

## **4 Ergebnisse**

### ***4.1 Bau der Otolithenorgane bei Lachs, Forelle, Scholle, Schwertträger und Sumatra-Barbe***

Bei der Präparation zeigte sich bei allen Fischarten die Einhaltung des bei Vertebraten ubiquitären Bauprinzips des Vestibularorgans mit drei Bogengängen, Ampullen, Utriculus und Sacculus.

Bei allen untersuchten Fischarten waren die Gleichgewichtsorgane beiderseits seitlich in der Schädelgrube positioniert. Wie in der Abbildung zu sehen ist, sind nur Teile der drei Bogengänge von Knorpel ummauert (gestrichelte Linien), alle anderen Anteile liegen frei zur Schädelgrube. Die Trennung hiervon erfolgt durch die Hirnhaut.

Bei der Scholle bestand die Besonderheit, daß der gesamte Schädel mit Inhalt eine 90°-Drehung erfahren hatte und deswegen die Schädeldecke bezogen auf den Fischkörper seitlich angeordnet war. Der Schädel selbst hatte den gleichen Aufbau, wie bei den anderen Fischarten und auch die Gleichgewichtsorgane waren in gleicher Weise darin positioniert.



Abb. 8: Blick auf das rechte Vestibularorgan des Lachses von der Schädelgrube aus nach Entfernen der Hirnhaut.  
 (1) Utriculus mit sichtbarem Otolith, (2) Sacculus – der Otolith ist hinter der Knorpelkante verborgen - und die drei Bogengänge, in ihren gestrichelten Anteilen von Knorpel umgeben.

Auffällig war die sehr unterschiedliche Größe der Vestibularorgane, speziell der Bogengänge und des Vestibulums in Bezug auf Kopf bzw. Körpergröße. Die kleineren Fischarten waren mit einem relativ größeren Vestibularorgan ausgestattet, das fast die Hälfte des Schädels einnahm, so daß sie sich in der Mittellinie fast berührten.

Große morphologische Ähnlichkeiten im Bau der Otolithen zeigten sich bei den verschiedenen Fischarten.

#### 4.2 Masse der Otolithen bei Lachs, Forelle, Scholle, Schwerträger und Sumatra-Barbe

Große Streuungen fanden sich in den absoluten Otolithenmassen von Utriculus und Sacculus bei beiden Fischarten.

mg	Lachs	Forelle	Scholle	Schwertträger	Sumatra-Barbe
<b>Sacculus</b>	10,77 ± 1,35	4,87 ± 0,67	46,259 ± 11,722	1,044 ± 0,348	0,320 ± 0,066
<b>Utriculus</b>	0,188 ± 0,042	0,225 ± 0,038	0,457 ± 0,14	0,064 ± 0,024	0,265 ± 0,051

Tab. 1: Mittlere Otolithenmassen (mg)

Die Sagitta des Lachses wog ohne Berücksichtigung einer Seite 10,77 mg, bei der Forelle 4,87 mg, bei der Scholle 46,26 mg, des Schwerträgers 1,04 mg und der Barbe 0,320 mg.

Der Lapillus des Lachses zeigte eine durchschnittliche Masse von 0,188mg, bei der Forelle ergab sich eine Durchschnittsmasse von 0,225 mg, bei der Scholle von 0,46 mg, beim Schwerträger von 0,06 mg und bei der Barbe eine Durchschnittsmasse 0,265 mg.

Die Quotienten von Körpermasse zur Masse von Lapillus und Sagitta bestätigen deutlich die morphologisch auffälligen Größenverhältnisse von Körpergröße und Größe des Vestibularorgans. Die Otolithen im Sacculus des Lachses waren bei einem 20-fach größeren Körpergewicht nur doppelt so schwer wie bei der Forelle, und im Vergleich zum Schwerträger wogen die Otolithen des Sacculus des Lachses bei einem 1000-fach größeren Körpergewicht nur 10 mal mehr. Die Otolithen in den Utriculi des schwereren Lachses sind leichter als die der Forelle und nur etwas mehr als doppelt so schwer als die des Schwerträgers.

Quotient kg/kg	Lachs	Forelle	Scholle	Schwert- träger	Sumatra- Barbe
<b>KG/ Sacculus</b>	464.252	52.301	10.808	4.789	9.375
<b>KG/ Utriculus</b>	26.595.744	1.111.111	1.094.091	78.125	11,320

Tab. 2: Quotient Körpergewicht(KG)/Sacculus und Utriculus

Alle Meßreihen von Sacculus und Utriculus von allen untersuchten Fischarten verhielten sich normalverteilt.

p-Wert	Lachs	Forelle	Scholle	Schwert- träger	Sumatra- Barbe
<b>Sacculus rechts</b>	0,9484	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999
<b>Sacculus links</b>	0,9442	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999
<b>Utriculus rechts</b>	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999
<b>Utriculus links</b>	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999	> 0,9999

Tab. 3: P-Werte des Kolmogorov-Smirnov Tests.

### **4.3 Einfluß der mechanischen und enzymatischen Reinigung auf die Otolithen**

Nach der mechanischen Reinigung zeigten sich unter der mikroskopischen Kontrolle keine anhaftenden Organreste mehr. Auch nach der zusätzlichen enzymatischen

Reinigung fand sich ein unverändertes Bild der Otolithen und der Feinstruktur der Oberfläche.

Dies ließ sich auch bei einer rasterelektronenmikroskopischen Kontrolle der einzelnen Reinigungsschritte nachweisen.

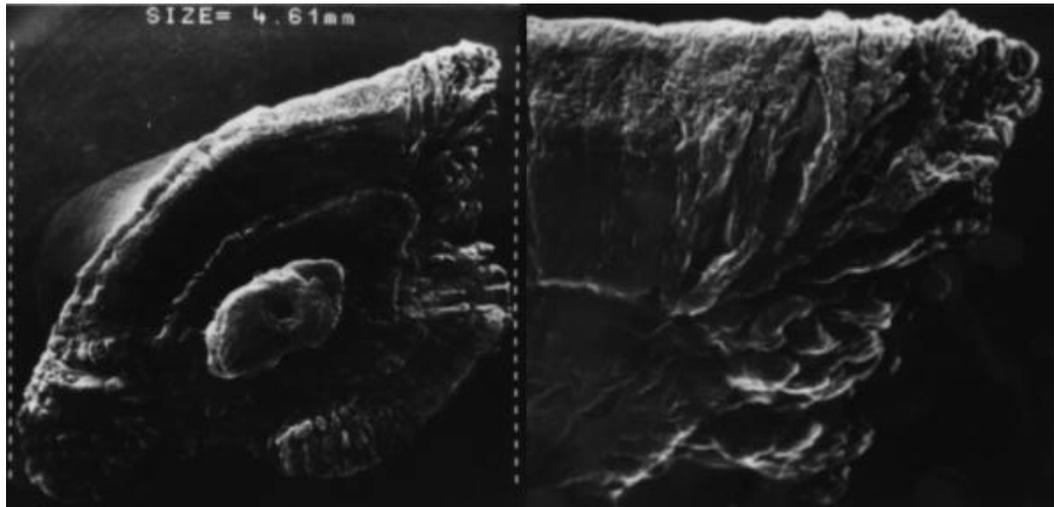


Abb. 9: Rasterelektronenmikroskopie des Otolithen (Sacculus) des Lachses nach mechanischer Reinigung

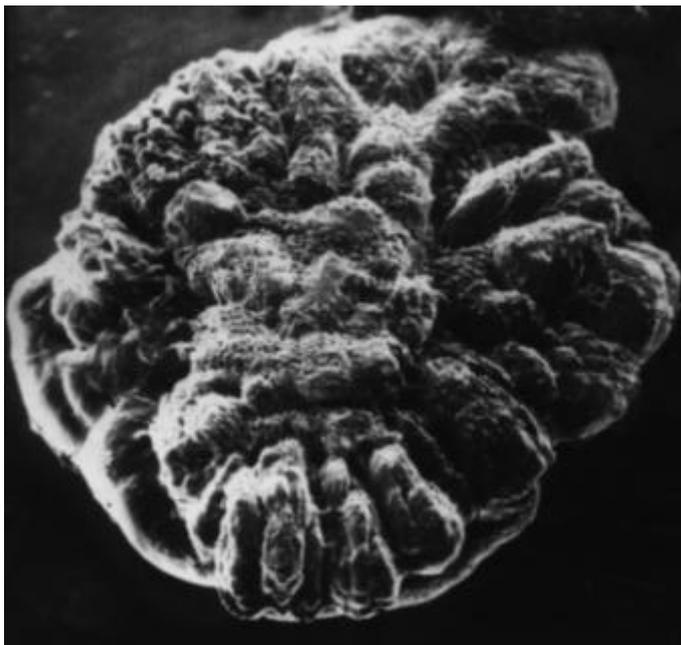


Abb. 10: Otolith (Utriculus) des Lachses nach mechanischer Reinigung

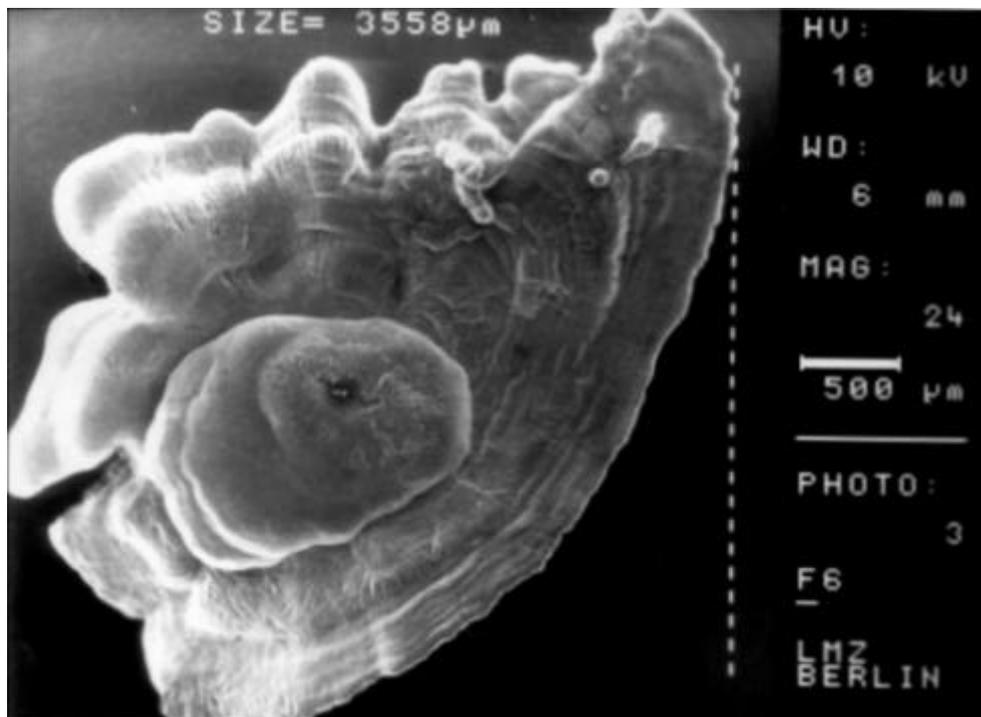


Abb. 11: Otolith (Sacculus) der Forelle nach enzymatischer Reinigung

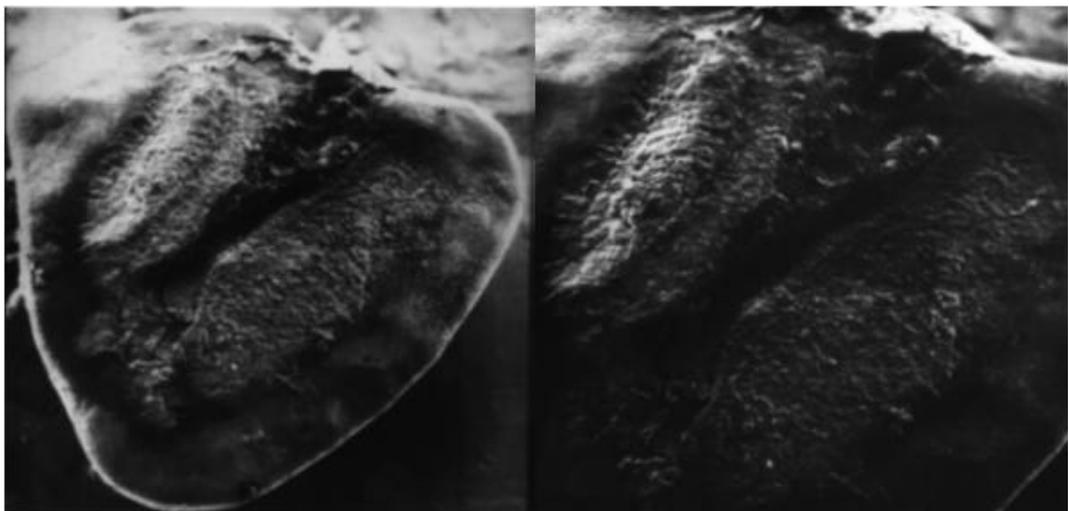


Abb. 12: Otolith (Sacculus) des Schwerträgers nach enzymatischer Reinigung

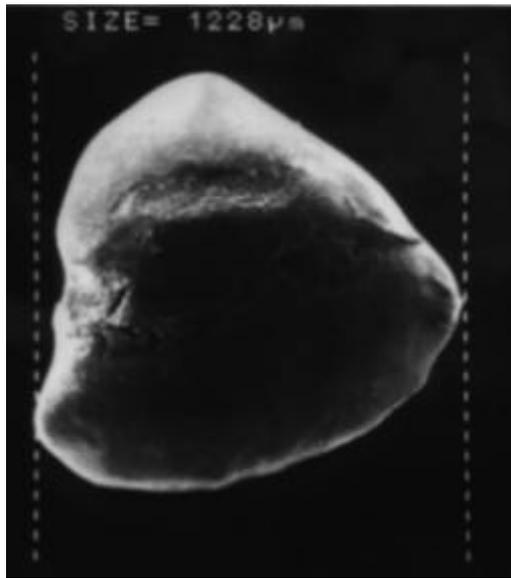


Abb. 13: Otolith (Sacculus) des Schwerträgers (Rückseite) nach enzymatischer Reinigung

Nach erfolgter mechanischer Reinigung ließen sich keine relevanten, die Otolithenmassen beeinflussenden organischen Reste nachweisen.

Der makroskopische und mikroskopische Eindruck wurde durch die Massebestimmung nach enzymatischer Reinigung bestätigt. Die Otolithenmassen differierten vor und nach enzymatischer Reinigung nur unwesentlich. Sie lagen innerhalb des Fehlerbereichs der Meßapparatur.

	<b>vor Reinigung (mg)</b>	<b>nach Reinigung (mg)</b>	<b>Differenz (mg)</b>
1	4,199	4,201	+ 0,002
2	3,830	3,798	- 0,002
3	5,030	5,029	- 0,001
4	5,458	5,458	0,000
5	5,379	5,380	+ 0,001
6	5,778	5,779	+ 0,001
7	0,229	0,301	+ 0,002
8	0,237	0,236	- 0,001
9	0,146	0,146	0,000
10	0,148	0,149	+ 0,001
11	0,235	0,233	- 0,002
12	0,305	0,306	+ 0,001

Tab. 4: Otolithenmassen vor und nach enzymatischer Reinigung

#### 4.4 *Seitenvergleich der Otolithenmasse im Sacculus*

Beim Vergleich der Otolithenmassen vom Sacculus rechts zu links zeigte sich eine gleichmäßige Streuung der Werte im Sinne einer Normalverteilung. Die Werte schwankten bei allen untersuchten Fischarten (Lachs, Forelle, Scholle, Schwerträger und Sumatra-Barbe) gleichmäßig um Null.

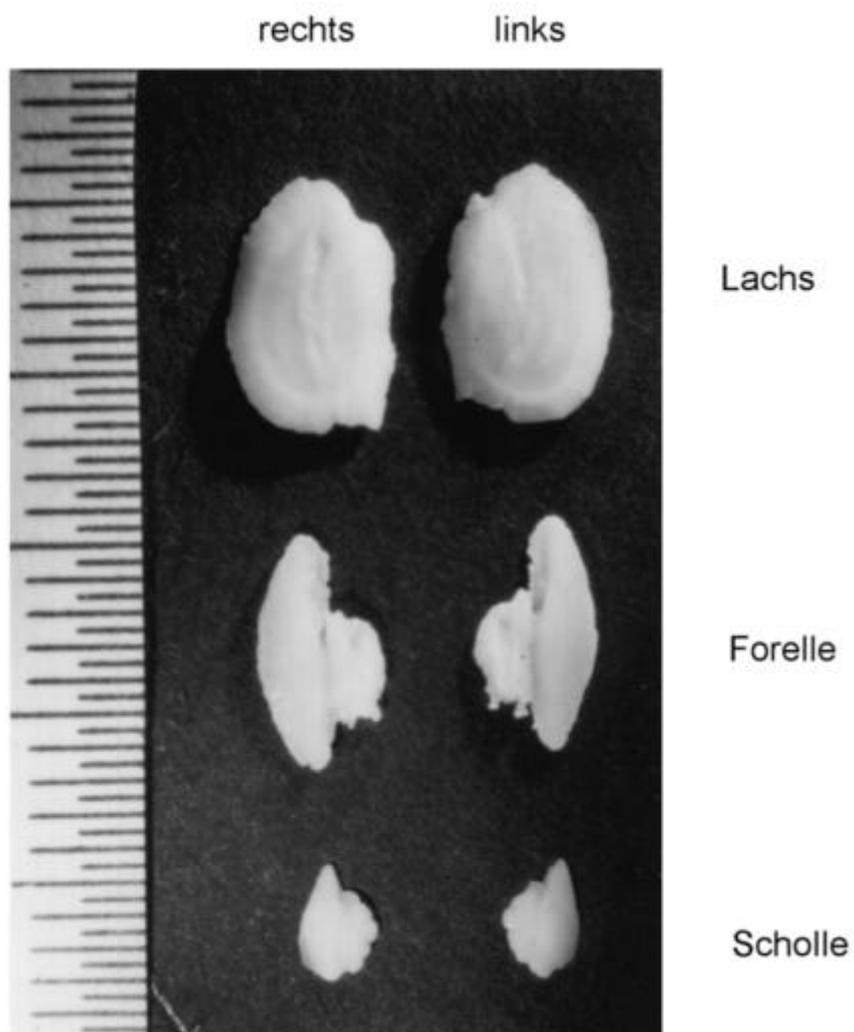


Abb. 14: Otolithen des Sacculus; ein Teilstrich entspricht 1 mm.

Die Seitenabweichung war im Mittel gering mit 5,1 % beim Lachs, 4,4 % bei der Forelle, 6,7 % bei der Scholle, 4,4 % beim Schwertträger und 5,6 % bei der Sumatra-Barbe. Die maximale Seitendifferenz betrug 41 % bei der Scholle.

Sacculus (%)	Lachs	Forelle	Scholle	Schwert-träger	Sumatra-Barbe
<b>Mittlere Abweichung</b>	5,1	4,4	6,684	4,439	5,625
<b>Minimum</b>	0,05	0,04	0,0	0,0	0,31
<b>Maximum</b>	16,7	17,2	41,78	36,78	27,5

Tab. 5: Seitenabweichung der Otolithenmassen des Sacculus

Die Korrelation der Otolithenmassen zwischen rechtem und linkem Sacculus war hochsignifikant. Beim Seitenverhältnis rechts zu links fand sich beim Lachs ein Korrelationskoeffizient von 0,85 ( $p < 0,0001$ ), bei der Forelle 0,89 ( $p < 0,0001$ ), bei der Scholle ein Korrelationskoeffizient von 0,935 ( $p < 0,0001$ ), beim Schwertträger von 0,951 ( $p < 0,0001$ ) und bei der Barbe von 0,873 ( $p < 0,0001$ )

Sacculus	Lachs	Forelle	Scholle	Schwert-träger	Sumatra-Barbe
<b>Korrelations-Koeffizient</b>	0,854	0,892	0,935	0,951	0,873
<b>P</b>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Tab. 6: Korrelation der Otolithenmassen des Sacculus

#### **4.5 Seitenvergleich der Otolithenmasse im Utriculus**

Auch beim Vergleich der Otolithenmassen des Utriculus zwischen rechts und links fand sich eine normalverteilte Streuung der Werte bei allen untersuchten Fischarten.

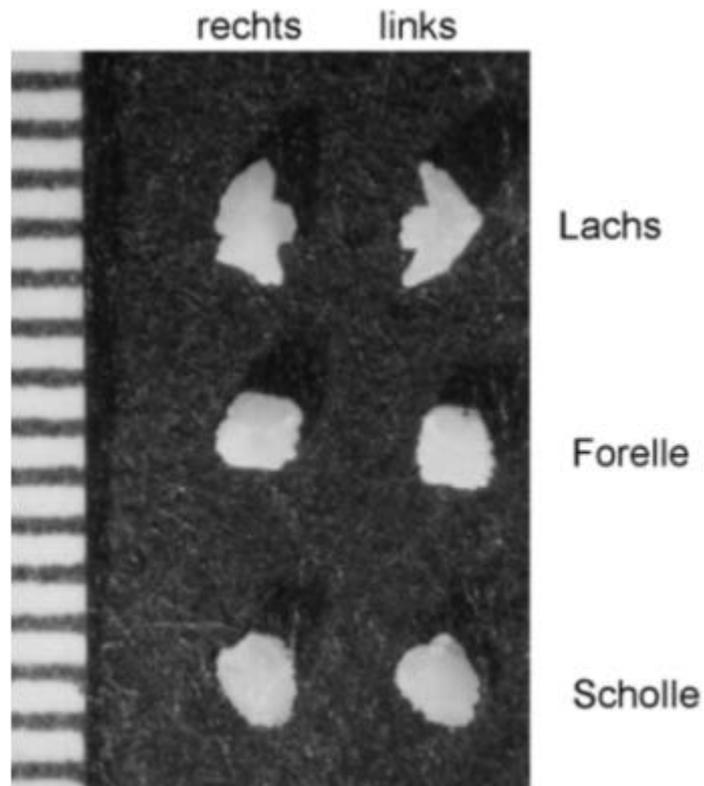


Abb. 15: Otolithen des Utriculus; ein Teilstrich entspricht 1 mm.

Die Massedifferenzen streuten beim Lachs, bei der Forelle, beim Schwertträger und bei der Sumatra-Barbe um Null.

Bei der Scholle zeigte sich hier aber eine Ausnahme. Im Gegensatz zu den Otolithenpaaren der anderen Fische und auch zu dem Sacculus der Scholle konnte im Mittel eine Gewichtsabweichung zugunsten der linken Seite beobachtet werden; unter Berücksichtigung der Körperlage war also der Monolith des unteren Utriculus stets schwerer.

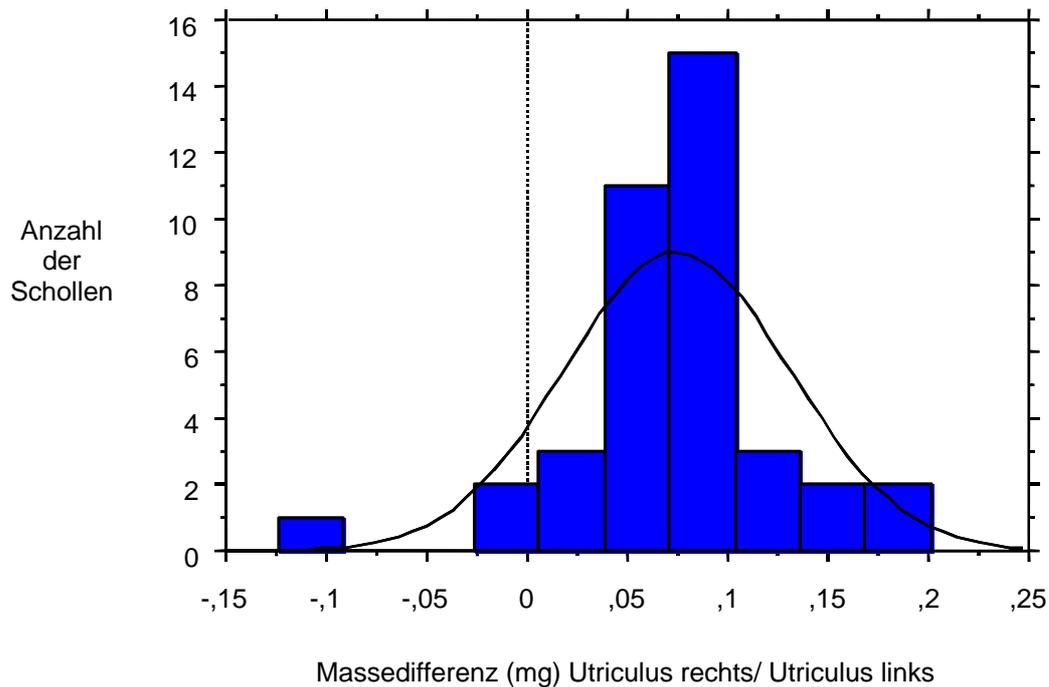


Abb. 16: Verteilung der Otolithenmassendifferenz der Scholle: Rechter Utriculus/linker Utriculus (mg)

Die Seitenabweichung betrug im Mittel 13,6 % beim Lachs, 3,9 % bei der Forelle, 16,33 % bei der Scholle, 14,7 % beim Schwerträger und 7,2 % bei der Sumatra-Barbe. Die minimale Seitenabweichung war sehr gering mit 0-0,4 % bei allen untersuchten Fischarten, im Einzelfall fanden sich aber auch sehr deutliche Abweichungen bei jeder Fischart mit maximal 28 und 30 % bei der Forelle und der Sumatra-Barbe, 37 % bei der Scholle und sogar 75 % beim Lachs und 150 % beim Schwerträger.

Utriculus (%)	Lachs	Forelle	Scholle	Schwert-träger	Sumatra-Barbe
<b>Mittlere Abweichung</b>	13,6	3,9	16,33	14,72	6,8
<b>Minimum</b>	0,4	0	0,2	0,0	0,0
<b>Maximum</b>	75	28,2	37,1	150	30,19

Tab. 7: Seitenabweichung der Masse der Otolithen des Utriculus

Die Otolithen zeigten eine sehr präzise Seitenverteilung ihrer Massen zwischen rechts und links, die hochsignifikant war.

Der Korrelationskoeffizient betrug beim Lachs 0,64 ( $p < 0,0001$ ), bei der Forelle noch deutlicher 0,93 ( $p < 0,0001$ ), bei der Scholle 0,9 ( $p < 0,0001$ ), beim Schwertträger 0,89 ( $p < 0,0001$ ) und bei der Barbe 0,845 ( $p < 0,0001$ ).

Utriculus	Lachs	Forelle	Scholle	Schwert-träger	Sumatra-Barbe
<b>Korrelations-Koeffizient</b>	0,636	0,926	0,900	0,888	0,845
<b>P</b>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Tab. 8: Korrelation der Masse der Otolithen des Utriculus

#### **4.6 Vergleich von Sacculus zu Utriculus**

Beim Vergleich der Massen der Otolithen im Sacculus zu Utriculus jeweils für die rechte und linke Seite getrennt zeigt sich nicht für alle Fischarten immer ein eindeutiger Zusammenhang. Auch sind die Korrelationskoeffizienten erheblich niedriger als beim Seitenvergleich der Otolithenmassen. Von den fünf Fischarten weisen aber insbesondere Scholle und Schwertträger erhöhte Korrelationskoeffizienten auf und haben auf beiden Seiten hochsignifikante Korrelationen von Sacculus zu Utriculus. (siehe Tabelle).

Fischer-z-Transformation		Sacculus rechts, Utriculus rechts	Sacculus links, Utriculus links
<b>Lachs</b> <b>(n=53)</b>	Korrelation	0,401	0,389
	p-Wert	0,027	0,0037
<b>Forelle</b> <b>(n=70)</b>	Korrelation	0,323	0,325
	p-Wert	0,0060	0,057
<b>Scholle</b> <b>(n=39)</b>	Korrelation	0,637	0,618
	p-Wert	< 0,0001	< 0,0001
<b>Schwertträger</b> <b>(n=22)</b>	Korrelation	0,717	0,687
	p-Wert	0,0002	0,0005
<b>Sumatra-Barbe</b> <b>(n=21)</b>	Korrelation	0,503	0,419
	p-Wert	0,0189	0,0581

Tab. 9: Seitengetrennte Korrelation der Otolithenmassen

#### **4.7 Stellung der Otolithen im Kopf**

Zur Beurteilung der Position der Otolithen zum Kopf erfolgte die Röntgendokumentation. Dabei konnten die Otolithen aufgrund ihrer Kalkdichte deutlich im Schädel abgegrenzt werden.

Die Otolithen des Sacculus waren wegen ihrer Größe in den Röntgenaufnahmen immer leicht zu erkennen. Die sichere Identifizierung des Otolithen im Utriculus bei Auftreten von Überlagerungseffekten erfolgte durch Zuhilfenahme von Schrägaufnahmen im 45° Winkel.

Während der Präparation der Otolithenorgane waren in den untersuchten Lachsen, Forellen, Schwertträger und Sumatra-Barben keine größeren Asymmetrien der Stellung der Vestibularorgane aufgefallen.

In den radiologisch kontrollierten Fischen aller Gattungen bestätigte sich diese Beobachtung. In den ersten vier genannten Fischarten projizierten sich die Otolithenorgane genau übereinander, wenn ein exakt seitlicher Strahlengang

gewählt wurde. Im sagittalem Strahlengang ließen sich die einzelnen Otolithenorgane -und hierbei insbesondere der Sacculus- gut darstellen.

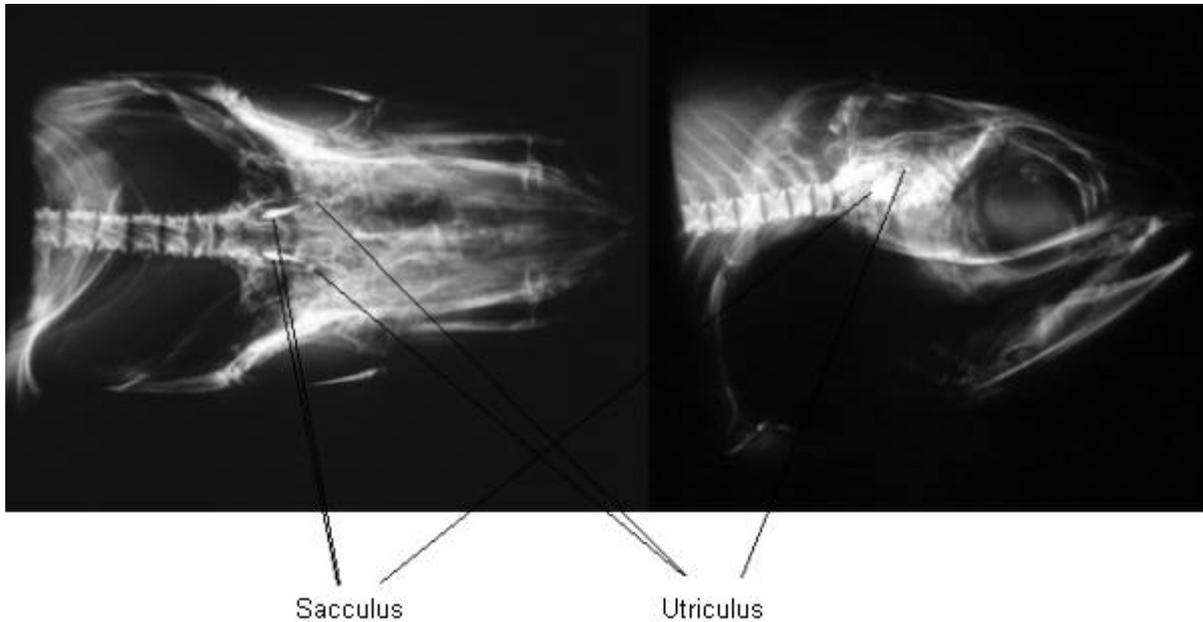


Abb. 17: Röntgenaufnahmen des Kopfes der Forelle im sagittalem und seitlichem Strahlengang

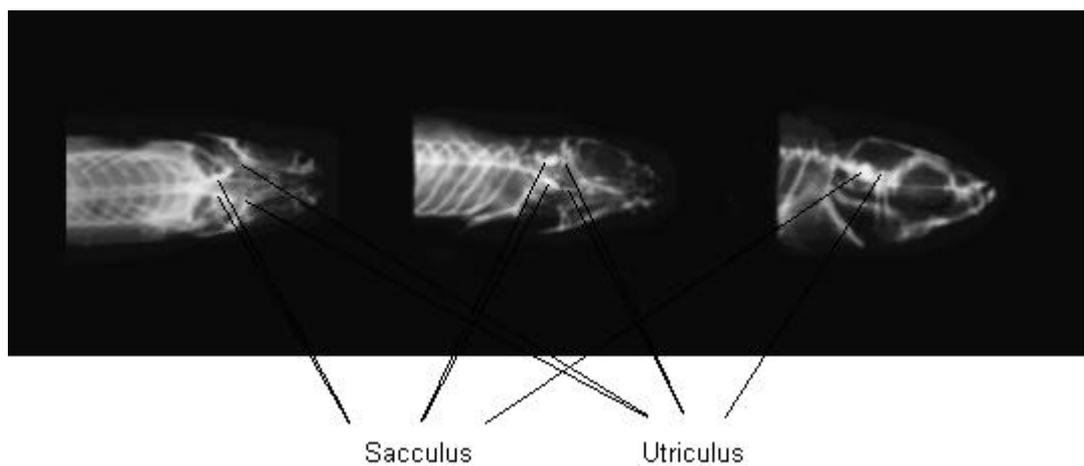


Abb. 18: Röntgenaufnahme des Kopfes des Schwerträgers im sagittalem, 45° Winkel und seitlichen Strahlengang

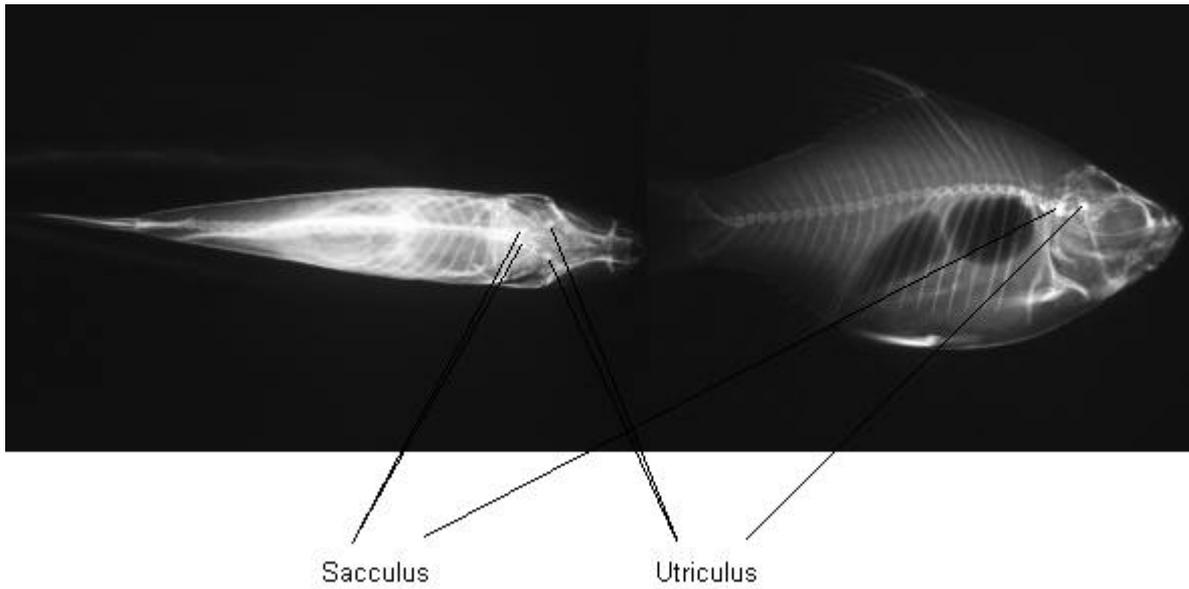


Abb. 19: Röntgenaufnahmen des Kopfes der Sumatra-Barbe im sagittalem und seitlichen Strahlengang

Wie in der Präparation als auch in den Röntgenaufnahmen stellten sich die Otolithenorgane der Scholle in Linksseitenlage dar. Die Seitenlage ist aber nicht vollständig; im sagittalem Strahlengang projizieren sich die Otolithenorgane nicht übereinander, sondern erscheinen versetzt. Die Otolithenorgane der Scholle arbeiten also nicht genau übereinander in Seitenlage.

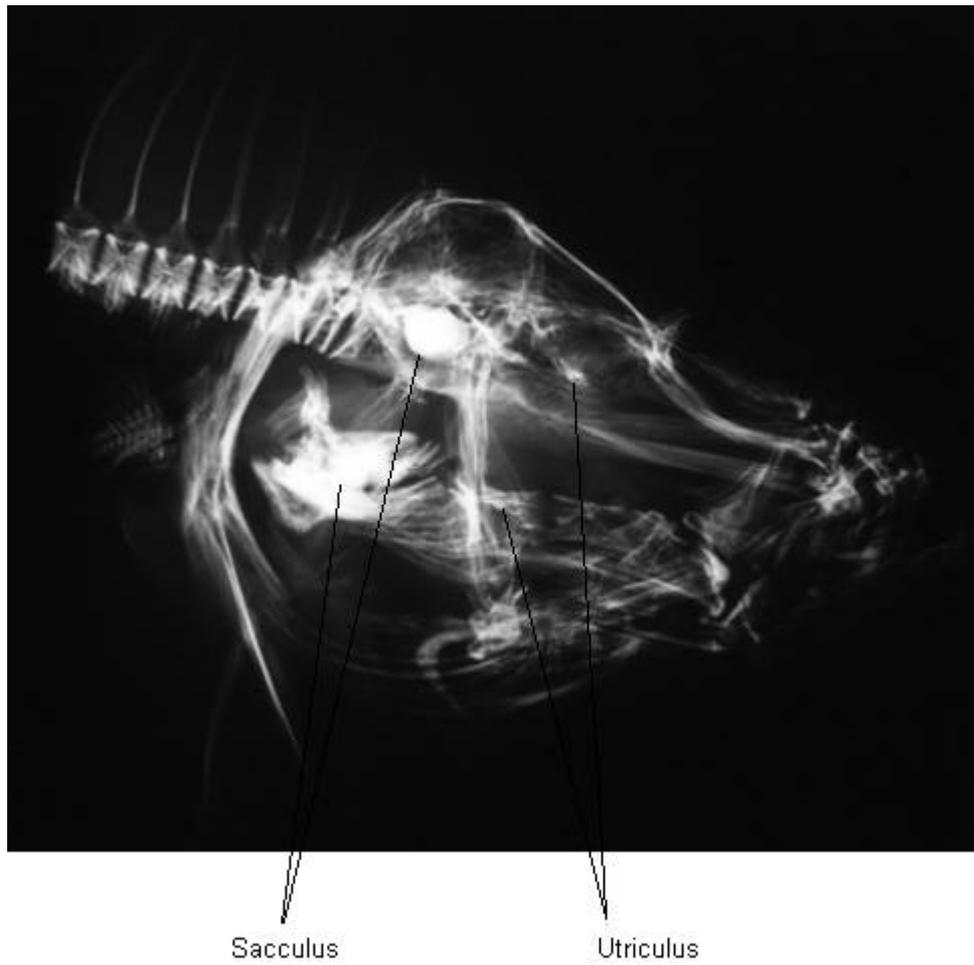


Abb. 20: Röntgenaufnahmen des Kopfes der Scholle im sagittalem Strahlengang

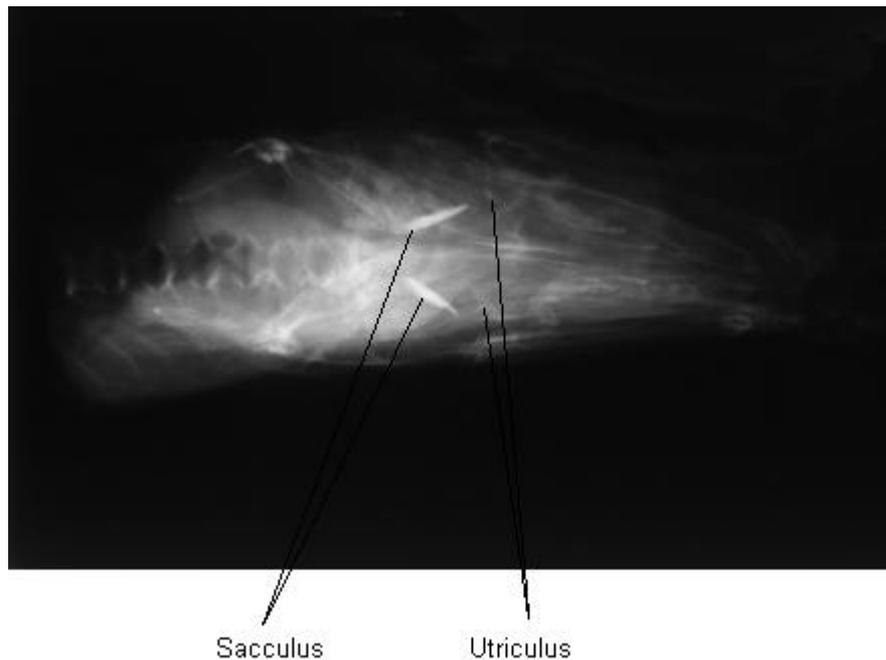


Abb. 21: Röntgenaufnahmen des Kopfes der Scholle im seitlichen Strahlengang

## **4.8 Einfluß der optischen Orientierung beim Fisch auf die räumliche Orientierung**

### 4.8.1 Lichtrückenreflex

In der Versuchsanordnung, in der die Fische eine Position mit dem Kopf nach kaudal ausgerichtet einnehmen mußten, richteten sich alle untersuchten Fische (Schwertträger und Sumatra-Barben) ohne größere Latenz in Richtung der Lichtquelle mit sichtbarem Licht aus.

### 4.8.2 Infrarotbeleuchtung

Beim Test des Lichtrückenreflexes der Schwertträger und Sumatra-Barben mit Infrarotlicht zeigte sich in der Versuchsanordnung, daß nur die Schwertträger sich mit dem Rücken in Richtung der Infrarotlichtquelle ausrichteten, nicht aber die Sumatra-Barben.

### 4.8.3 Multilaterale Beleuchtung

Bei der Beleuchtung der Fische im Winkel von  $45^\circ$  von zwei Seiten mit gleichhellen, sichtbares Licht emittierenden Lichtquellen richteten sie sich mit dem Rücken zwischen den beiden Lichtquellen aus.

Bei der Erhöhung der Helligkeit einer der beiden Lichtquellen kam es konsekutiv bei der Ausrichtung des Fisches zu einem Richtungsüberwiegen zu der stärker beleuchteten Seite.

Bei der Beleuchtung der Fische gleichmäßig von allen Seiten kam es zu keinem regelhaften Ausrichten der Fische in eine Richtung.

## 4.9 Experimentelle Kinetose am Schwerträger

### 4.9.1 Individuell unterschiedliches Schwimmverhalten

22 Schwerträger wurden auf dem Drehstuhl Pseudo-Corioliskräften ausgesetzt. Mit Beginn der Drehpendelprüfung (untere Reizstufe  $60^\circ/\text{sec.}$ ) richteten sich alle Fische mit ihrem Körper gegen die Drehrichtung des Drehstuhls aus. Bei Hinzuschalten einer sinusförmigen Pendelung (untere Reizstufe 0,1 Hz) begannen alle Fische im Rhythmus mit der Pendelung kompensatorische Auf- und Abwärtsschwimmbewegungen zu vollführen.

19 Schwerträger behielten während der gesamten Untersuchung dieses Schwimmuster bei. Unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit (bis  $300^\circ/\text{sec}$ ) schwammen sie kreisförmig gegen die Drehrichtung im Aquarium herum. Bei Veränderung der Pendelfrequenz (zwischen 0,1 und 0,33 Hz) kam es zur Anpassung der kompensatorischen Auf- und Abwärtsschwimmbewegungen. Auch nach Beendigung der Drehpendelreizung behielten die 21 Schwerträger ihr normales Schwimmverhalten bei.

3 Schwerträger wichen während der Untersuchung in ihrem Schwimmverhalten von dem Schwimmuster der anderen 19 ab. Während sie sich zu Beginn der

Untersuchung bei einer niedrigen Reizstärke von den anderen Fischen in ihrem Schwimmverhalten nicht unterschieden, veränderte sich das Schwimmverhalten deutlich bei einer höheren Reizfrequenz.

Bei einer Beschleunigung auf  $240^\circ/\text{sec}$  und einer Pendelbewegung bei 0,2 Hz gaben die Fische ihr aktives Schwimmverhalten auf und wurden passiv im Wasser hin und hergeworfen. Eine Verstärkung der Reizparameter bewirkte danach keine Änderung des Schwimmverhaltens.

Ca. 4 Minuten nach Reduktion der Reizparameter nahmen die so gereizten Schwerträger ihr normales Schwimmverhalten wieder auf.

#### 4.9.2 Korrelation von unterschiedlichem Schwimmverhalten und Differenzen der Otolithengewichte

Bei 2 Schwerträgern, die ein auffälliges Schwimmverhalten während der Drehpendelprüfung gezeigt hatten, fanden sich bei der Präparation sehr dysmorphe Otolithen (siehe Abbildung).

Beim Wiegen zeigte sich, daß die beiden Schwerträger mit den dysmorphen Otolithen auch die jeweils größte Differenz der Massen im Sacculus und Utriculus aufwiesen.

Der dritte Schwerträger, der morphologisch unauffällige Otolithen hatte, wies beim Vergleich der Otolithenmassen eine auffällige Differenz im Utriculus auf, nicht aber im Sacculus.

Alle anderen Schwerträger hatten morphologisch unauffällige Otolithen.

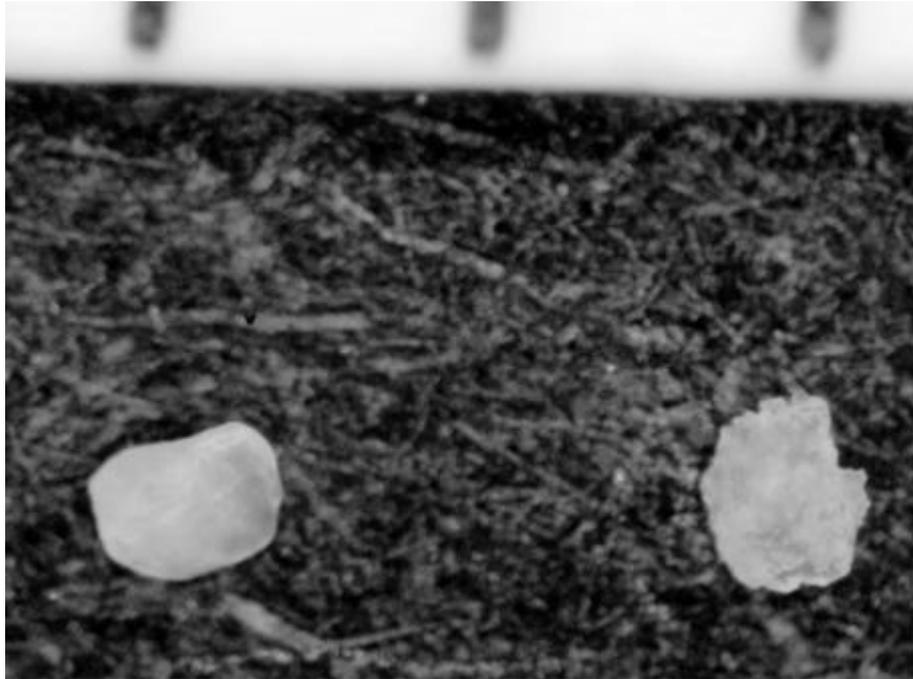


Abb. 22: Rechter und linker dysmorpher Otolith des Utriculus eines kinetosepositiven Schwertträgers; ein Teilstrich entspricht 1 mm

Beim Vergleich der Massedifferenzen von Sacculus und Utriculus zwischen den kinetosepositiven und den kinetosenegativen Fischen mit Hilfe des Mann Whitney Tests zeigte sich, daß eine signifikante Abweichung der Massedifferenzen des Utriculus ( $p=0,007$ ) und des Sacculus ( $p=0,03$ ) bei den kinetosepositiven Fischen bestand.

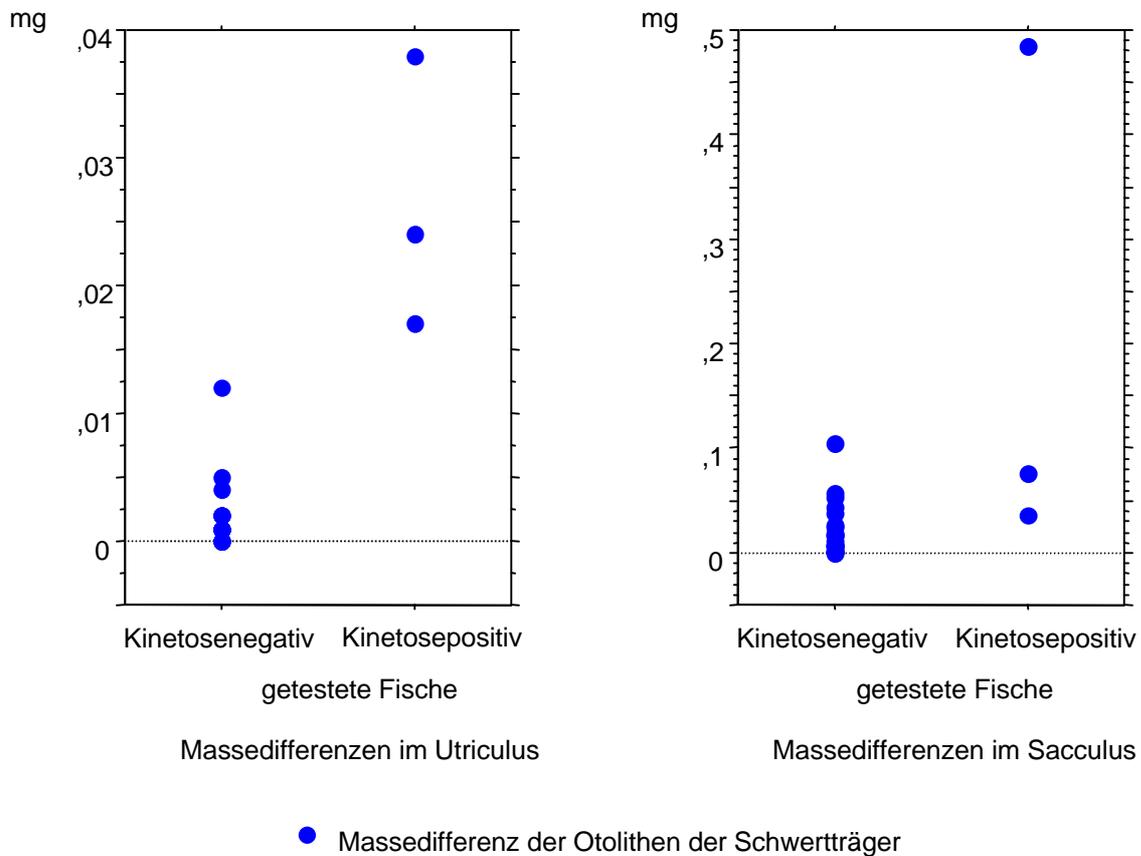


Abb. 23: Graphische Gegenüberstellung der Massedifferenzen der Otolithenorgane von kinetosepositiven und kinetosenegativen Schwerträgern.

#### 4.10 Experimentelle Kinetose an der Sumatra-Barbe

##### 4.10.1 Individuell unterschiedliches Schwimmverhalten

21 Sumatra-Barben wurden auf dem Drehstuhl Corioliskräften ausgesetzt. Mit Beginn der Drehpendelprüfung (untere Reizstufe 60°/sec.) richteten sich alle Barben mit ihrem Körper gegen die Drehrichtung des Drehstuhls aus. Bei Hinzuschalten einer sinusförmigen Pendelung (untere Reizstufe 0,1 Hz) begannen alle Fische im Rhythmus mit der Pendelung kompensatorische Auf- und Abwärtsschwimmbewegungen zu vollführen.

18 Sumatra-Barben behielten während der gesamten Untersuchung dieses Schwimmuster bei. Unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit (bis  $300^\circ/\text{sec}$ ) schwammen sie kreisförmig gegen die Drehrichtung im Aquarium herum. Bei Veränderung der Pendelfrequenz (zwischen 0,1 und 0,33 Hz) kam es zur Anpassung der kompensatorischen Auf- und Abwärtsschwimmbewegungen. Auch nach Beendigung der Drehpendelreizung behielten die Sumatra-Barben ihr normales Schwimmverhalten bei.

3 Sumatra-Barben wichen während der Untersuchung in ihrem Schwimmverhalten von dem Schwimmuster der anderen 18 Barben ab. Während sie sich zu Beginn der Untersuchung bei einer niedrigen Reizstärke von den anderen Fischen in ihrem Schwimmverhalten nicht unterschieden, veränderte sich das Schwimmverhalten deutlich bei einer höheren Reizfrequenz.

Bei einer Beschleunigung auf  $300^\circ/\text{sec}$  und einer Pendelbewegung bei 0,2 Hz mit Infrarotbeleuchtung gaben die drei Fische ihr aktives Schwimmverhalten auf und wurden passiv im Wasser hin und hergeworfen; zum Teil vollführten sie Loopings. Bei der gleichen Reizfrequenz mit sichtbarem Licht behielten die drei Fische ihr normales Schwimmuster mit kompensatorischen Schwimmbewegungen aber bei. Wurde die Reizstärke bei sichtbarem Licht erhöht (Rotation  $300^\circ/\text{sec}$  und 0,33 Hz Pendelung), gaben die Barben ihr normales Schwimmverhalten wieder auf und wurden passiv mitbewegt. Eine Verstärkung der Reizparameter bewirkte danach keine Änderung des Schwimmverhaltens.

Ca. 4 Minuten nach Reduktion der Reizparameter nahmen die so gereizten Sumatra-Barben ihr normales Schwimmverhalten wieder auf.

Das Schwimmverhalten der drei Sumatra-Barben ließ sich immer wieder reproduzieren.

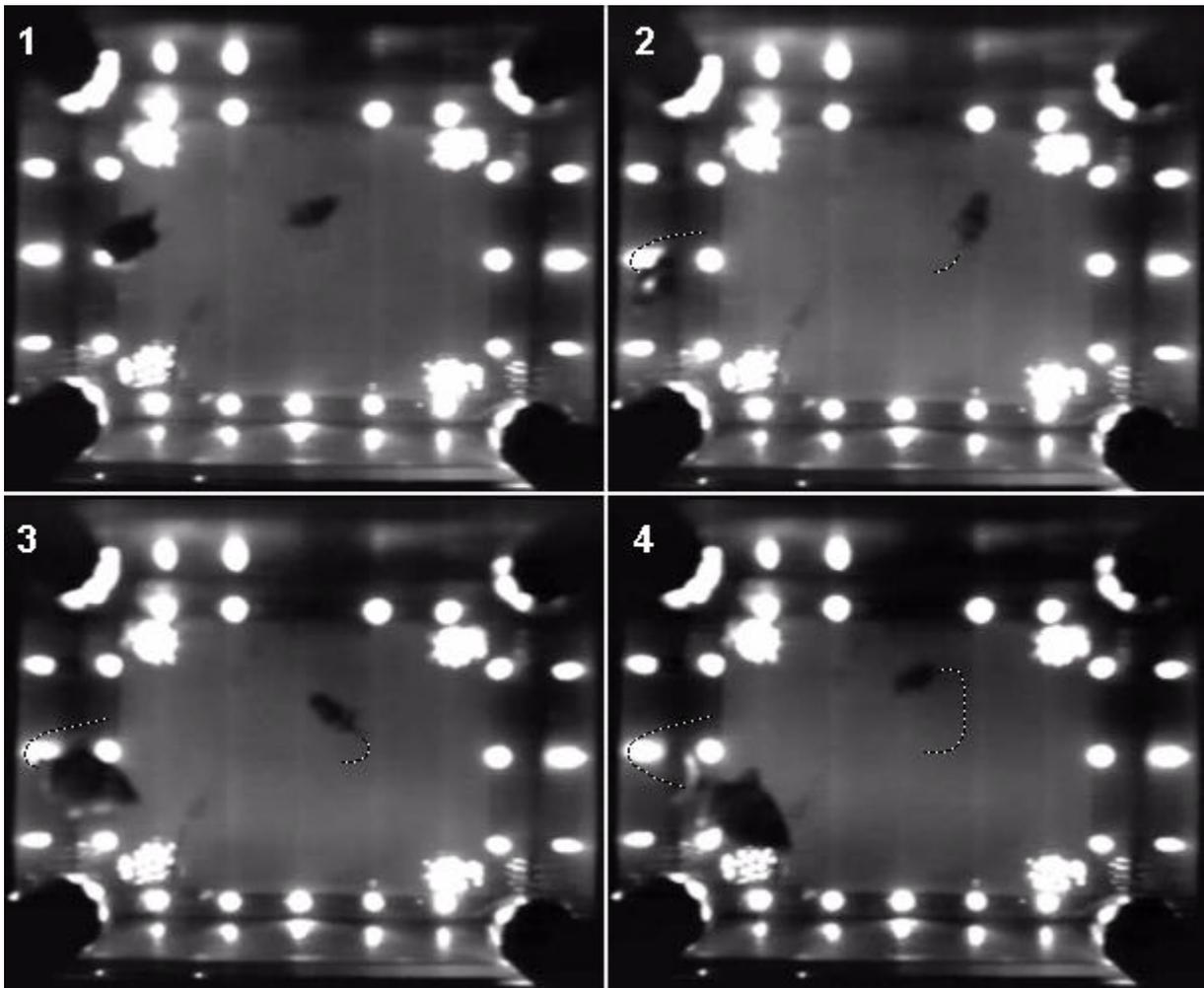


Abb. 24: Bildersequenz (1-4) von 2 Sumatra-Barben bei Rotation des Aquariums mit  $300^\circ/\text{sec}$  und sinusförmige Pendelung mit 0,33 Hz. Beleuchtung des Aquariums mit Infrarot- und sichtbarem Licht von allen 6 Seiten.

Die eingefügten gestrichelten Linien zeigen die Schwimmbahn der beiden Fische. Die große Sumatra-Barbe schwimmt gleichmäßig eine Kreisbahn. Die kleine Barbe wird hin und her geworfen und vollführt Loopings mit dem Bauch nach oben.

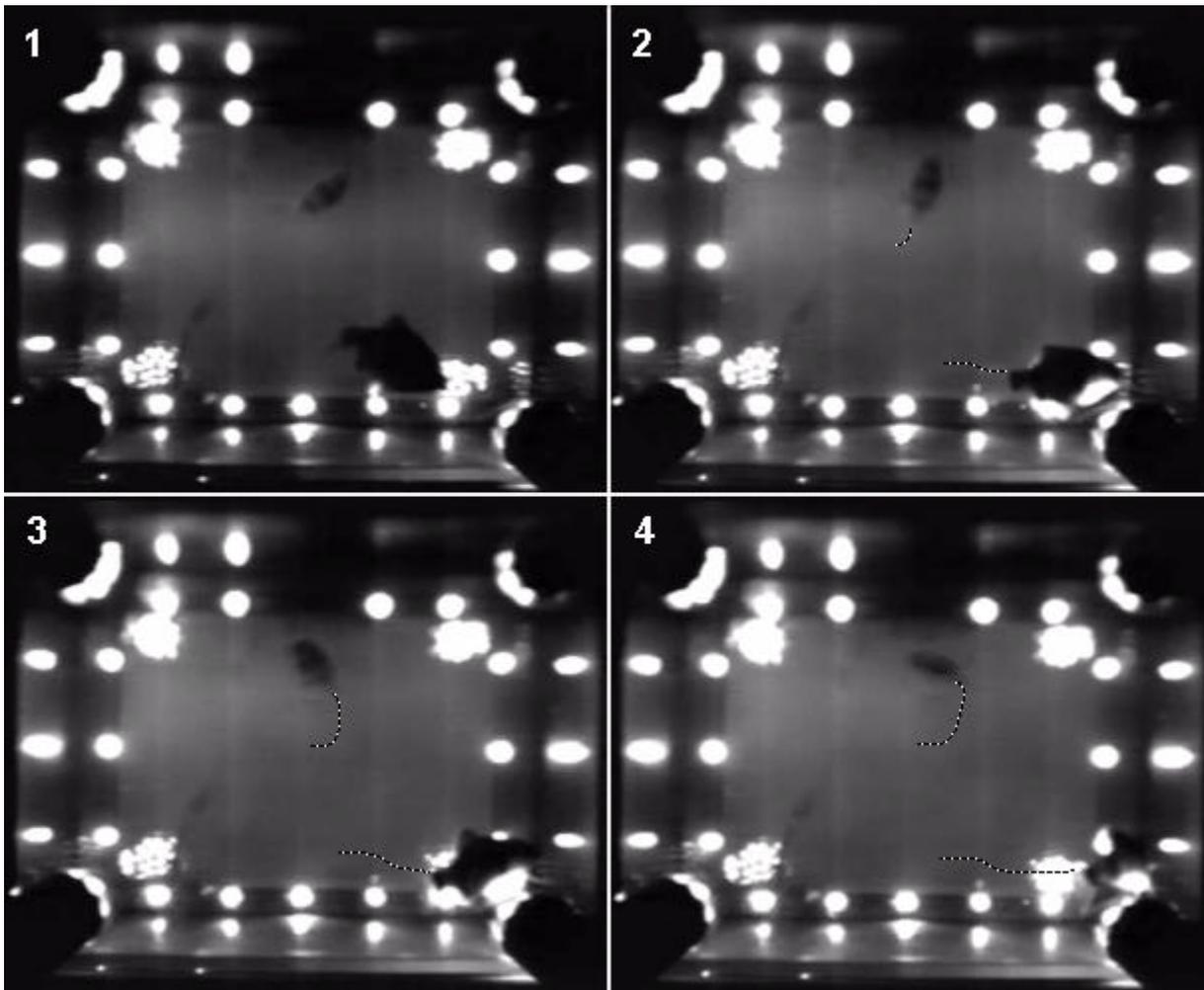


Abb. 25: Bildsequenz (1-4) des gleichen Fischpaares bei gleichen Reizparametern 2 Sekunden später.

#### 4.10.2 Korrelation von unterschiedlichem Schwimmverhalten und Differenzen der Otolithengewichte

Die drei Sumatra-Barben, die während der Drehpendelprüfung ein Schwimmverhalten zeigten, das als kinetosepositiv gewertet werden muß, hatten morphologisch unauffällige Otolithen im Vergleich zu den anderen Fischen. Beim Wiegen zeigte sich, daß die schwimmauffälligen Fische im Utriculus die größten Massedifferenzen zwischen rechts und links hatten. Im Sacculus zeigten sich keine auffälligen Otolithengewichte.

Beim Vergleich der Massedifferenzen von Sacculus und Utriculus zwischen den kinetosepositiven und den kinetosenegativen Fischen mit Hilfe des Mann Whitney Testes zeigte sich, daß eine signifikante Abweichung der Massedifferenzen des Utriculus bei den kinetosepositiven Fischen bestand ( $p=0,0067$ ) beim Sacculus jedoch nicht ( $p=0,547$ ).

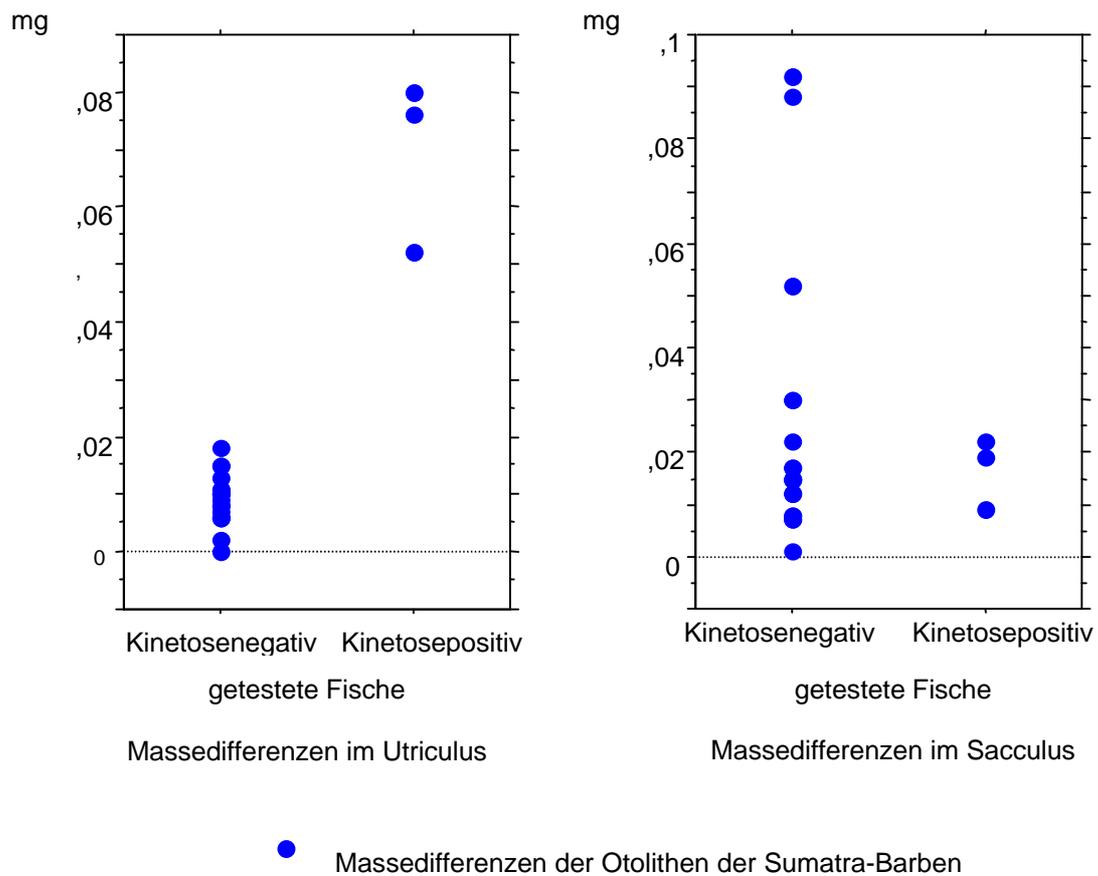


Abb. 26: Graphische Gegenüberstellung der Massedifferenzen der Otolithenorgane von kinetosepositiven und kinetosenegativen Sumatra-Barben.