung (Vitellogenese) einzutreten.

De Metrio et al. (2003) beobachteten beim Schwertfisch (*Xiphias gladius*) ebenfalls das Vorkommen von degenerierten Oocyten bei Intersex-Hoden. Sie nehmen an, dass es sich dabei um einen Prozess der Resorption handelt. Bei männlichen Klieschen (*Limanda limanda*) mit Intersex beobachteten Stentiford und Feist (2005) Oocyten, die sich offensichtlich im Stadium der Apoptose befanden.

Angesichts der potenziellen Resorption von testikulären Oocyten bei der Aalmutter erscheint es ratsam, den Zeitpunkt einer Beprobung im Frühjahr nicht zu spät zu wählen. Aufgrund der vorliegenden Befunde sollte die Beprobung vorzugsweise im Zeitraum von Ende April bis Anfang Juni erfolgen.

Tab. 7: Vergleich der Intersex-Befunde an den UPB-Stationen in den Jahren 2006 und 2008

Station	Studie 2006			Studie 2008		
	Intersex [%]	IS-Index* [MW ± STABW]	IS-Index [Median]	Intersex [%]	IS-Index [MW ± STABW]	IS-Index [Median]
Varel	14,9	0,45 ± 0,84	0,07	44	0,31 ± 0,26	0,22
Büsum	24,2	0,61 ± 0,76	0,22	32	0,88 ± 0,81	0,50
Darßer Ort	42,9	0,30 ± 0,33	0,17	32	0,33 ± 0,44	0,19

\* Die Daten der Studie 2006 wurden mit der aktuellen, modifizierten IS-Index-Formel neu berechnet.

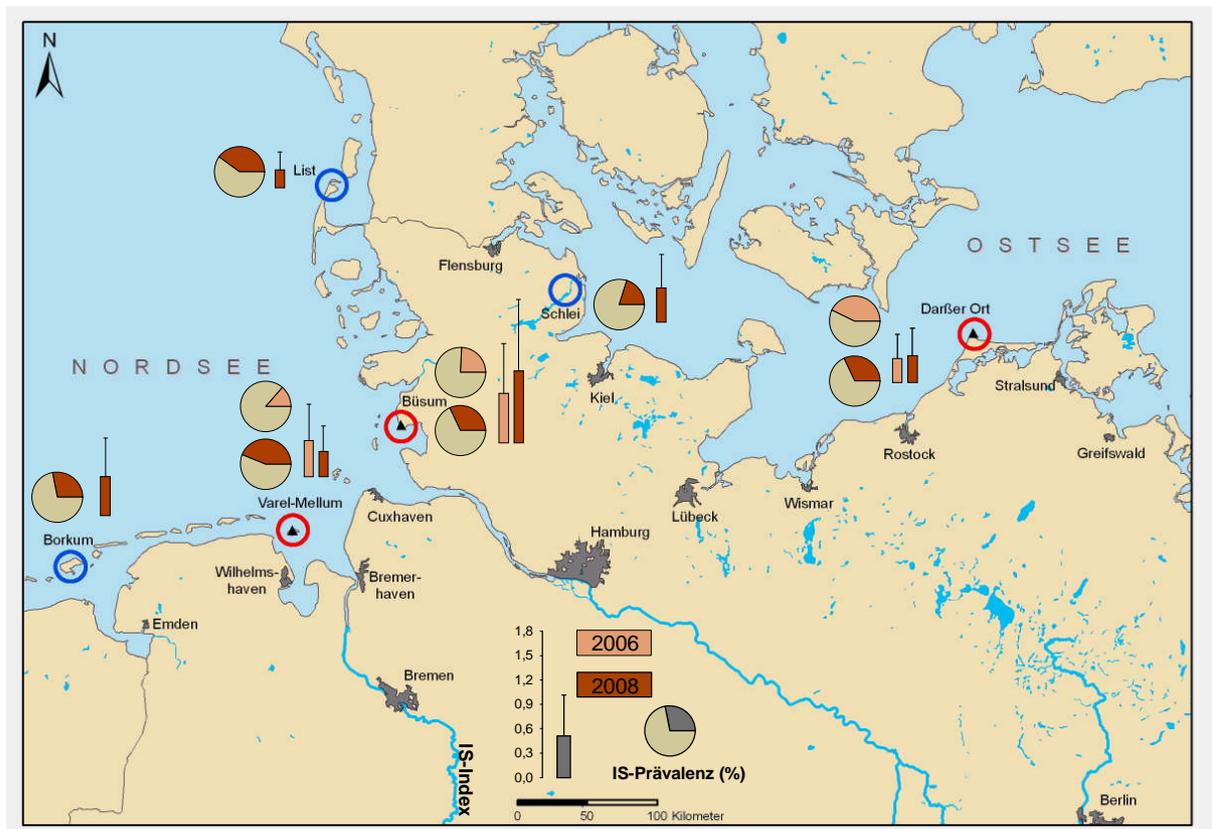


Abb. 6: Intersex bei männlichen Aalmuttern aus Nord- und Ostsee bei den Beprobungen 2006 und 2008. Für Varel-Mellum sind Werte der Mai-Beprobung 2008 angegeben.

### 3.2. Gonadenuntersuchung bei weiblichen Aalmuttern

#### 3.2.1 Biometrische Begleitdaten

Für die Untersuchung der weiblichen Gonade wurden Proben von 24 bis 30 Ovarien analysiert. Wie die männlichen Aalmuttern waren auch die mit einer Kurre im Wattenmeer gefangenen Weibchen kleiner und leichter als die aus Reusenfängen stammenden Artgenossen von der Ostsee. Die bereits im März und April an der Station Varel beprobten Weibchen besaßen im Mittel eine geringere Größe als die Weibchen von den anderen Nordsee-Stationen, die im Mittel eine ähnliche Länge aufwiesen (Tab. 8).

Im Vergleich zu den männlichen Aalmuttern (Tab. 3) waren die Weibchen durchschnittlich größer und schwerer. Diese Beobachtung wurde auch bei der 2006 durchgeführten Untersuchung gemacht. Die Altersbestimmung an Weibchen von den UPB-Stationen lieferte das gleiche Ergebnis wie bei den Männchen. Dies bedeutete, dass trotz der regionalen Größenunterschiede die Tiere fast immer entweder zur Altersklasse 1 oder 2 zählten.

Tab. 8: Biometrische Begleitdaten der untersuchten weiblichen Aalmuttern

Station	Probenahme- zeitraum	n	Länge (cm) [MW ± STABW]	Gewicht (g) [MW ± STABW]
Borkum	21.05./ 26.05.08	24	20,7 ± 2,1	51,2 ± 16,6
Varel	27.03./ 31.03.08	24	16,9 ± 4,3	22,9 ± 18,2
Varel	15.04.08	30	18,7 ± 3,0	33,9 ± 16,2
Varel	13.05.08	30	19,6 ± 1,8	40,0 ± 11,3
Büsum	06.05.08	30	20,1 ± 2,3	41,7 ± 14,3
Sylt	21.05./ 27.06.08	26	20,2 ± 2,6	44,7 ± 19,1
Schlei	22.04.08	30	24,9 ± 2,2	83,7 ± 22,1
Darßer Ort	17.06./ 15.07.08	30	26,7 ± 3,7	95,4 ± 46,1

#### 3.2.2 Bau des Ovars und Eientwicklung

Im Gegensatz zu den paarig angelegten Ovarien der meisten Fischarten besitzt die Aalmutter, wie andere lebend gebärende Fischarten, ein unpaares Ovar. Es ist mit Mesenterien in der dorsalen Leibeshöhlenwand fixiert. Zu Beginn der Gonadenentwicklung befinden sich die jungen Oocyten (Eizellen) im Keimepithel eingebettet an der Innenwand des Ovars. Im Verlauf der Eientwicklung wölbt sich das Keimepithel infolge der Volumenzunahme der Oocyte in das Lumen des Ovars vor. Im Zustand fortgeschrittener Reife hat sich die stark vergrößerte Oocyte mit den sie umhüllenden Follikelzellen so weit in das Ovarlumen verlagert, dass sie nur noch durch eine stielartige Verbindung (Funiculus) mit der Ovarwand verbunden bleibt. Das den Follikel umschließende Epithel ist zur effektiven Nährstoffversorgung der Eizelle mit einem dichten Netzwerk von feinen Blutkapillaren ausgestattet (Götting, 1976).

Mit zunehmender Einlagerung von Dottersubstanz (Vitellogenese) entwickeln sich die Follikelschichten, welche die Oocyte umgeben immer deutlicher, so dass sich die innere Granulosa-Zellschicht von der durch eine Basalmembran getrennten äußeren Theca-Zellschicht (*Theca folliculi*) unterscheiden lässt (Tyler & Sumpter, 1996).

Im Ovar befinden sich immer Eizellen in unterschiedlichen Reifestadien, die sich anhand charakteristischer histologischer Merkmale unterscheiden. Die Bestimmung des Reifegrades eines Ovars erfolgte immer anhand des am weitesten entwickelten Oocytenstadiums, wobei dieselbe Klassifikation der Entwicklungsstadien wie bei der 2006 durchgeführten Untersuchung verwendet wurde (Tab. 9).

Im Folgenden beruhen die Befunde zur Ovarreife und zum Auftreten von degenerativen Veränderungen auf Untersuchungen, die mittels Binokularlupe und anhand von histologischen Präparaten durchgeführt wurden. Größere Ovarien wurden i.d.R. mit dem Binokular befundet, während bei den relativ häufigen sehr kleinen Ovarien eine mikroskopische Bewertung erfolgte. Zum Teil wurden Ovarien auch mit beiden Methoden analysiert, um makroskopische Befunde auf histologischer Ebene abzuklären.

### **3.2.3 Reifestadien der Ovarien**

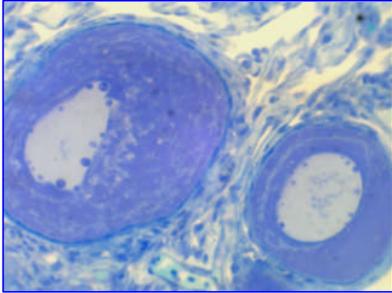
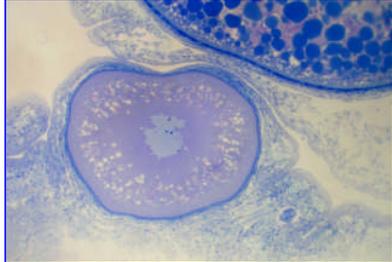
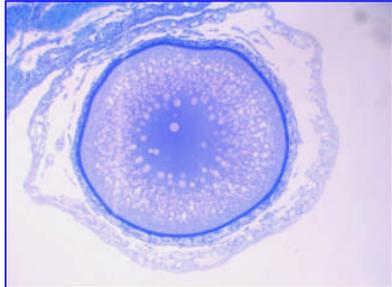
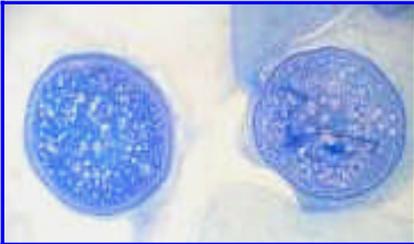
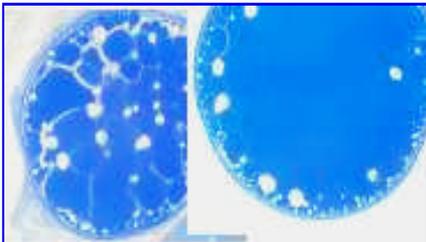
In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Bestimmung der Ovarreife zusammengefasst aufgeführt. Die individuellen Reifestadien der untersuchten Weibchen sind im Anhang in den Tabellen 21 bis 29 zu finden.

Anhand der dreimal im Zeitraum März bis Mai im Seegebiet Varel-Mellum durchgeführten Beprobungen sollten Informationen über den Verlauf der Ovarentwicklung im Frühjahr gewonnen werden. Zum Zeitpunkt der frühesten Beprobung *Ende März* wiesen fast alle Weibchen das Reifestadium 2 auf, bei dem sich die am weitesten entwickelten Eizellen im frühen bis mittlerem Stadium der Dottereinlagerung (Vitellogenese) befinden. Bei makroskopischer Betrachtung besaßen diese Oocyten eine helle oder blassgelbe Färbung. Lediglich ein einziges Individuum hatte das Dotterstadium noch nicht erreicht (Stadium 1). *Mitte April* befanden sich alle Ovarien immer noch in einem frühen bis mittlerem Stadium der Vitellogenese, so dass sie weiterhin dem Reifestadium 2 zugeordnet wurden.

Auch *Mitte Mai* war noch kein deutlicher Fortschritt der Eientwicklung eingetreten. Neben dem am häufigsten beobachteten Reifestadium 2 wurde einigen der makroskopisch untersuchten Individuen sogar noch das frühe Stadium 1 zugewiesen. Bei der methodisch genaueren histologischen Analyse einiger Ovarien der Mai-Probe wurden ebenfalls die Reifestadien 1 und 2 ermittelt. Im Vergleich zu der Mitte April genommenen Probe hatte die Einlagerung von Dotter im Mai i.d.R. ein fortgeschritteneres Stadium erreicht. Dementsprechend wiesen die meisten Ovarien nun Oocyten im VO-II-Stadium auf (Tab. 9).

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die ohnehin relativ unsichere makroskopische Befundung von kleinen Ovarien mit Oocyten im frühen Vitellogenese Stadium durch die häufig aufgetretenen starken degenerativen Veränderungen zusätzlich erschwert wurde.

**Tab. 9: Histologische Klassifikation der Entwicklungsstadien von Oocyten**

Reifegrad	Stadium	Charakteristika	Histologisches Bild
<b>1</b>	primäre Oocyte <b>pO</b>	großer Kern mit perinukleären Vesikeln; weites Größenspektrum; basophiles Plasma (HE-Färbung)	
<b>1</b>	Cortical-Alveolus Oocyte <b>CAO</b>	größerer Plasmaanteil; Corticale Alveoli im Plasma	
<b>2</b>	Vitellogene Oocyte-I <b>VO-I</b>	frühes Stadium der Vitellogenese mit kleinen, meist peripher im Ooplasma gelegenen Vesikeln und deutlichem Kern	
<b>2</b>	Vitellogene Oocyte II <b>VO-II</b>	mittleres Stadium der Vitellogenese; Plasma komplett voller größerer Dottervesikel; Kern noch vorhanden oder verschoben; Theka- und Granulosa-Lagen deutlich	
<b>3</b>	Vitellogene Oocyte III <b>VO-III</b>	Spätstadium der Vitellogenese; sehr große Eizelle; mehr oder weniger homogener, fusionierter Dottermasse; dicke Zona radiata.	

Aus dem Vergleich mit den anderen Probenahmeorten ergab sich der Eindruck, dass die im Mai bei Varel-Mellum gefangenen Aalmuttern eine verzögerte Ovarentwicklung aufweisen. So wurde unter den bereits am 22. April in der Schlei gefangenen Aalmuttern bei gut einem Drittel der Ovarien das Spätstadium der Dotterbildung (Stadium 3) ermittelt. Bei Borkum wiesen die meisten Weibchen in der zweiten Maihälfte das Reifestadium 3 auf. In Übereinstimmung mit dem späten Beprobungstermin Ende Juni befanden sich die bei Sylt beprobten Aalmuttern (27.06.; n=22) alle im Spätstadium der Vitellogenese. Obwohl die Beprobung am Darßer Ort ebenfalls relativ spät stattfand (Mitte Juni), wurde hier noch bei ungefähr einem Viertel der Aalmuttern das Reifestadium 2 angetroffen (Tab. 10).

Tab. 10: Verteilung der Reifestadien in den Ovar-Proben

Station	Datum	Reifestadien			
		1	2	3	MW±STABW
Borkum	21.05.08 + 26.05.08	0	5	19	2,8 ± 0,4
Varel	27.03.08 + 31.03.08	1	23	0	2,0 ± 0,2
Varel	15.04.08	0	30	0	2,0 ± 0,0
Varel	13.05.08	6	24	0	1,8 ± 0,4
Büsum	06.05.08	0	29	1	2,0 ± 0,2
Sylt	21.05.08 + 27.06.08	0	4	22	2,8 ± 0,4
Schlei	22.04.08	0	21	9	2,3 ± 0,5
Darßer Ort	17.06.08 + 15.07.08	0	7	23	2,8 ± 0,4

### 3.2.4 Regionale Häufigkeit und Ausprägung von degenerativen Veränderungen

Bereits bei der makroskopischen Untersuchung der Ovarien zeigte sich deutlich ein häufiges Auftreten von degenerativen Veränderungen von Eizellen bzw. Follikeln. Dies betraf nicht nur die Stationen, wo bereits bei der ersten Beprobung 2006 sehr häufig Ovar-Degenerationen auftraten, sondern ebenfalls die erstmalig im Rahmen der vorliegenden Studie beprobten „Sonderstationen“.

Bevor die Befunde zum regionalen Vorkommen von Ovar-Degenerationen vorgestellt werden, wird zunächst im Folgenden das Spektrum der vorgefundenen unterschiedlichen degenerativen Veränderungen beschrieben. Grundsätzlich wurden an allen Stationen dieselben Formen von Degenerationen beobachtet (Abb. 8A-D; Abb. 9A-D).

Bei makroskopischer Betrachtung waren die auffälligsten degenerativen Veränderungen hellgrau-trüb gefärbte Follikel mit einer länglichen, zottenartigen Struktur. Im Gegensatz zu Follikeln, in denen sich augenscheinlich normal entwickelte Eizellen befanden, erschienen diese „Follikel-Zotten“ ohne Inhalt (Abb. 8B). Wie sich im histologischen Bild zeigte, befand sich in der Wand dieser Follikel ein dichtes Netzwerk von Blutkapillaren. Im Innern dieser „Follikelhüllen“ wurden keine Reste von degenerierten Eizellen beobachtet. In der wissenschaftlichen Literatur gibt es Hinweise zur Herkunft und Funktion dieser „Zotten“. Darauf wird an späterer Stelle, im Rahmen der Diskussion, näher eingegangen.

Neben „leer“ erscheinenden Follikeln traten verbreitet auch Follikel mit einem mehr oder weniger deutlich degenerierten zellulären Inhalt auf. Dabei handelte es sich offenbar um Oocyten in verschiedenen Stadien der Resorption.

Im Allgemeinen war eine Degeneration des Follikel/Oocyten-Komplexes bei makroskopischer Betrachtung an einer Eintrübung des Follikels zu erkennen (Abb.8A+D). Häufig wies der Follikel dann im distalen Bereich eine ödematöse Flüssigkeitsansammlung zwischen Follikelwand und Oocyte auf. Diese Erweiterung des Lymphraums ließ sich auch im histologischen Bild häufig beobachten. Bei den im Follikel befindlichen Eizellen traten unterschiedliche Stadien des Abbaus auf. Häufiger war die Resorption der Oocyte bereits weit fortgeschritten und ihr ursprünglicher normaler Aufbau nicht mehr zu erkennen. Insgesamt entsprachen diese Veränderungen dem typischen Bild einer Atresie, worunter das physiologisch regulierte Absterben der Eizellen in Verbindung mit einer Resorption des Zellmaterials verstanden wird. In den histologischen Präparaten konnten auch die seltener vorkommenden, frühen Stadien einer atretischen Degeneration diagnostiziert werden.

Werden die unterschiedlichen histologischen Ausprägungen degenerativer Veränderungen in eine zeitliche Abfolge gebracht, zeigt sich, dass die Atresie von Oocyten bei der Aalmutter ebenso abläuft wie in der Literatur für andere Fischarten beschrieben. So ist die Frühphase einer Atresie an einer Deformation und Auflösung der inneren Eihülle (*zona radiata*) zu erkennen. Im Verlauf der Atresie tritt eine zunehmende Hypertrophie der Follikelzellschicht ein. Die stark vermehrten Granulosa-Zellen dringen in die degenerierende Oocyte ein und resorbieren das Zellmaterial bis zuletzt nur ein amorpher Rest übrig bleibt. Unterstützt werden sie dabei von Fresszellen (Makrophagen) aus dem Blut (Abb. 7A-F).

Grundsätzlich sind atretische Veränderungen an reiferen Ovarien mit bereits gelben, dotterreichen Eizellen makroskopisch besser zu diagnostizieren als bei Ovarien im frühen Entwicklungsstadium. Dies liegt daran, dass frühe Oocyten und degenerierte Oocyten beide eine helle Färbung aufweisen. Dennoch lassen sich degenerierte Follikel/Oocyten aber aufgrund ihrer weißlich hellen Färbung von normal entwickelten Oocyten unterscheiden, da letztere eher ein trüb-weißes Aussehen besitzen (Abb. 8A+D).

Das Untersuchungsergebnis zur regionalen Häufigkeit und Intensität von Ovar-Degenerationen bzw. Atresie ist in Tabelle 11 zusammengefasst. In den Tabellen 21 bis 29 im Anhang ist für jedes untersuchte Ovar eine Angabe zum Schweregrad der Degeneration zu finden. Für die einzelnen Stationen wurden folgende Befunde ermittelt:

Von den an der *Station Borkum* gefangenen Weibchen wiesen 58% Degenerationen des Ovars auf. Diese wurden vorwiegend als geringgradig eingestuft, so dass insgesamt die durchschnittliche Atresie-Intensität mit einem Wert von 1,4 im regionalen Vergleich gering ausfiel.

An der dreimal im Zeitraum von Ende März bis Mitte Mai beprobten *Station Varel-Mellum* lag die Prävalenz von Ovar-Degenerationen mit Werten von 91% bis 100% deutlich höher. Mit einem mittleren Schädigungsgrad von 2,1 bis 2,7 waren die Degenerationen vergleichsweise deutlich ausgeprägt.

Aalmuttern von der *Station Büsum* waren mit 100% Prävalenz ähnlich stark von Atresie betroffen wie ihre Artgenossen im Probenahmegebiet Varel-Mellum. Der Schweregrad der Degenerationen war mit einem Wert von 2,7 ebenfalls vergleichbar hoch wie dort.

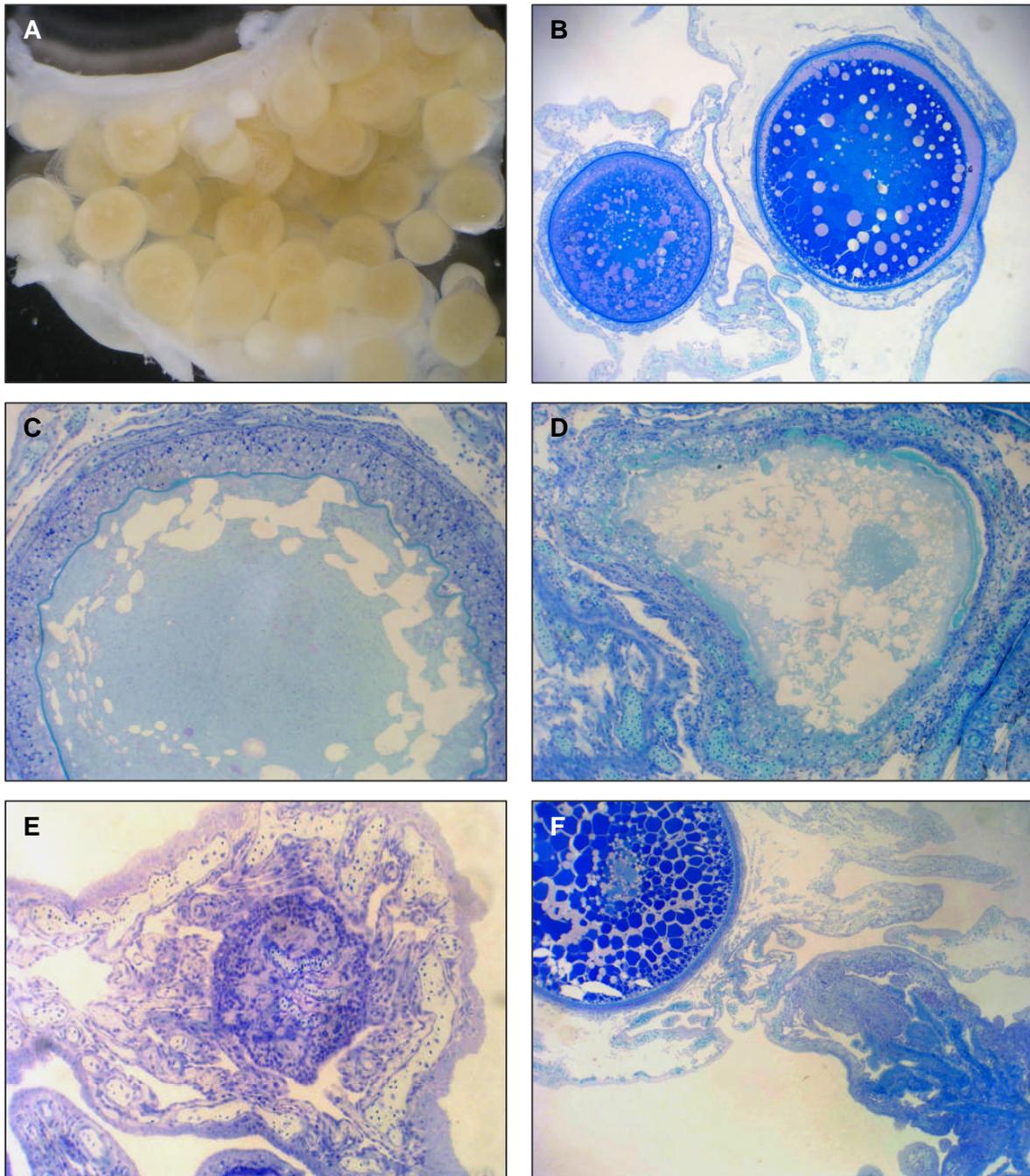
An der erstmalig beprobten *Station Sylt* wurde mit 46% die geringste Häufigkeit von Ovar-Degenerationen ermittelt. Mit 1,5 wies die Atresie-Ausprägung einen ähnlich niedrigen Wert wie an der Station Borkum auf.

Weibliche Aalmuttern waren an der *Station Schlei* mit einer Prävalenz von 100% ähnlich häufig von Atresie betroffen wie bei Varel und Büsum. Im Durchschnitt wurde die Intensität der Degenerationen mit einem Wert von 2,5 vergleichsweise hoch eingestuft.

An der regulären *UPB-Station Darßer Ort* wiesen zwei Drittel der Weibchen Ovar-Degenerationen auf. Mit einem Wert von 1,6 war deren Ausprägung relativ gering.

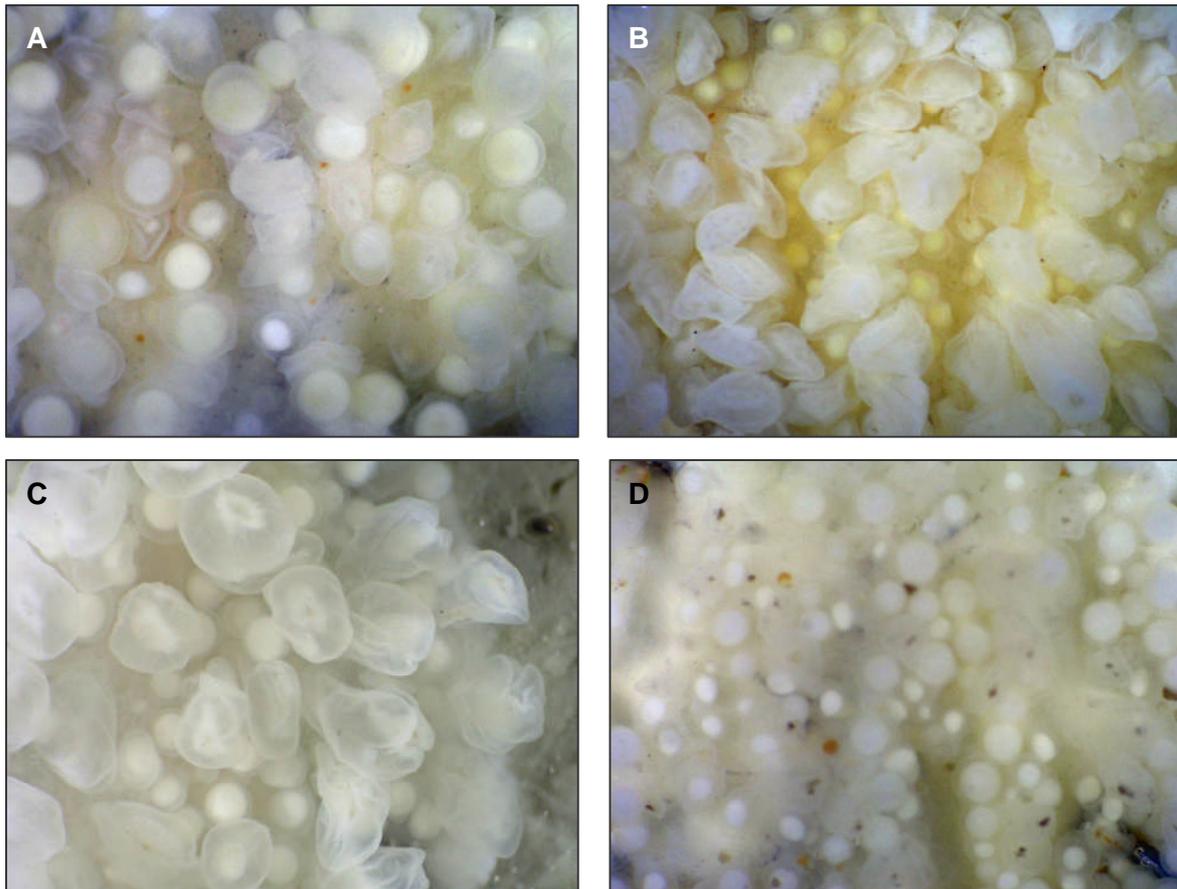
**Abb. 11: Häufigkeit und Ausprägung von Ovar-Degenerationen bei weiblichen Aalmuttern**

Station	Datum	n	Atresie (n)	Prävalenz (%)	Atresie-Stadium			Atresie-Ausprägung [MW ± STABW]
					1	2	3	
<b>Borkum</b>	21.05.08 + 26.05.08	24	14	58,3	10	2	2	1,4 ± 0,8
<b>Varel (März)</b>	27.03.08 + 31.03.08	24	21	91,3	6	6	9	2,1 ± 0,9
<b>Varel (April)</b>	15.04.08	30	29	96,7	0	8	21	2,7 ± 0,5
<b>Varel (Mai)</b>	13.05.08	30	30	100	3	16	11	2,3 ± 0,6
<b>Büsum</b>	06.05.08	30	29	96,7	2	8	19	2,6 ± 0,6
<b>Sylt</b>	21.05.08 + 27.06.08	26	12	46,2	7	4	1	1,5 ± 0,7
<b>Schlei</b>	22.04.08	30	30	100	3	9	18	2,5 ± 0,7
<b>Darßer Ort</b>	17.06.08 + 15.07.08	30	19	63,3	10	6	3	1,6 ± 0,8



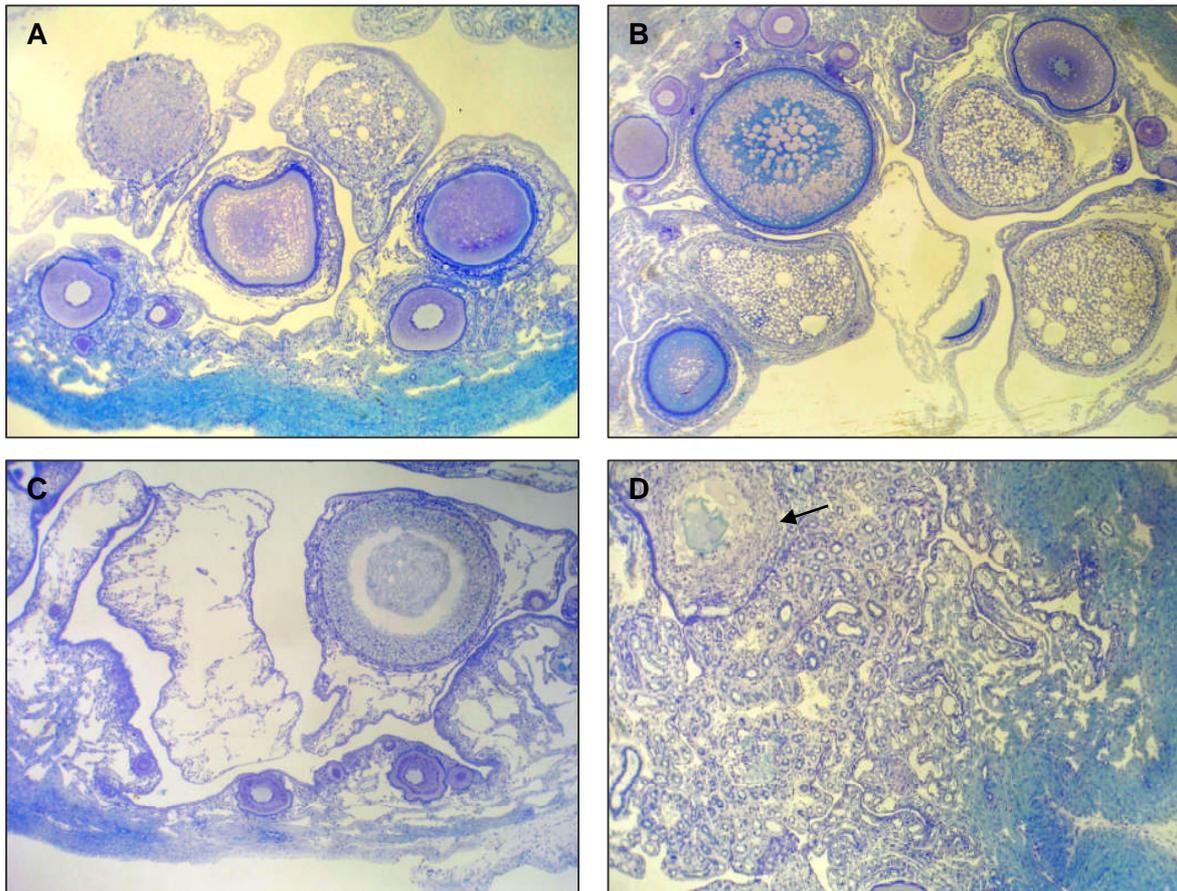
**Abb. 7: Stadien der Oocyten-Degeneration**

- A: Ovar ohne makroskopisch sichtbare degenerative Veränderungen der dotterreichen Oocyten.
- B: Histologisch unauffällige, dotterreiche Oocyten.
- C: Relativ frühe Ausprägung von Atresie mit hypertropher Granulosa-Zellschicht und beginnender Deformation der *Zona radiata*.
- D: Fortgeschrittene atretische Degeneration einer Oocyte. Reste der *Zona radiata* sind noch erhalten. Das Eiplasma wird von den Granulosa-Zellen resorbiert.
- E: Degenerierter Follikel mit weitgehend resorbierter Oocyte.
- F: Normale Oocyte und Follikel/Oocyte im Spätstadium der Atresie.
- (Toluidinblau-Färbung; B,C,D,E,F: 100x)



**Abb. 8: Makroskopische Ausprägung degenerativer Veränderungen im Ovar**

- A: Ovar mit schwach gelblich gefärbten normalen Oocyten und kleineren, heller gefärbten Atresiestadien (Varel, April).
- B: Ovar mit zahlreichen zottenartigen leeren Follikeln (Varel, März).
- C: Degenerierte Follikel, in denen sich Reste von resorbierten Oocyten befinden. Die Follikel weisen eine ödematöse Schwellung auf (Varel, März).
- D: Ovar mit einer Mischung aus hellen atretischen und größeren, trüb aussehenden normalen Oocyten. Außerdem zahlreiche atretische Follikel mit braunen Klumpen zellulärer Abbauprodukte (Büsum, Mai).



**Abb. 9: Histologische Ausprägung degenerativer Veränderungen im Ovar**

- A: Verschiedene Stadien der Atresie dotterreicher Oocyten. Die kleinen, frühen Oocyten weisen keine Veränderung auf.
- B: Mehrere atretische Oocyten und ein leerer Follikel im Zentrum. Die Invasion der Granulosa-Zellen in Verbindung mit der Resorption des Oocyten-Plasmas verleiht den Oocyten ein „schaumiges“ Aussehen.
- C: Eine atretische Oocyte und zwei leere, atretische Follikel, die makroskopisch das Aussehen von „Zotten“ haben.
- D: Eine atretische Oocyte (Pfeil) und zahlreiche degenerierte, leere Follikel.

(Toluidinblau-Färbung; A,B,C,D: 40x)

### 3.2.5 Bewertung der Ovar-Degenerationen

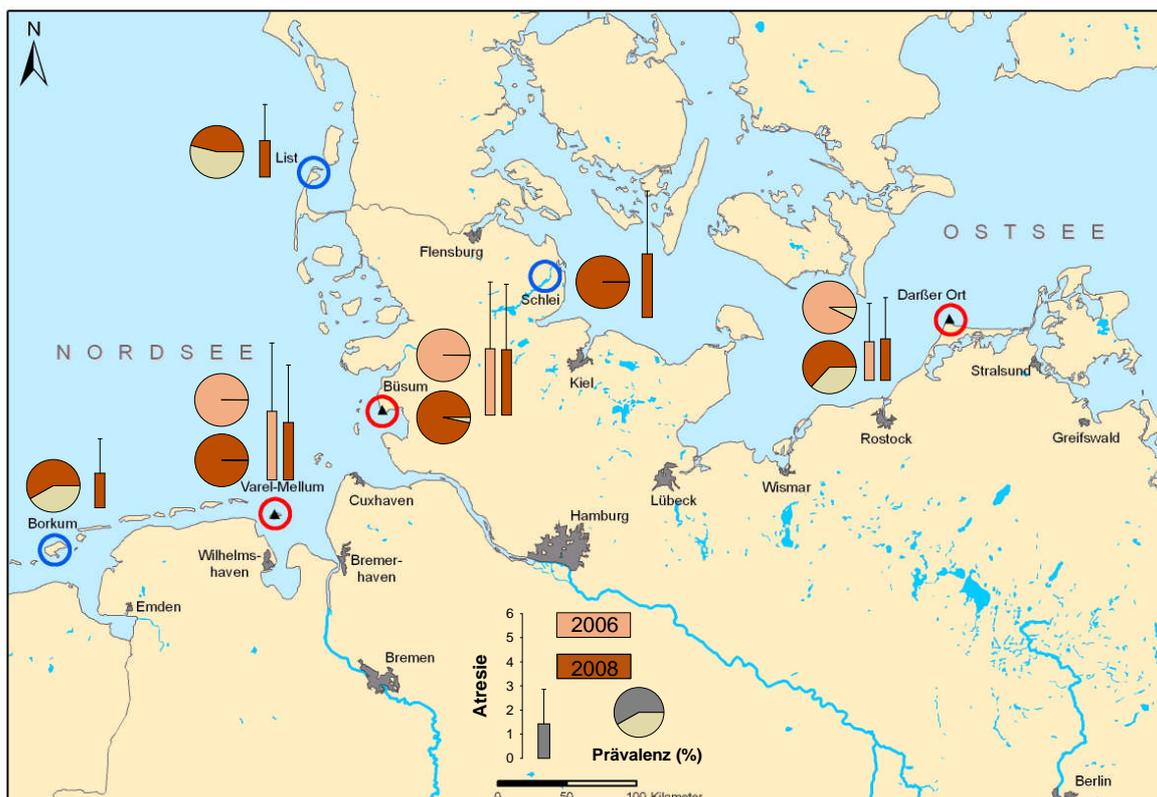
Mit den hier vorgelegten Ergebnissen zur Häufigkeit von Ovar-Degenerationen bei Aalmuttern aus deutschen Küstengewässern wurden die Befunde der ersten, 2006 im Auftrag der UPB durchgeführten Gonadenuntersuchung bestätigt und in regionaler Hinsicht erweitert. Bezüglich der UPB-Nordsee-Stationen ergaben beide Feldstudien im Wesentlichen übereinstimmende Befunde (Gercken, 2007). So wurden in beiden Jahren in den Proben von Varel und Büsum bei praktisch allen Weibchen degenerierte Follikel/Oocyten festgestellt. Außerdem waren an diesen beiden Stationen degenerative Veränderungen im Jahr 2008 wiederum intensiver ausgeprägt als am Darßer Ort in der Ostsee (Tab. 12; Abb. 10).

An den erstmalig beprobten Nordsee-Stationen Borkum und Sylt wiesen die Weibchen mit 58% bzw. 46% deutlich seltener Follikel/Oocyten-Degenerationen auf. Letztendlich dokumentieren aber auch diese Prävalenzen eine verbreitetes Vorkommens von Atresie an der deutschen Nordseeküste. Dies gilt ebenso für die Ostsee, wo neben der Station Darßer Ort erstmalig auch Aalmuttern aus dem Mündungsgebiet der Schlei untersucht wurden.

Tab. 12: Vergleich der Atresie-Befunde an den UPB-Stationen in den Jahren 2006 und 2008

Station	Studie 2006		Studie 2008	
	Atresie-Prävalenz [%]	Atresie-Ausprägung [MW ± STABW]	Atresie-Prävalenz [%]	Atresie-Ausprägung [MW ± STABW]
Varel (Mai)	100	2,7 ± 0,5	100	2,3 ± 0,6
Büsum	100	2,6 ± 0,5	96,7	2,6 ± 0,6
Darßer Ort	92,6	1,4 ± 0,7	63,3	1,6 ± 0,8

Abb. 10: Häufigkeit und Intensität von Ovar-Degenerationen bei den Beprobungen 2006 und 2008



Die makroskopisch beobachteten Degenerationen im Ovar erwiesen sich im histologischen Bild als unterschiedliche Stadien der Rückbildung und Resorption von Follikeln und/oder Oocyten und somit als verschiedene Ausprägungen einer Atresie. Bei den auffälligen „leeren Follikelhüllen“ handelt es sich offenbar zumeist um Rückbildungsstadien so genannter „postovulatorischer Follikel“, die nach der Ovulation der Eizelle nicht gleich zurückgebildet werden, sondern noch von funktioneller Bedeutung während der Schwangerschaft sind.

Die Annahme, dass die postovulatorischen Follikel (POF) auch noch während der Gonadenreife im Frühjahr im Ovar anzutreffen sind, stützt sich auf die in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Befunde zur Morphologie und Histologie des Aalmutter-Ovars, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Bereits in einer frühen Arbeit hat sich Stuhlmann (1887) intensiv mit dem Aufbau des Aalmutter-Ovars und der Eientwicklung befasst. Er untersuchte die Ovarien von Weibchen, die in der Kieler Förde im Zeitraum Dezember bis März gefangen worden waren. Bei der Beschreibung des mit Larven gefüllten „schwangeren Ovariums“ erwähnt Stuhlmann das Vorkommen „einer beträchtlichen Zahl von häutigen größeren Zotten“, die plattgedrückt der inneren Ovarialwand anliegen. Bei der histologischen Analyse der Zotten fällt ihm auf, „dass ihr Bau vollständig mit dem der Eihüllen (Follikel) übereinstimmt. Es fehlt nur das Ei mit seinem Follikelepithel und an seine Stelle ist eine Art von Narbengewebe getreten.“

Der histologische Aufbau der stark von Blutgefäßen durchzogenen Zotten lässt Stuhlmann zu dem Schluss kommen: „...“, dass die Zotten die entleerten Eifollikel oder die *Corpora lutea* des Ovariums sind, welche sich nicht zurückbildeten sondern im Gegenteil einen Funktionswechsel eingingen, indem sie nunmehr durch Vergrößerung der Oberfläche des Ovariums für die Ernährung des Embryos von hoher Wichtigkeit sind.“

Kristoffersson et al. (1973) und Götting (1976) sind ebenfalls der Auffassung, dass die stark vaskularisierten postovulatorischen Follikel (PO-Follikel) im Ovar trächtiger Weibchen dem maternalen-embryonalen Transfer dienen, indem sie Nährstoffe an die Ovarialflüssigkeit abgeben.

In einer erst kürzlich erschienenen Publikation haben sich Skov und Kollegen (2007) insbesondere mit der vaskulären Struktur der PO-Follikel („postovulatory follicular appendages“) in der Spätphase der Trächtigkeit (Dez./Jan.) beschäftigt. Aufgrund von histologischen Befunden folgern sie, dass den PO-Follikeln eine wichtige Funktion beim Gasaustausch zwischen mütterlichem Blutkreislauf und den Larven zukommt.

Über das Schicksal der PO-Follikel nach der Geburt der Larven gibt es nur sehr wenige dokumentierte Befunde. Götting (1976) schreibt: „Nach der Ovulation bleiben Reste des Follikels als Zotte stehen, die bis zur nächsten Fortpflanzungszeit reduziert wird.“ Auch Stuhlmann (1887) berichtet, dass die PO-Follikel rückgebildet werden, bevor sich die neuen Eier voll entwickelt haben.

Vor dem Hintergrund dieser Literaturbefunde ist davon auszugehen, dass es sich zumindest bei einem Teil der auffällig großen Follikelhüllen um noch nicht zurückgebildete PO-Follikel gehandelt haben dürfte. Somit sollten diese degenerierten Follikel vornehmlich bei Weibchen der Altersklasse 2+ auftreten, da diese Tiere bereits trächtig gewesen waren. Außerdem ist davon auszugehen, dass Weibchen, die zeitnah nach dem Absetzen der Nachkommen beprobt werden häufiger PO-Follikel aufweisen als im späteren Frühjahr, wenn die PO-Follikel im Verlauf der Gonadenentwicklung wieder resorbiert sein sollten.

Im Hinblick auf das Alter der beprobten Aalmuttern ergab die begleitende Altersbestimmung, dass die Weibchen von den drei UPB-Standorten i.d.R. entweder das Alter 1+ oder 2+ aufwiesen. Dies dürfte auch für die übrigen Stationen zutreffen, von denen keine Daten zur Alterszusammensetzung vorliegen.

Trotz der individuellen Größenunterschiede waren alle männlichen und weiblichen Aalmuttern der Altersklasse 1+ geschlechtsreif. Wie Vetemaa (1999) gezeigt hat, gilt das Gleiche auch für Aalmuttern an der schwedischen Westküste, wo beide Geschlechter ihre Geschlechtsreife im Alter 1+ erlangen. Bei der ersten Trächtigkeit wiesen die Weibchen dort im Mittel eine Länge von 22cm (18,5-25,0cm) auf. Männchen wurden erstmalig bei Längen von 14,9 bis 23,1cm (Mittel 20,5cm) geschlechtsreif.

Werden die zur Verfügung stehenden Altersdaten zur Bewertung der aktuell erfassten Ovar-Degenerationen herangezogen, zeigt sich, dass die zottenartigen Follikel-Degenerationen häufig bei zweijährigen und älteren Aalmuttern vorkamen. Insofern ist es wahrscheinlich, dass es sich bei den bei dieser Altersklasse beobachteten Degenerationen u.a. um atretische PO-Follikel handelte. Andererseits traten die makroskopisch leer erscheinenden Follikelhüllen - wenngleich seltener - auch bei einjährigen Weibchen vor.

Letztendlich bleibt festzustellen, dass sich bei makroskopischer Befundung atretische PO-Follikel nicht sicher von einer fortgeschrittenen Follikel/Oocyten-Atresie unterscheiden lassen. Somit repräsentieren die ermittelten Atresie-Prävalenzen sowohl degenerierte PO-Follikel als auch degenerierte Follikel/Oocyten. Während Erstere ein natürlicherweise auftretendes Phänomen darstellen, ist ein deutlich vermehrtes Vorkommen Letzterer als Indiz für die Wirkung von Stressfaktoren anzusehen.

Wie der regionale Vergleich ergab, wurden die sehr hohen Atresie-Prävalenzen bei Weibchen der vergleichsweise früh beprobten Stationen Varel, Büsum und Schlei ermittelt. Die später bei Borkum, Sylt und am Darßer Ort genommenen Proben wiesen eine geringere Häufigkeit und durchschnittlich geringere Intensität von degenerierten Follikeln/Oocyten auf.

Angesichts des potenziellen gemeinsamen Vorkommens von PO-Follikeln und stressinduzierten atretischen Follikeln/Oocyten im zeitigen Frühjahr ergibt sich für die makroskopische Befundung von Ovarien im Rahmen eines biologischen Effektmonitorings folgende Empfehlung:

- Um eine potenzielle Verwechslung von degenerierten post-ovulatorischen Follikeln mit atretischen Oocyten/Follikeln zu vermeiden, sollte die Beprobung der Weibchen möglichst spät nach dem Ende der Trächtigkeit durchgeführt werden. Vor dem Hintergrund der Befunde beider Gonadenstudien, scheint der Zeitraum von Ende Mai bis Mitte Juni für die Probenahme gut geeignet zu sein. Während dieser Zeit lässt sich Intersex bei den Männchen ebenfalls gut erfassen.
- Eine Beprobung reiferer Ovarien besitzt außerdem den Vorteil, dass sich eine Atresie bei großen, dotterreichen Eizellen deutlich leichter und sicherer makroskopisch diagnostizieren lässt.

Bei der histologischen Untersuchung von Ovarien wurden häufiger neben atretischen PO-Follikeln ebenfalls degenerierte Oocyten beobachtet. Allerdings lässt sich wegen der stichprobenartigen Anwendung der histologischen Methode keine Aussage zur Häufigkeit eines gemeinsamen Vorkommens von degenerierten PO-Follikeln und Oocyten in Bezug auf alle Ovarien einer Probe treffen.

Abschließend bleibt zu betonen, dass die vorliegende und die ehemalige Untersuchung der Ovarien, auch unabhängig vom Vorkommen der natürlichen atretischen PO-Follikel, ein weit verbreitetes Vorkommen einer wahrscheinlich durch Stressfaktoren hervorgerufenen Follikel/Oocyten-Atresie bei Aalmuttern in den deutschen Küstengewässern dokumentiert haben.

#### 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Wie mehrjährige Untersuchungen in Mecklenburg-Vorpommern (IFAÖ, 2007) und die 2006 im Auftrag der Umweltprobenbank in Nord- und Ostsee durchgeführte Studie (Gercken, 2007) ergeben hatten, weisen die in den deutschen Küstengewässern lebenden Aalmuttern (*Zoarces viviparus*) ein verbreitetes Vorkommen von Störungen der Gonadenentwicklung auf. So wurde bei männlichen Tieren unerwartet häufig Intersex (Zwittergonade) und bei den Weibchen Degenerationen von Eizellen bzw. Follikeln im Ovar (Atresie) ermittelt. Das Auftreten von Intersex gilt als Indiz für eine Exposition der Tiere mit hormonell (endokrin) wirkenden Schadstoffen, während ein gehäuftes Vorkommen von atretischen Eizellen als unspezifischer Indikator für Umweltstress anzusehen ist.

Vor diesem Hintergrund werden im vorliegenden Bericht die Ergebnisse einer 2008 im Auftrag der Umweltprobenbank (UPB) durchgeführten Untersuchung zur Häufigkeit von Gonadenstörungen bei männlichen und weiblichen Aalmuttern im Bereich der deutschen Nord- und Ostseeküste vorgestellt. Mit dieser Studie sollten die Befunde von im Jahr 2006 im Auftrag der UPB durchgeführten Gonadenuntersuchungen ergänzt und in regionaler Hinsicht erweitert werden.

Die Beprobung der Aalmuttern erfolgte im Frühjahr 2008 mit Hilfe ortsansässiger Fischer durch Mitarbeiter des Fachbereichs Biogeographie der Universität Trier. In der Nordsee lagen die Probenahmeorte im Wattenmeer bei Borkum, Varel-Mellum, Büsum und Sylt, in der Ostsee im Mündungsbereich der Schlei und am Darßer Ort (Tab. 1). Bei den Stationen Varel-Mellum, Büsum und Darßer Ort handelt es sich um reguläre Stationen des jährlichen UPB-Monitorings, während die anderen Standorte speziell für die vorliegende Untersuchung ausgewählt wurden. In der ersten Gonadenstudie 2006 der UPB waren nur Aalmuttern von den drei UPB-Stationen untersucht worden. Um die Kenntnisse zur zeitlichen Entwicklung der Hoden- und Ovarreife zu erweitern, wurde der Probenahmeort Varel-Mellum im Zeitraum März bis Mai dreimalig beprobt.

Die gefangenen Aalmuttern wurden von den Probenehmern der Universität sezirt und die *in toto* fixierten Gonaden anschließend dem Institut für Angewandte Ökologie GmbH (IfAÖ) zur Durchführung der vorliegenden Studie übergeben. Die Hoden der männlichen Aalmuttern wurden in Kunstharz eingebettet und nach Anfertigung von Schnittpräparaten histologisch hinsichtlich des Reifegrades, des Vorkommens von Intersex und weiterer auffälliger Veränderungen untersucht.

Wie die histologische Analyse der Gonadenreife von männlichen Aalmuttern ergab, wiesen die Hodentubuli im März und zum Teil auch im April vorwiegend Spermatocysten mit frühen Keimzellstadien (Spermatocyten) auf. Im Mai wurden häufiger Spermatozoen und bereits ein geringer Anteil reifer Spermien ermittelt. Die Hoden der zuletzt im Juni und Juli bei Sylt bzw. am Darßer Ort beprobten Aalmuttern enthielten fast immer reife Spermien in den Lumina der Tubuli.

Männliche Aalmuttern mit Intersex (Zwittergonade, Ovotestis) wurden an allen Standorten in Nord- und Ostsee ermittelt. Die Intersexualität war überwiegend geringgradig ausgeprägt mit lediglich vereinzelt im normal entwickelten Hodengewebe eingestreuten Oocyten. Die

Oocyten wiesen immer das frühe Entwicklungsstadium einer „primären“ Oocyte auf. Bei Varel (März, April) und Sylt traten die höchsten Intersex-Prävalenzen mit Werten von 40% bis 44% auf. In den Proben von Büsum und Darßer Ort wiesen jeweils 32% der Männchen Intersex auf, während es bei Borkum, der Schlei und bei Varel (April) 28%, 20% bzw. 8% waren. Interessanterweise wurden bei den im späteren Frühjahr beprobten Aalmuttern häufiger primäre Oocyten im Zustand der Auflösung und Resorption in den Intersex-Hoden beobachtet als bei den frühen Proben.

Um die Intensität von Intersex regional zu vergleichen, wurde für jede betroffene Aalmutter ein Intersex-Index (IS-Index) errechnet. Dabei zeigte sich, dass die bei Büsum und Borkum gefangenen Männchen im Durchschnitt die höchsten IS-Indizes aufwiesen. An den Stationen Varel, Sylt, Schlei und Darßer Ort wies die Ausprägung von Intersex im Mittel ein vergleichbares Niveau auf.

Die Gonaden weiblicher Aalmuttern wurden makroskopisch mittels einer Binokularlupe und/oder anhand von histologischen Präparaten analysiert. Wie die Ermittlung der Ovarreife ergab, befanden sich im März und April die am weitesten entwickelten Eizellen im frühen bis mittleren Stadium der Dottereinlagerung (Vitellogenese). Auch im Mai dominierte insgesamt gesehen noch ein mittleres Vitellogenese-Stadium, während das Endstadium der Oocyten-Entwicklung erst im Juni häufig vorkam. Nur im Mündungsbereich der Schlei wurden zum Teil bereits im April Aalmuttern mit auffällig dotterreichen Eizellen angetroffen.

Degenerative Veränderungen von Follikeln/Oocyten wurden sehr häufig in allen Probenahmegebieten in Nord- und Ostsee beobachtet. Makroskopisch und histologisch traten die Degenerationen in unterschiedlicher Ausprägung auf. Es handelte sich aber immer um verschiedene Formen von Atresie, d.h. um einen physiologisch gesteuerten Abbau- und Resorptionsprozess des Follikels und der Oocyte.

Bei Weibchen von den Stationen Varel (März, April, Mai), Büsum und Schlei kamen atretische Follikel/Oocyten mit einer sehr hohen Prävalenz von ca. 90% bis 100% vor. An den Stationen Borkum, Sylt und Darßer Ort war ihre Häufigkeit mit 58%, 46% und 63% zwar geringer, aber letztendlich immer noch weit verbreitet. Der Schweregrad der degenerativen Veränderungen war an den Stationen mit höherer Prävalenz im Mittel stärker ausgeprägt, als an den übrigen Standorten.

Wie eine Recherche der wissenschaftlichen Literatur ergab, ist davon auszugehen, dass es sich bei einem Teil der makroskopisch deutlich sichtbaren degenerativen Veränderungen um so genannte „postovulatorische Follikel“ (PO-Follikel) handelte. Aufgrund von histologischen Befunden wird vermutet, dass die PO-Follikel nach der Ovulation der Eizelle eine Rolle bei der maternalen-embryonalen Nährstoffversorgung der im Ovar befindlichen Larven spielen. Nach dem Ende der Tragzeit bilden sich die PO-Follikel im Frühjahr zurück, während gleichzeitig neue Follikel/Eizellen heranreifen.

Dies bedeutet, dass bei Aalmuttern, die bereits mindestens einmal Nachwuchs hatten, gleichzeitig „alte“ atretische PO-Follikel als auch z.B. durch Stress induzierte atretische Degenerationen von Follikel/Oocyten im Ovar auftreten können, wobei sich beide Phänomene allein anhand einer makroskopischen Befundung nicht sicher von einander unterscheiden lassen.

Insofern ist davon auszugehen, dass die sehr hohen Atresie-Prävalenzen an den Stationen Varel, Büsum und Schlei in einem nicht näher bekannten Ausmaß auch die Anwesenheit der „natürlicherweise“ vorkommenden atretischen PO-Follikel widerspiegeln. Dieser Sachverhalt ändert jedoch nicht grundsätzlich den allgemeinen Befund eines verbreiteten

und häufigen Vorkommens von atretischen präovulatorischen Follikeln und Oocyten bei Aalmuttern in den deutschen Küstengewässern.

Insgesamt betrachtet hat die vorliegende Gonadenuntersuchung die Ergebnisse der 2006 durchgeführten ersten UPB-Studie bestätigt. Mit der regionalen Erweiterung der Studie wurde außerdem gezeigt, dass Intersex und Ovar-Degenerationen bei Aalmuttern kein lokales Phänomen sind, sondern vielmehr weit verbreitet in den deutschen Küstengewässern vorkommen.

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Intersex-Prävalenzen umfassen eine ähnliche Spannweite wie sie im Verlauf von mehreren Feldstudien bei Aalmuttern aus den Küstengewässern von Mecklenburg-Vorpommern ermittelt wurde (Gercken & Sordyl, 2002; IfAÖ, 2007). Hinsichtlich der Ausprägung von Intersex wurden bei Aalmuttern aus der Ostsee gelegentlich ein größerer Anteil an testikulären Oocyten beobachtet als dies bei beiden UPB-Studien der Fall war. Im Allgemeinen erwies sich die Intensität von Intersex aber als geringgradig ausgeprägt. Es besteht somit Grund zu der Annahme, dass die Fähigkeit zur Fortpflanzung durch die wenigen Oocyten im ansonsten normal entwickelten Hodengewebe nicht beeinträchtigt wird.

Über die Relevanz der Atresie-Befunde für die Reproduktion lässt sich nicht so einfach urteilen. Aufgrund ihrer lebendgebärenden Fortpflanzungsweise bietet die Aalmutter aber die Möglichkeit, den Reproduktionserfolg in Gebieten mit einer unterschiedlichen Häufigkeit von Atresie zu untersuchen.

Letztendlich fehlen für eine fundierte Bewertung der Intersex- und Atresie-Befunde weiterhin Vergleichsdaten aus anderen, anthropogen gering belasteten Regionen. Diesbezüglich ist demnächst eine Verbesserung der Datenlage zu erwarten, da das Institut für Angewandte Ökologie GmbH derzeit im Ostseeraum im Rahmen zweier EU-geförderter BONUS-Verbundprojekte Untersuchungen zum Vorkommen von Intersex und Atresie bei Aalmuttern durchführt. Unter anderem stammen die Proben von Stationen, die im Rahmen des schwedischen Küstenmonitorings als „Referenzstationen“ eingestuft werden. Insofern ist zu erwarten, dass die ermittelten Intersex- und Atresie-Häufigkeiten als „natürliche Hintergrundwerte“ zum Vergleich der hiesigen Daten herangezogen werden können.

Aus den Befunden der vorliegenden Studie ergeben sich für das Monitoring der biologischen Endpunkte Intersex und Atresie folgende Empfehlungen hinsichtlich des bevorzugten Probenahmezeitraums.

- Aufgrund der potenziellen Resorption von testikulären Oocyten im späteren Frühjahr, sollte die Probenahme männlicher Aalmuttern vorzugsweise im Zeitraum von Ende April bis Anfang Juni erfolgen.
- Bei weiblichen Aalmuttern ist eher ein später Beprobungstermin anzustreben, um eine potenzielle Verwechslung von degenerierten post-ovulatorischen Follikeln mit atretischen Oocyten/Follikeln zu vermeiden. Außerdem lässt sich bei einem reiferen Ovar mit dotterreichen Eizellen eine Atresie der Oocyten leichter und sicherer diagnostizieren. Eine Beprobung im Zeitraum von Mitte Mai bis Mitte Juni wird als optimal angesehen.
- Da letztendlich nur ein zeitgleiches Monitoring beider Geschlechter praktikabel ist, sollte der Beprobungszeitraum so gewählt werden, dass die Ovarien bereits reif genug sind, um eine sichere makroskopische Ansprache atretischer Degenerationen zu ermöglichen.

Abschließend bleibt festzustellen, dass Gonadenuntersuchungen an Aalmuttern eine praktikable und sinnvolle Ergänzung des routinemäßigen biologischen Schadstoffmonitorings der UPB darstellen. Sie ermöglichen die Erfassung von Stress- und Schadstoffeffekten auf der Ebene der Reproduktion. Die Argumente für die besondere Eignung von Gonadenuntersuchungen im Rahmen der UPB wurden bereits im Bericht der ersten Gonaden-Studie genannt. Sie sind nachfolgend noch einmal aufgeführt:

- Die histologische Analyse von Hoden und Ovar führt zu keinem „Interessenkonflikt“ mit anderen Aufgaben der Umweltprobenbank, da die Gonaden der Aalmutter weder für rückstandsanalytische noch andere, wirkungsbezogene Untersuchungen genutzt werden.
- Die Gonadenproben lassen sich mit relativ geringem Aufwand bei der routinemäßigen Sektion der Tiere im Rahmen der jährlichen Beprobung sammeln und fixieren. Der bevorzugte Zeitraum für die Untersuchung der Gonaden (Mai-Juni) deckt sich mit dem Zeitraum der regulären Beprobung durch die Umweltprobenbank.
- Im Vergleich mit anderen histologischen Veränderungen lässt sich Intersex relativ leicht anhand eines standardisierten Auswertungsschemas (im Sinne einer SOP) quantifizieren, so dass ein objektiver Vergleich von Stichproben möglich ist.
- Im Gegensatz zu Biomarkern auf der molekularen Ebene stehen Intersex und Atresie in einem Bezug zur Reproduktion. Wiederholte histologische Untersuchungen können zum Erkennen von Trends dienen.
- Der durch Fang und Hälterung der Tiere unvermeidlich hervorgerufene Stress führt nicht zu schnellen Veränderungen der histologischen Gonadenstruktur. Die Probenintegrität bleibt erhalten. Außerdem besitzen histologische Methoden grundsätzlich den Vorteil, dass sich fixierte oder bereits eingebettete Proben gut lagern und bei Bedarf retrospektiv histopathologisch untersuchen lassen.

## 5 Tabellenanhang

Tab. 13: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Borkum

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	IS-Index	Intersex
2	21.05.2008	52,2	20,5	4		
7	21.05.2008	57,3	21,5	3		
8	21.05.2008	68,2	22,5	3		
9	21.05.2008	56,3	21,5	5		
10	21.05.2008	43,7	20,5	3		
11	21.05.2008	41,3	20,5	4		
13	21.05.2008	40,7	19,0	3		
14	21.05.2008	44,8	20,0	4	0,89	geringgradig
15	21.05.2008	48,8	20,0	3		
18	21.05.2008	36,0	19,0	3		
19	21.05.2008	40,2	19,5	3	0,61	geringgradig
20	21.05.2008	28,6	17,0	4		
21	21.05.2008	20,0	16,0	4	1,39	
24	26.05.2008	50,2	21,0	5		
26	26.05.2008	34,4	19,0	4	0,39	geringgradig
27	26.05.2008	78,8	24,5	5	0,17	sehr geringgradig
29	26.05.2008	34,7	18,0	5		
30	26.05.2008	21,1	16,0	5	0,06	sehr geringgradig
31	26.05.2008	20,2	15,5	5		
39	26.05.2008	21,0	15,5	4		
40	26.05.2008	39,6	18,5	4		
41	26.05.2008	20,2	15,3	5		
43	26.05.2008	44,8	20,8	4		
45	26.05.2008	19,8	16,0	4		
49	26.05.2008	22,0	15,9	4	0,06	sehr geringgradig
	<b>MW±STABW</b>	<b>39,9 ± 15,8</b>	<b>18,9 ± 2,5</b>	<b>4,00 ± 0,76</b>	<b>0,51 ± 0,50</b>	

Tab. 14: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Varel-Mellum [März-Beprobung]

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	IS-Index	Intersex
2	27.03.2008	23,6	18,0	2	0,11	sehr geringgradig
3	27.03.2008	39,6	20,5	2	0,44	geringgradig
5	27.03.2008	16,9	15,5	2	0,06	sehr geringgradig
6	27.03.2008	13,3	14,5	2		
10	27.03.2008	9,6	14,0	2		
11	27.03.2008	10,9	13,5	2		
14	27.03.2008	9,2	13,0	2		
21	27.03.2008	10,4	13,5	2	0,17	sehr geringgradig
24	31.03.2008	18,1	17,5	2		
25	31.03.2008	31,9	19,0	2	0,17	sehr geringgradig
27	31.03.2008	22,1	17,5	2	0,06	sehr geringgradig
29	31.03.2008	37,1	21,0	2		
30	31.03.2008	19,8	16,5	2		
32	31.03.2008	17,8	19,0	2	0,06	sehr geringgradig
33	31.03.2008	34,0	19,5	2	1,22	geringgradig
35	31.03.2008	21,5	17,5	2		
37	31.03.2008	15,7	16,5	2	0,11	sehr geringgradig
42	31.03.2008	9,9	15,0	2	0,11	sehr geringgradig
43	31.03.2008	22,6	18,0	2		
46	31.03.2008	21,3	19,5	2		
47	31.03.2008	23,1	17,5	2		
48	31.03.2008	15,0	17,5	2		
49	31.03.2008	9,1	13,0	2		
51	31.03.2008	14,8	17,5	2		
52	31.03.2008	10,7	15,0	2		
	<b>MW±STABW</b>	<b>18,7 ± 8,9</b>	<b>16,7 ± 2,4</b>	<b>2,00 ± 0,00</b>	<b>0,25 ± 0,36</b>	

Tab. 15: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Varel-Mellum [April-Beprobung]

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	IS-Index	Intersex
5	15.04.2008	23,2	17,0	2		
6	15.04.2008	24,1	18,5	2		
9	15.04.2008	35,0	21,0	2		
10	15.04.2008	28,1	18,0	2	0,17	sehr geringgradig
11	15.04.2008	27,5	17,0	2		
13	15.04.2008	55,0	23,5	2		
17	15.04.2008	28,3	18,0	2		
19	15.04.2008	32,0	20,0	2		
21	15.04.2008	18,1	16,0	2		
23	15.04.2008	30,9	18,0	2		
24	15.04.2008	29,5	17,5	2		
27	15.04.2008	15,6	14,5	2		
28	15.04.2008	12,9	13,5	2		
29	15.04.2008	12,8	13,5	2		
31	15.04.2008	20,8	16,0	2		
32	15.04.2008	24,5	18,0	2		
33	15.04.2008	18,5	16,0	2		
35	15.04.2008	19,5	15,5	2		
36	15.04.2008	22,3	16,5	2		
39	15.04.2008	24,0	16,0	2		
41	15.04.2008	21,7	17,5	2		
44	15.04.2008	11,7	13,5	2		
45	15.04.2008	10,8	13,5	2		
46	15.04.2008	21,5	17,0	2	0,22	sehr geringgradig
48	15.04.2008	16,0	16,0	2		
	<b>MW±STABW</b>	<b>22,0 ± 9,3</b>	<b>16,5 ± 2,4</b>	<b>2,00 ± 0,00</b>	<b>0,19 ± 0,04</b>	

Tab. 16: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Varel-Mellum [Mai-Beprobung]

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Alter	Reife-status	IS-Index	Intersex
4	13.05.2008	28,9	18,0	2	3	0,33	geringgradig
6	13.05.2008	44,1	20,5	1	3	0,83	geringgradig
9	13.05.2008	40,2	20,0	2	3		
14	13.05.2008	32,0	17,5	1	3	0,06	sehr geringgradig
15	13.05.2008	39,3	19,0	2	4		
16	13.05.2008	26,8	18,0	2	3		
23	13.05.2008	41,0	18,5	2	3	0,17	sehr geringgradig
25	13.05.2008	44,1	20,0	2	3		
26	13.05.2008	26,2	16,5	2	4		
27	13.05.2008	38,3	19,0	2	3		
31	13.05.2008	32,4	18,5	2	3		
32	13.05.2008	26,6	18,0	2	3		
33	13.05.2008	28,7	18,0	3	3		
34	13.05.2008	23,7	16,5	2	3		
35	13.05.2008	28,4	16,5	2	3		
36	13.05.2008	27,3	17,0	2	3	0,22	sehr geringgradig
38	13.05.2008	32,4	19,0	2	3	0,11	sehr geringgradig
41	13.05.2008	24,2	17,0	2	3	0,11	sehr geringgradig
42	13.05.2008	28,8	18,0	1	3	0,06	sehr geringgradig
43	13.05.2008	24,4	17,0		3		
44	13.05.2008	36,6	19,5		3	0,56	
45	13.05.2008	20,8	15,5		3		
46	13.05.2008	22,8	16,5		3		
48	13.05.2008	24,6	15,0		3		
53	13.05.2008	27,0	17,5		3	0,67	
56	13.05.2008	30,8	19,0		3	0,33	
59	13.05.2008	28,8	18,5		3		
	<b>MW±STABW</b>	<b>30,4 ± 7,3</b>	<b>17,9 ± 1,5</b>	<b>1,9 ± 0,4</b>	<b>3,08 ± 0,28</b>	<b>31 ± 0,26</b>	

**Tab. 17: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Büsum**

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Alter	Reife-status	IS-Index	Intersex
1	06.05.2008	40,9	20,5		3		
2	06.05.2008	18,8	15,5	1	3	0,39	geringgradig
3	06.05.2008	31,9	19,5	2	3		
6	06.05.2008	14,9	15,5	1	3		
7	06.05.2008	14,4	15,0	1	2		
9	06.05.2008	45,4	21,5	2	2		
12	06.05.2008	16,3	15,0	1	3		
13	06.05.2008	17,5	15,0	1	2		
15	06.05.2008	27,0	18,5	2	3	0,11	sehr geringgradig
16	06.05.2008	21,2	16,5	1	3	0,56	geringgradig
17	06.05.2008	23,4	17,0	2	2	0,44	geringgradig
18	06.05.2008	20,8	16,0	1	3	0,11	sehr geringgradig
21	06.05.2008	19,4	16,0	1	3	1,89	moderat
22	06.05.2008	16,2	15,0	1	3		
24	06.05.2008	17,7	15,5	1	3		
25	06.05.2008	30,3	17,0	2	3		
26	06.05.2008	28,9	19,0	2	3		
27	06.05.2008	18,6	16,0	1	3		
28	06.05.2008	27,8	17,5	1	3	2,11	moderat
29	06.05.2008	33,7	20,0	3	3		
30	06.05.2008	29,5	18,0	1	3	1,44	geringgradig
31	06.05.2008	17,0	15,0	1	3		
32	06.05.2008	18,3	16,0	1	3		
33	06.05.2008	45,8	20,5	2	3		
34	06.05.2008	38,1	20,0	2	3		
	<b>MW±STABW</b>	<b>25,2 ± 9,4</b>	<b>17,1 ± 2,1</b>	<b>2,84 ± 0,37</b>	<b>1,4 ± 0,6</b>	<b>0,88 ± 0,81</b>	

Tab. 18: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Sylt [List]

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	IS-Index	Intersex
1	21.05.2008	16,7	15,0	4	0,06	sehr geringgradig
5	22.05.2008	12,5	14,5	3		
7	22.05.2008	20,4	16,0	3		
8	22.05.2008	12,0	13,5	3		
9	22.05.2008	27,7	17,5	4		
12	27.06.2008	20,8	16,5	5		
13	27.06.2008	17,4	16,0	5		
15	27.06.2008	15,5	15,5	5		
16	27.06.2008	27,7	18,5	5		
20	27.06.2008	27,5	18,0	5		
23	27.06.2008	31,5	18,0	5		
25	27.06.2008	26,5	18,0	5	0,39	geringgradig
26	27.06.2008	28,2	10,5	5		
27	27.06.2008	21,3	17,0	5		
28	27.06.2008	27,1	18,0	5	0,06	sehr geringgradig
31	27.06.2008	38,3	20,0	5		
32	27.06.2008	29,5	19,0	5	0,61	geringgradig
33	27.06.2008	22,7	17,0	4	0,22	sehr geringgradig
35	27.06.2008	27,4	17,5	5	0,22	sehr geringgradig
36	27.06.2008	20,1	17,0	5	0,50	geringgradig
39	27.06.2008	41,0	20,5	5	0,06	sehr geringgradig
43	27.06.2008	18,1	16,0	5	0,06	sehr geringgradig
44	27.06.2008	24,8	17,5	5	0,17	sehr geringgradig
47	27.06.2008	32,2	17,5	3		
50	27.06.2008	23,9	18,5	5		
	<b>MW±STABW</b>	<b>24,8 ± 7,0</b>	<b>17,0 ± 2,0</b>	<b>4,56 ± 0,77</b>	<b>0,23 ± 0,20</b>	

**Tab. 19: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Schlei**

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	IS-Index	Intersex
1	22.04.2008	80,2	24,0	3	1,78	geringgradig
3	22.04.2008	135,5	31,0	3	0,06	sehr geringgradig
5	22.04.2008	47,5	24,4	3	0,06	sehr geringgradig
8	22.04.2008	57,9	22,0	3		
10	22.04.2008	82,6	25,0	3		
13	22.04.2008	77,7	25,0	3		
16	22.04.2008	61,4	22,5	3	0,17	sehr geringgradig
24	22.04.2008	59,6	22,0	3		
25	22.04.2008	88,6	26,5	3	0,17	sehr geringgradig
26	22.04.2008	84,8	25,0	3		
28	22.04.2008	74,8	24,5	3		
33	22.04.2008	75,7	25,5	2		
39	22.04.2008	80,9	25,5	2		
44	22.04.2008	68,4	24,0	3		
45	22.04.2008	67,4	23,0	3		
46	22.04.2008	72,5	25,0	3		
49	22.04.2008	80,5	25,5	4		
50	22.04.2008	91,4	26,5	3		
51	22.04.2008	56,4	23,0	2		
53	22.04.2008	74,6	25,0	3		
54	22.04.2008	64,1	23,5	3		
55	22.04.2008	80,3	25,5	3		
56	22.04.2008	65,3	23,5	3		
58	22.04.2008	69,1	23,5	2		
59	22.04.2008	61,7	23,5	3		
	<b>MW±STABW</b>	<b>74,3 ± 15,8</b>	<b>24,6 ± 1,7</b>	<b>2,88 ± 0,44</b>	<b>0,44 ± 0,75</b>	

**Tab. 20: Biometrische Daten und Vorkommen von Intersex bei männlichen Aalmuttern der Station Darßer Ort**

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Alter	Reifestatus	IS-Index	Intersex
1	17.06.2008	109,0	28,5	2	4		
16	17.06.2008	61,0	24,5	1	4		
20	17.06.2008	83,7	26,5	2	4		
25	17.06.2008	146,0	30,0	2	4	1,39	geringgradig
31	17.06.2008	63,3	24,0	1	4		
32	17.06.2008	53,0	22,0	1	4		
33	17.06.2008	87,5	26,5	1	4		
35	17.06.2008	62,5	24,5	1	4		
36	17.06.2008	108,0	27,0	2	4	0,06	sehr geringgradig
38	17.06.2008	66,3	25,0	2	4		
39	17.06.2008	116,5	30,0	2	4	0,33	geringgradig
44	17.06.2008	39,5	20,0	1	4		
45	17.06.2008	63,4	25,0	1	4		
46	17.06.2008	41,5	21,0	1	4	0,11	sehr geringgradig
47	17.06.2008	34,0	19,0	1	4		
51	15.07.2008	65,9	24,5		5		
53	15.07.2008	79,0	24,5		5	0,33	
55	15.07.2008	80,5	27,0		5		
56	15.07.2008	60,0	24,5		5		
58	15.07.2008	57,0	24,0		5	0,11	sehr geringgradig
60	15.07.2008	47,7	23,0		5	0,06	sehr geringgradig
61	15.07.2008	59,5	23,5		5	0,28	sehr geringgradig
62	15.07.2008	66,5	24,0		5		
63	15.07.2008	81,2	27,0		5		
64	15.07.2008	65,7	25,0		5		
	<b>MW±STABW</b>	<b>72,9 ± 26,7</b>	<b>25,0 ± 2,8</b>	<b>1,4 ± 0,50</b>	<b>4,40 ± 0,50</b>	<b>0,33 ± 0,44</b>	

Tab. 21: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Borkum

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	Atresie
1	21.05.2008	53,6	20,5	3	1
3	21.05.2008	53,1	21,5	2	2
4	21.05.2008	48,4	20,5	2	1
5	21.05.2008	69,4	22,5	2	2
6	21.05.2008	70,9	23,0	3	3
12	21.05.2008	52,5	20,5	2	1
16	21.05.2008	45,2	20,5	3	1
17	21.05.2008	55,8	21,5	2	3
22	26.05.2008	53,1	21,0	3	0
25	26.05.2008	49,8	20,0	3	0
28	26.05.2008	77,9	23,5	3	1
32	26.05.2008	70,6	24,0	3	1
33	26.05.2008	50,6	21,5	3	0
34	26.05.2008	32,0	18,5	3	1
35	26.05.2008	42,3	19,5	3	0
36	26.05.2008	69,9	23,5	3	0
37	26.05.2008	29,1	18,0	3	0
42	26.05.2008	58,3	21,7	3	0
44	26.05.2008	90,2	25,4	3	0
46	26.05.2008	39,2	19,5	3	1
47	26.05.2008	27,5	17,8	3	0
48	26.05.2008	27,3	17,4	3	0
50	26.05.2008	42,4	19,7	3	0
51	26.05.2008	37,8	19,3	2	1
52	26.05.2008	32,3	17,6	3	1
	<b>MW±STABW</b>	<b>51,2 ± 16,6</b>	<b>20,7 ± 2,1</b>	<b>2,8 ± 0,4</b>	<b>1,43 ± 0,76</b>

**Tab. 22: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Varel-Mellum [März-Beprobung]**

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	Atresie
4	27.03.2008	18,5	16,0	2	1
7	27.03.2008	12,7	14,5	2	1
8	27.03.2008	14,3	14,0	2	2
9	27.03.2008	13,2	14,0	2	0
12	27.03.2008	18,7	16,0	2	3
13	27.03.2008	15,1	13,0	1	nicht bewertbar
15	27.03.2008	10,7	14,5	2	2
16	27.03.2008	13,6	14,5	2	1
19	27.03.2008	10,9	14,0	2	2
20	27.03.2008	17,9	16,0	2	3
22	31.03.2008	60,6	23,0	2	3
26	31.03.2008	81,3	30,0	2	3
28	31.03.2008	36,6	22,5	2	3
31	31.03.2008	11,3	14,5	2	3
34	31.03.2008	18,0	16,0	2	2
36	31.03.2008	13,9	11,5	2	1
38	31.03.2008	11,7	14,5	2	2
39	31.03.2008	13,5	16,0	2	1
40	31.03.2008	13,7	16,0	2	3
41	31.03.2008	13,6	15,0	2	2
44	31.03.2008	47,6	23,0	2	3
45	31.03.2008	46,5	23,5	2	3
50	31.03.2008	18,6	17,5	2	1
54	31.03.2008	16,9	16,5	2	0
	<b>MW±STABW</b>	<b>22,9 ± 18,2</b>	<b>16,9 ± 4,3</b>	<b>2,0 ± 0,2</b>	<b>2,14 ± 0,85</b>

Tab. 23: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Varel-Mellum [April-Beprobung]

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	Atresie
1	15.04.2008	52,3	21,5	2	2
2	15.04.2008	39,8	20,5	2	3
3	15.04.2008	52,3	20,5	2	3
4	15.04.2008	50,4	23,0	2	3
7	15.04.2008	41,2	20,5	2	3
8	15.04.2008	41,5	19,0	2	3
12	15.04.2008	51,9	20,5	2	2
14	15.04.2008	47,4	21,0	2	2
15	15.04.2008	39,0	19,0	2	3
16	15.04.2008	34,3	20,0	2	2
18	15.04.2008	34,0	19,5	2	3
20	15.04.2008	28,2	19,0	2	3
22	15.04.2008	39,7	20,0	2	3
25	15.04.2008	28,8	17,5	2	2
26	15.04.2008	25,3	19,5	2	3
30	15.04.2008	10,3	13,0	2	3
34	15.04.2008	20,8	18,0	2	3
37	15.04.2008	13,2	15,0	2	3
38	15.04.2008	20,1	16,5	2	3
40	15.04.2008	16,8	14,5	2	2
42	15.04.2008	18,1	15,0	2	3
43	15.04.2008	22,4	16,0	2	3
47	15.04.2008	20,2	18,0	2	2
50	15.04.2008	15,8	15,5	2	2
51	15.04.2008	12,6	14,5	2	3
58	15.04.2008	11,9	13,5	2	0
60	23.04.2008	66,8	24,5	2	3
61	23.04.2008	55,1	23,0	2	3
62	23.04.2008	53,7	22,5	2	3
63	23.04.2008	53,7	21,0	2	3
	<b>MW±STABW</b>	<b>33,9 ± 16,2</b>	<b>18,7 ± 3,0</b>	<b>2,0 ± 0,0</b>	<b>2,72 ± 0,45</b>

Tab. 25: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Varel-Mellum [Mai-Beprobung]

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Alter	Reifestatus	Atresie
1	13.05.2008	45,1	20,0	2	2	2
2	13.05.2008	53,1	21,5	1	2	2
3	13.05.2008	52,0	21,5	1	2	2
5	13.05.2008	34,9	17,5	3	2	3
7	13.05.2008	42,9	19,5	2	2	3
8	13.05.2008	51,7	21,0	1	2	1
10	13.05.2008	34,0	17,5	2	2	3
11	13.05.2008	35,1	19,0	2	2	2
12	13.05.2008	49,2	21,0	2	2	2
13	13.05.2008	43,7	21,0	2	2	2
17	13.05.2008	64,4	23,0	2	1	2
18	13.05.2008	48,2	21,0	1	1	2
19	13.05.2008	39,4	20,0	2	2	3
21	13.05.2008	34,2	19,0	3	2	1
22	13.05.2008	49,7	21,0	1	2	3
24	13.05.2008	44,6	22,0	2	1	2
28	13.05.2008	59,0	22,5	2	2	3
29	13.05.2008	36,2	19,5	2	2	3
30	13.05.2008	35,5	19,0	2	2	3
37	13.05.2008	58,1	21,5	2	2	3
39	13.05.2008	38,1	19,0	2	2	2
40	13.05.2008	30,1	17,5	2	2	2
41	13.05.2008	24,2	17,0	1	2	3
47	13.05.2008	26,3	17,5	2	2	3
49	13.05.2008	30,3	17,5	2	2	2
50	13.05.2008	23,3	17,0	2	1	1
51	13.05.2008	23,2	17,0	2	1	2
52	13.05.2008	36,9	19,5	2	1	2
54	13.05.2008	27,6	17,5	2	2	2
55	13.05.2008	29,2	19,0	2	1	2
	<b>MW±STABW</b>	<b>40,0 ± 11,3</b>	<b>19,6 ± 1,8</b>	<b>1,9 ± 05</b>	<b>1,8 ± 0,4</b>	<b>2,27 ± 0,64</b>

**Tab. 26: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Büsum**

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Alter	Reifestatus	Atresie
4	06.05.2008	25,7	16,5	1	2	3
5	06.05.2008	26,5	17,5	1	2	3
8	06.05.2008	23,0	16,5	1	2	3
10	06.05.2008	54,2	21,0	2	2	3
11	06.05.2008	53,3	21,0	2	2	2
14	06.05.2008	34,5	19,5	1	2	3
19	06.05.2008	38,5	19,5	2	2	2
20	06.05.2008	42,6	20,5	2	2	3
23	06.05.2008	22,7	16,5	1	2	3
36	06.05.2008	31,7	18,5	1	2	2
37	06.05.2008	38,6	19,5	2	2	3
40	06.05.2008	30,4	19,0	1	2	3
41	06.05.2008	39,6	19,5	2	2	3
43	06.05.2008	81,0	25,0	2	2	0
44	06.05.2008	28,3	18,0	1	2	3
45	06.05.2008	60,3	23,0	2	2	3
47	06.05.2008	25,7	17,0	1	2	2
49	14.05.2008	52,7	23,0	2	2	3
50	14.05.2008	53,1	23,0	2	2	3
51	14.05.2008	65,9	23,0	2	2	2
52	14.05.2008	29,6	18,0	2	2	2
53	14.05.2008	46,0	21,0	2	3	1
54	14.05.2008	43,8	21,0	2	2	3
55	14.05.2008	49,7	21,5	2	2	3
56	14.05.2008	57,1	21,5	2	2	3
57	14.05.2008	43,6	21,5	2	2	3
58	14.05.2008	53,0	23,0	1	2	2
60	14.05.2008	44,6	21,0	2	2	2
68	14.05.2008	32,1	20,0		2	3
70	14.05.2008	24,6	17,0		2	1
	<b>MW±STABW</b>	<b>41,7 ± 14,3</b>	<b>20,1 ± 2,3</b>	<b>1,6 ± 0,5</b>	<b>2,0 ± 0,2</b>	<b>2,59 ± 0,63</b>

Tab. 27: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Sylt/List

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	Atresie
2	21.05.2008	20,0	17,0	2	2
3	22.05.2008	43,5	19,0	3	2
4	22.05.2008	22,1	17,0	2	2
6	22.05.2008	26,5	16,5	2	3
10	27.06.2008	57,0	21,0	3	1
11	27.06.2008	59,9	22,0	3	0
14	27.06.2008	53,0	21,5	2	1
17	27.06.2008	38,2	19,5	3	1
18	27.06.2008	70,6	22,5	3	2
19	27.06.2008	79,5	24,5	3	1
21	27.06.2008	32,1	19,5	3	0
22	27.06.2008	37,3	20,0	3	0
24	27.06.2008	34,1	20,0	3	0
29	27.06.2008	73,1	24,0	3	0
30	27.06.2008	76,8	24,0	3	0
34	27.06.2008	36,0	19,5	3	1
37	27.06.2008	41,1	20,5	3	0
38	27.06.2008	25,8	17,5	3	0
40	27.06.2008	28,4	18,5	3	0
41	27.06.2008	37,7	21,0	3	1
42	27.06.2008	66,0	22,5	3	1
45	27.06.2008	63,3	23,0	3	0
46	27.06.2008	64,2	24,0	3	0
48	27.06.2008	18,3	15,0	3	0
49	27.06.2008	28,3	18,0	3	0
51	27.06.2008	30,6	18,5	3	0
	<b>MW±STABW</b>	<b>44,7 ± 19,1</b>	<b>20,2 ± 2,6</b>	<b>2,8 ± 0,4</b>	<b>1,50 ± 0,67</b>

Tab. 28: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Schlei

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Reifestatus	Atresie
2	22.04.2008	92,4	26,0	2	3
4	22.04.2008	94,2	24,5	2	3
6	22.04.2008	92,4	25,5	2	3
7	22.04.2008	131,9	29,0	2	3
9	22.04.2008	57,4	21,0	2	3
11	22.04.2008	69,7	23,0	2	3
14	22.04.2008	62,9	23,0	3	1
15	22.04.2008	62,2	23,5	3	1
17	22.04.2008	125,3	29,5	3	3
18	22.04.2008	69,4	24,0	3	2
19	22.04.2008	119,7	28,0	2	3
20	22.04.2008	108,2	26,5	3	3
21	22.04.2008	102,0	25,5	2	3
22	22.04.2008	112,4	27,5	2	3
23	22.04.2008	114,6	28,5	2	3
27	22.04.2008	67,5	23,5	3	2
29	22.04.2008	68,3	23,0	2	2
30	22.04.2008	70,2	24,0	3	2
31	22.04.2008	89,2	26,5	2	3
32	22.04.2008	56,2	22,5	3	3
34	22.04.2008	86,0	26,0	2	3
35	22.04.2008	68,4	23,5	2	3
36	22.04.2008	83,0	25,5	2	2
37	22.04.2008	72,6	24,5	2	3
38	22.04.2008	85,8	25,5	2	2
40	22.04.2008	63,9	23,0	2	2
41	22.04.2008	81,7	26,0	2	3
42	22.04.2008	49,2	21,5	2	2
43	22.04.2008	64,0	23,5	2	2
47	22.04.2008	89,4	24,5	3	1
	<b>MW±STABW</b>	<b>83,7 ± 22,1</b>	<b>24,9 ± 2,2</b>	<b>2,3 ± 0,5</b>	<b>2,50 ± 0,68</b>

**Tab. 29: Biometrische Daten und Vorkommen von Atresie bei weiblichen Aalmuttern der Station Darßer Ort**

Nr.	Datum	Gewicht [g]	Länge [cm]	Alter	Reifestatus	Atresie
2	17.06.2008	162,5	31,0	2	2	3
3	17.06.2008	164,0	30,5	2	3	2
4	17.06.2008	129,5	30,0	2	3	0
5	17.06.2008	160,0	32,0	2	3	2
6	17.06.2008	89,0	25,5	2	3	0
7	17.06.2008	63,5	25,0	1	3	0
8	17.06.2008	64,0	24,0	2	3	0
9	17.06.2008	87,5	28,5	1	3	1
10	17.06.2008	67,5	25,5	1	2	2
11	17.06.2008	49,5	24,0	1	3	1
12	17.06.2008	55,5	23,0	1	3	1
13	17.06.2008	40,0	20,0	1	2	2
14	17.06.2008	54,5	23,0	1	3	0
15	17.06.2008	62,5	24,5	1	2	0
17	17.06.2008	54,5	22,5	1	3	1
18	17.06.2008	45,5	21,0	1	2	1
19	17.06.2008	157,0	31,5	2	3	0
21	17.06.2008	117,5	27,5	2	3	1
22	17.06.2008	203,0	35,0	2	3	2
23	17.06.2008	183,0	32,5	2	3	2
24	17.06.2008	139,0	30,0	2	3	1
26	17.06.2008	102,5	28,5	1	3	0
27	17.06.2008	64,0	25,5	1	3	1
28	17.06.2008	65,0	25,0	1	3	0
29	17.06.2008	78,2	26,0	1	3	0
30	17.06.2008	60,0	23,5	1	3	0
34	17.06.2008	76,0	26,0	1	2	1
37	17.06.2008	68,3	25,0	2	3	1
40	17.06.2008	114,0	29,5	2	3	3
41	17.06.2008	84,5	26,5	1	2	3
	<b>MW±STABW</b>	<b>95,4 ± 46,1</b>	<b>26,7 ± 3,7</b>	<b>1,4 ± 0,5</b>	<b>2,8 ± 0,4</b>	<b>1,63 ± 0,76</b>

## 6 Literaturverzeichnis

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2000) Umweltprobenbank des Bundes – Konzeption. Umweltbundesamt (Hrsg), Berlin.  
<http://www.umweltbundesamt.de/umweltproben/konzept/index.htm>
- De Metrio, G., Corriero, A., Desantis, S., Zubani, D., Cirillo, F., Deflorio, M., Bridges, C.R., Eicker, J., de la Serna, J.M., Megalofonou, P. & Kime, D.E. (2003) Evidence of a high percentage of intersex in the Mediterranean swordfish (*Xiphias gladius* L.) Mar. Poll. Bull. 46: 358-61
- Gercken (2007) Biologisches Effektmonitoring mit Aalmuttern aus Nord- und Ostsee. Histologische Gonadenuntersuchung. Bericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, 35 S.  
<http://anubis.uba.de/wwwupb/servlet/upb>
- Gercken J. & Sordyl H. (2002) Intersex in feral marine and freshwater fish from northeastern Germany. Mar. Environ. Res. 54: 651-655
- Götting, K.J. (1976) Fortpflanzung und Oocyten-Entwicklung bei der Aalmutter (*Zoarces viviparus*). Helgoländer wiss. Meeresuntersuch. 28: 71-89
- IFAÖ (2007) Biologisches Effektmonitoring in Küstengewässern von Mecklenburg-Vorpommern. Pilotstudien 1998-2003. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 135 S.
- Kristoffersson, R., Broberg, S. & Pekkarinen, M. (1973) Histology and physiology of embryotrophe formation, embryonic nutrition and growth in the eelpout, *Zoarces viviparus* (L.), Ann. Zool. Fennici 10: 467-477
- Skov, P.V., Sorensen, Th.F., Ramlov, H. & Steffensen, J.F. (2007) Vascular arrangement and ultrastructure of the European eelpout *Zoarces viviparus* ovary: implication for maternal-embryonic exchange. Anatom. Rec. 290: 1500-1507
- Stentiford, G.D. & Feist, S.W. (2005) First reported cases of intersex (ovotestis) in the flatfish species dab. *Limanda limanda*: Dogger Bank, North Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 301: 307-310
- Stuhlmann, F. (1887) Zur Kenntnis des Ovariums der Aalmutter. Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften. Naturwissenschaftlicher Verein Hamburg 10: 3-48
- Tyler, C.R. & Sumpter, J.P. (1996) Oocyte growth and development in teleosts. Rev. Fish Biol. Fisheries 6: 287-318
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (1996) Umweltprobenbank des Bundes: Verfahrensrichtlinien für Probenahme, Transport, Lagerung und chemische Charakterisierung von Umwelt- und Humanproben. Erich Schmidt Verlag, Berlin.